

## Mogućnosti primjene terapijskog ultrazvuka u rehabilitaciji ozljeda mišića

Senka RENDULIĆ SLIVAR<sup>1</sup>, Igor JUKIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Lipik,

Ulica Marije Terezije 13, 34 551 Lipik

<sup>2</sup>Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu,

Horvaćanski zavoj 15, Zagreb

Primljeno / Received : 2010-11-28; Prihvaćeno / Accepted: 2011-02-11

### Sažetak

Oštećenja mišića većinom uzrokuju sportske ozljede. Mišićno oštećenje karakterizira bolna osjetljivost, edem, smanjen opseg kretnji pridruženoga zgloba i gubitak jakosti u mišićima. U fizikalnoj terapiji, u slučaju blagog i umjerenog oštećenja, moguća je primjena terapijskog ultrazvuka. Dobro je znati kako nastaju ozljede i stanični procesi koji se zbivaju nakon ozljede mišića. U radu se prikazuju terapijske mogućnosti aplikacije ultrazvuka nakon oštećenja mišića pri različitim načinima primjene.

**Ključne riječi:** mišićna oštećenja, terapijski ultrazvuk, rehabilitacija

### Possibilities of therapeutic ultrasound application in rehabilitation of muscle strains

### Summary

Muscle strains account for the majority of sport-related injury. Muscle strains are characterized by pain, tenderness, swelling, decreased range of motion of the associated joint and loss of muscle strength. In mild and moderate grade of muscle strains ultrasound like therapeutic agent in physical therapy can be used. It is useful to know mechanisms of injury and the cellular processes that are taking place in injured muscle. In this paper therapeutic possibilities various forms of ultrasound application by muscle strains are presented.

**Key words:** muscle strains, therapeutic ultrasound, rehabilitation

## Uvod

Primarni zadatak u rehabilitaciji osoba s mišićnom ozljedom jest smanjiti bol i oteklinu, maksimalno poboljšati funkcije (opseg kretnji i produkciju mišićne sile) te prevenirati nove ozljede i komplikacije. Prema simptomima takve se ozljede dijele u tri stupnja (1):

I. stupanj – uključuje blagu bolnost i lokalnu osjetljivost; uz puni opseg pokreta u zglobu, nema smanjenja jakosti mišića; karakteristično za DOMS (engl. delayed-onset muscle soreness).

II. stupanj – karakterizira umjereno oštećenje i značajna osjetljivost na bol, blagi edem, smanjen opseg pokreta pridruženog zgloba i smanjena jakost mišića.

III. stupanj – bol se pojavljuje odmah nakon ozljede uz izrazitu osjetljivost, edem, palpabilni defekt mišićne mase, smanjen opseg kretnji u zglobu i pad jakosti mišića. Takav nalaz odmah sugerira da je negdje nastala parcijalna ili totalna ruptura dijela ili cijelog mišića.

Za ozljedu mišića karakteristična je bolna osjetljivost mišićno-tetivnog prijelaza, a njezino povećanje vezano je za viši stupanj oštećenja.

Dijagnoza mišićne lezije postavlja se prioritetno anamnezom i kliničkim pregledom. Visokosenzitivna (ali i skupa) dijagnostička metoda za detekciju edema i hemoragije koji prate mišićno oštećenje, jest magnetska rezonancija i kompjutorizirana tomografija, a dijagnostički ultrazvuk dostupniji je i jeftiniji. Strukturno oštećenje vidljivo je u histološkom nalazu kao ruptura mišićnog vlakna s pridruženim oštećenjem citoskeleta. Karakterizira ga cijepanje miofibrila i promjene na „Z“ pločama i degradacija različitih strukturnih proteina kao što pokazuju biokemijske studije (2). No, mnogi biološki biljezi koji prikazuju oštećenje kontraktibilnog proteinskog aktinsko-miozinskog kompleksa u praksi nisu toliko važni kao gubitak ili manjak sposobnosti produkcije mišićne sile. Mnogi sportaši nakon ozljede mišića imaju trajnu, ali nedetektiranu slabost. Izokinetička oprema učinkovito je sredstvo za dijagnostiku oštećenja i evaluaciju rezultata tijekom terapije (3, 4).

Fiziološki oporavak mišića može se opisati kao „rebuilding“, tj. ponovna izgradnja koja oponaša embrionalnu miogenezu (5). Regeneracija mišića vezana je za satelitske stanice u skeletnim mišićima odraslih osoba koje su smještene s vanjske strane plazmaleme (6, 7). Pod određenim uvjetima one se razvijaju u mioblaste koji formiraju miotubule. Mogu reparirati ili nadomjestiti oštećeno mišićno vlakno. Važnost satelitskih stanica istaknuta je i u drugim stanjima – u

hipotrofiji i denervaciji, a smanjenje njihova broja u odraslih možemo povezati s pojavom sarkopenije. Reorganizacija citoskeleta i formiranje nove membrane povezano je s procesom oporavka (8). Drugi čimbenici koji utječu na oporavak nakon ozljede vezani su uz genetičke mehanizme, sintezu proteina i lokalnu upalu (9–11). Većina ozljeda mišića uzrokovana je mišićnom napetosti zbog ponavljanih ekscentričnih kontrakcija (nekontaktne ozljede) i kontuzija (ozljede u izravnom kontaktu). Indikator beskontaktnog oštećenja mišića iza opterećenja (treninga) zakašnjela je bol u mišićima koja počinje 24 do 48 sati nakon ekscentrične mišićne aktivnosti – DOMS-a (12). Biomehanička tumačenja o nastanku tog oštećenja mišićno su naprezanje, prerana aktivacija mišića, skraćena inicijalna dužina mišića, a prema nekim izvorima oštećenja ne ovise o brzini istezanja (13 – 16).

Mehanički stres kao posljedica ponavljane ekscentrične mišićne kontrakcije uzrokuje oštećenje mišića (DOMS), što može rezultirati beneficalnom adaptacijom mišića i porastom mišićne mase. Ozljede su češće u mišićima nenaviknutima na mehanički stres, ali je dobro dokumentirano da ponavljana aktivnost danima ili tjednima nakon inicijalne, rezultira znatno manjim oštećenjima (17 – 19). To se definira kao repeated-bout effect, a o mehanizmu te adaptacije postoje različita tumačenja. Moguće je objašnjenje eliminacija slabijih vlakana nekrozom, promjene u regrutiranju motornih jedinica, promjene citoskeleta i ekstracelularnog matriksa (13, 20 – 22).

Cilj ovog rada je predstaviti mogućnosti različitih varijanti primjene i postignute maksimalne dobrobiti u terapiji mišićnih oštećenja blagog i umjerenog stupnja, te stvoriti inicijalni projekt kao osnovu za buduće praktično istraživanje, ponajprije primjenom terapijskog ultrazvuka.

## **Terapija ozljede mišića**

Tretman mišićne ozljede ovisi o njezinu mehanizmu, veličini koja zahvaća mišić i sposobnosti pacijenta da tolerira bol te o simptomima i samolimitirajućoj prirodi ozljede koja često određuje povratak aktivnosti. Pristup terapiji je individualan. Rehabilitacijski plan ovisi o ciljevima, a razumijevanje fizioloških mehanizama oporavka pridonosi donošenju odluke o tretmanu.

Rehabilitacija treba biti usmjerena na suzbijanje boli i edema, ponovno uspostavljanje snažnih svojstava i fleksibilnosti mišića, progresivno povećanje napetosti mišića radi prevencije ponovne ozljede, odmah na početku treba uključiti trening izdržljivosti u vodi te postupno i na tlu, a u kasnijoj fazi

retrening agilnosti u specifičnim "sport-testovima" koji pomažu minimalizirati mogućnost ponovne ozljede (23–25). Dokazani su pozitivni učinci slanih normotermnih kupki, što daje prednost tretmanima i hidrotterapiji u prirodnim lječilištima (26). Pogrešno je provoditi preagresivni rehabilitacijski tretman i forsirati prerani povratak osobe s oštećenjem mišića punoj aktivnosti (27).

Dobro je poznato da je osnovni terapijski postulat akutne mišićne traume RICE (rest, ice, compresion, elevation). Ako se radi o svježoj ozljedi prvi izbor je krioterapija. Kratko nakon krioterapije počinje lokalna vazokonstrikcija, a zatim se venule šire te je veća apsorpcija edematozne tekućine, što rezultira smanjenjem otekline (28). Treba izbjeći dugotrajnu imobilizaciju (ne treba je prakticirati više od 2 do 3 dana kod II. stupnja ozljede mišića) jer dovodi do inhibicije miogeneze, kontraktura, mišićne hipotrofije, smanjenja mišićne jakosti i povećava sklonost prema ponovnom ozljeđivanju (29). Rana mobilizacija pospješuje regeneraciju mišića, povećava vaskularizaciju, remodeliranje tkiva i ojačava tenzivna svojstva, a sugerira se i magnetoterapija kako bi se povećao stanični metabolizam. Korisnim se smatraju netermički učinci ultrazvuka i analgetski modaliteti fizikalne terapije. U kasnijoj fazi rehabilitacije moguća je primjena superficijalne (soluks, parafin, peloid) ili dubinske termoterapije (ultrazvuk).

Medikamentozna terapija ozljede mišića temelji se na analgeziji i protuupalnom učinku, kako bi se inhibirala fibroza u ekstracelularnom matriksu. Prema nekim autorima, inflamatorni učinak pozitivno djeluje na miogenezu, no prema podacima iz literature teško je odrediti granicu do koje je to dobro (30). Primjena lijekova može biti peroralna, parenteralna i topička putem flastera te kao iontoforeza i sonoforeza.

## Učinci ultrazvuka na tkivo

Terapija ultrazvukom (lat. ultra preko, iznad; sonus zvuk; grč. therapeia liječenje) sastoji se u primjeni ultrazvuka frekvencije titraja od 800 do 1000 kHz (1 MHz) za dubinske učinke (do 5 cm), 3 MHz za površinske (do 2,5 cm), u terapijskom intenzitetu od 0,2 do 3 W/cm<sup>2</sup>. Tehnika aplikacije može biti mobilna i statička. Pri mobilnoj aplikaciji ultrazvučna glava pomiče se spiralno, kružnim pokretima, brzinom od 4 cm/s. Stacionarna primjena je rijetka, uz nisku frekvenciju i manji intenzitet ultrazvuka (0,6 – 1 W/cm<sup>2</sup>).

Ultrazvučne zrake potiču mehaničke oscilacije molekula tretiranog tkiva i njegovu mikromasažu. One dobro prodiru kroz homogena i dobro hidrirana tkiva s niskim sadržajem proteina (krv, masno tkivo). Mišići, krvne žile i koža

umjereno oslabljuju djelovanje ultrazvuka, a kosti, hrskavice i tetive imaju visoku sposobnost apsorpcije ultrazvuka, što se koristi u terapiji.

Učinci ultrazvuka na tkiva mogu biti termički i netermički, ovisno o svojstvima tkiva i načinu primjene, no ipak nije potpuno moguće odvojiti ta dva učinka niti je to svrhovito činiti. Termički učinci odnose se na zagrijavanje tkiva, povećanje krvnog protoka i staničnog metabolizma, enzimatske aktivnosti, povećan dotok kisika i povećanje elasticiteta kolagenih struktura oko zglobova (31). Zagrijavanje tkiva rezultira povećanjem aktivnosti kožnih termoreceptora i relaksacijom glatkih mišića u stjenkama krvnih žila, što na početku potencijalno olakšava termički učinak na tkiva. No, tako se istodobno povećava upalom inducirana destrukcija tkiva, ako se nekontrolirano primjenjuje na inflamiranom području (zato je potreban oprez kod svježije traume mišića). Poslije se može govoriti o povećanom odavanju topline zbog nastale vazodilatacije. Netermički učinci ultrazvuka ne mogu biti objašnjeni termičkim mehanizmom, a uključuju mehaničke i kemijske promjene. Oni su izraženiji ako je intenzitet apliciranog ultrazvuka nizak ili kada se primjenjuje pulsirajući ultrazvuk, čime se izbjegava zagrijavanje tkiva. Mehaničke promjene opisuju se kao kavitacija i akustičko strujanje. Kavitacija je vibracijski učinak na mjehuriće plina s pomoću ultrazvučnog zračenja (terapijski su važne stabilne kavitacije, a nestabilne destruktuiraju tkivo). Akustično strujanje odnosi se na kretanje tekućine uzduž granice stanične membrane, kao rezultat mehaničkog tlaka vala. Mehaničke promjene mijenjaju difuziju stanične membrane i uključuju povećanje permeabilnosti kože, aktivnosti makrofaga i fibroblasta, intracelularni dotok kalcija i sintezu proteina u različitim tkivima djelujući na povećanje genetske aktivnosti, što sve rezultira kemijskim promjenama u stanici i izvan nje. Katkad se netermičkim učincima, kao neželjene pojave, pripisuju agregacija trombocita u stjenkama krvnih žila, oštećenje endotela i staza cirkulacije (što može završiti komplikacijama – stvaranjem tromba, površinskim krvarenjima, oteklinama). U ranom tretmanu ozljede mišića korisniji su netermički učinci terapijskog ultrazvuka.

## **Tehnike primjene**

Želi li se smanjiti termički učinak ultrazvuka, aplicira se kroz vodu. Tada je provodljivost manja nego ako se koristimo kontaktnim gelom (32). Nakon 10 minuta primjene ultrazvuka intenziteta 1,5 W/cm<sup>2</sup> temperatura mišića povećava se 13,9 posto uz gel, a 6 posto primjenom ultrazvuka kroz vodu. Pri primjeni kroz vodu treba izbjeći stvaranje mjehurića i turbulencije jer to smanjuje transmisiju zraka. Degazirana voda dobar je kontaktni medij te se pri tretiranju

neravnih površina (šake, lakta) ultrazvuk primjenjuje kroz vodu ili kontaktne jastučice ispunjene vodom. Uobičajeno je da se u vodi ultrazvučna glava drži jedan centimetar od kože i pomiče brzinom od 3 do 4 cm/s. Udaljenost glave ultrazvuka od kože pri primjeni kroz vodu obrnuto proporcionalno zagrijava tkivo (33). Temperatura vode kao medija ovisi o terapijskom cilju koji želimo postići. Ako se želi postići zagrijavanje, voda je toplija i obrnuto. Sve to treba imati na umu kada želimo izbjeći termalne učinke ultrazvuka.

Uobičajeno je da se, kod kontaktne primjene, ultrazvučna glava na koži drži pod kutom od 90°. Istraživanja primjene ultrazvuka (1 MHz, 2,0 W/cm<sup>2</sup>, 5 min) pod različitim kutovima: 90°, 80°, 70° i 60° pokazala su manje zagrijavanje tkiva u dubini kod aplikacije pod manjim kutom (34).

## **Učinci terapijskog ultrazvuka-rezultati studija**

Istraživanja brzine zagrijavanja tkiva primjenom ultrazvuka frekvencije 1 MHz i 3 MHz upućuju da je zagrijavanje tkiva prisutno u oba slučaja, ali je oko tri puta veće pri primjeni više frekvencije (0,2 °C/min kod 1 MHz, u odnosu na 0,6 °C/min kod primjene 3 MHz) (35). Kada je primjeni ultrazvuka (10 minuta, 1,5 W/cm<sup>2</sup>) prethodilo 15-minutno zagrijavanje lokalnog područja toplim oblozima sobne i veće temperature, zabilježeno je povećanje temperature u stražnjoj loži potkoljenice na dubini od 1 i 3 centimetra (36). Kako se i očekivalo, zagrijavanje tkiva je veće ako primjeni ultrazvuka prethodi primjena toplijih obloga, s najvećim porastom temperature na dubini tkiva od 1 centimetra. Nakon aplikacije ultrazvuka stupanj dostignutog zagrijavanja tkiva bio je podjednak u obje razine, a nešto proporcionalno niži u tkivu koje je prije toga bilo tretirano oblozima sobne temperature. Vlažna toplina ima u zagrijavanju površinske efekte (1–2 cm) što olakšava provođenje ultrazvuka kroz kožu i zagrijavanje dubljih slojeva. Zato je prije primjene ultrazvuka opravdana hidroterapija u termalnoj vodi te parna kupelj ako nema kontraindikacija, a želi se postići termički efekt.

Nasuprot tomu, primjena leda prije aplikacije ultrazvuka smanjuje toplinsko zagrijavanje tkiva u dubljim slojevima, odnosno prodiranje ultrazvuka u dubinu. Kod tretmana kojima je ciljno terapijsko djelovanje vezano za mehaničko djelovanje ultrazvuka, krioterapija prethodi ultrazvuku.

Dobro je poznato da primjena ultrazvuka povećava elastičnost vezivnog tkiva i fleksibilnost zglobova. Aktivno potpomognuto istezanje u nožnom zglobu nakon primjene ultrazvuka omogućuje veći stupanj dorzifleksije stopala nego kada se primjenjuje samo istezanje (37). Maksimalni rezultati na rastezljivost

postižu se podizanjem lokalne temperature tkiva od 40° do 45°C i traju 5 do 10 minuta. Nakon što se poveća 5°C, temperatura naglo pada tijekom 4 do 5 minuta (38). To je tzv. stretching-window, ili vrijeme, prostor smislenog terapijskog djelovanja kako bi se dobio željeni učinak na viskoelastične strukture oko zgloba. Kako bi se povećao opseg kretnji, u terapiji i prevenciji kontraktura, istezanje je najbolje početi odmah nakon završetka ultrazvučnog tretmana da bi se postigao maksimalni učinak na tkivo. U praktičnom radu to se često propušta, pa od završetka primjene terapije ultrazvukom do početka istezanja prođe više od pet minuta.

Mora se imati na umu da nema jasnih smjernica za primjenu ultrazvuka ne samo za mišićna oštećenja, nego ni za jedan oblik oštećenja mekih tkiva (39, 40). Nedvojbeno, ultrazvuk smanjuje bol kada se aplicira na miofascijalne bolne točke. Petominutnom primjenom ultrazvuka od 3 MHz, 1,0 W/cm<sup>2</sup>, na gornju granu m. trapeziusa znatno se smanjuje napetost bolnih točaka (41). Hipotetički, termički efekti mogu utjecati na ishemiju i prekinuti zatvoreni krug boli zagrijavanjem nociceptora u „bolnim točkama“ (42). Ultrazvuk smanjuje bolnost – čini se da povisuje prag boli, a zbog povećanog protoka bolja je lokalna opskrba krvlju. Tako se brže otplavljuju kiseli produkti nastali radom i oštećenjem, smanjuje se lokalni spazam mišića, pH raste prema 7 pa se smanjuje podražljivost nociceptora.

Teoretski, kontinuirani ultrazvuk može povećati simptome DOMS-a zbog svojega termičkog efekta (43). Neki autori govore o smanjenju mišićne bolnosti i povećanju mišićne funkcije uz primjenu pulsirajućeg ultrazvuka (0,8 W/cm<sup>2</sup>, 1MHz, 20 min, 25%) (44). Raspravlja se i o mehaničkom učinku ultrazvuka na moguću veću vaskularnu permeabilnost i smanjenje intramuskularnog tlaka (44). U proučavanju učinka pulsirajućeg ultrazvuka (0,8 – 1,5 W/cm<sup>2</sup>, 1 MHz, od 7 do 14 min, 20 do 25%) nije verificiran veći utjecaj na DOMS (45). Ni u drugim studijama u kojima je istaknuto da je ultrazvuk provođen svaki dan nakon ekscentrične mišićne aktivnosti, nisu zabilježene redukcije bolne osjetljivosti mišića (46, 47). Pokazalo se da je bolji učinak ultrazvuka (1 MHz, 1,5 W/cm<sup>2</sup>, 5 minuta) uz primjenu analgetskoga gela, negoli običnoga kontaktnog gela (43). Spekulira se da analgetski gel umanjuje termičke efekte ultrazvuka. Na temelju ograničenih istraživanja, često nejasne evidencije i uvjeta primjene, učinkovitost ultrazvuka na posttraumatski oporavak mišića jako je teško definirati (45). Mjerenje nekih drugih indikatora mišićnog oštećenja i oporavka, npr. elektromioneurografijom (EMNG-om) zbog invazivnosti rjeđe se koristi (48).

Ultrazvuk djeluje na nemišićna tkiva i potencijalno zagrijava tetive, živce i vezivno tkivo. Time povećava elastičnost kolagenih struktura, rastezljivost tkiva, tetiva, povećava brzinu provođenja impulsa kroz živčana vlakna (skraćuje se vrijeme latencije) te tako indirektno može djelovati na mišićni oporavak nakon traume. Odnos između posttraumatskog mišićnog oporavka i utjecaja ultrazvuka na tetive, vezivno tkivo, živce i druga tkiva teoretski je moguć, ali je potrebno mnogo više jasnih klinički studija koje bi opravdale korisnost ultrazvučnog tretmana, ako ga ima, na oštećenje i oporavak mišića.

Sonoforeza ili ultrasonoforeza način je primjene ultrazvuka u terapijskom postupku aplikacije lijeka kroz neozlijeđenu kožu. Unositi se mogu niskomolekularni antiinflamatorni lijekovi (ibuprofen, ketoprofen, diklofenak, kortikosteroidi), analgetici (salicilati) i anestetici (lidokain), neovisno o vrsti iona, a uobičajena koncentracija lijeka je 0,5 do 10%. Lijek prodire u dubinu (do 10 cm) a „gura“ ga visokofrekventna energija ultrazvuka koja povećava propusnost kože i staničnih membrana te pospješuje difuziju tvari kroz tkiva. Ultrasonoforezi pridonose i drugi čimbenici – akustičko strujanje i zagrijavanje tkiva (dilatacija krvnih žila), povećanje difuzije i kinetičke energije molekula (49). Prije ultrasonoforeze moguće je zagrijati tkivo (primjena vlažne i suhe topline – kupelj, parafin, soluks) kako bi se povećala cirkulacija i apsorpcija lijeka kroz kožu, ali tada je veća mogućnost za gubitak lijeka kroz sistemsku cirkulaciju te pojava neželjenih efekata. U rehabilitaciji mišićne ozljede cilj je postići lokalnu, topičku aplikaciju lijeka, da bi se smanjila bol i kronična upala povezana s oštećenjem mišića. Ispitivanja raznih tvari pokazuju različitu sposobnost transmisije, a u mnogim studijama sugerira se drugačija efikasnost primijenjenog medija. Dobru transmisivnost ima 0,06-postotni betametazon primijenjen u gelu (88%); uspješna redukcija boli postignuta je lidocainom (UZV 1 MHz, 1,5 W/cm<sup>2</sup>, 5 minuta) i aplikacijom betametazona (u 88 %) na bolne točke, u komparaciji s ultrazvukom (56 %) i placebom (23 %) (50, 51).

## Zaključak

Mišić ima zavidnu sposobnost oporavka i restauracije samoga sebe. Usklađena su stajališta da je metoda RICE prvi izbor u akutnoj ozljedi mišića. Dobrobiti protuupalnih lijekova, vježbi i drugih modaliteta fizikalne terapije, ostaju otvorena. Ultrazvuk je učinkovit terapijski modalitet koji je potrebno provoditi uz mjere opreza, izbor adekvatne tehnike, frekvencije te intenziteta, no moraju se isključiti moguće kontraindikacije. Unatoč teoretski pozitivnim mogućnostima, prisutan je manjak jasne evidencije učinaka primjene ultrazvuka u liječenju i



regeneraciji posttraumatskih stanja mišića. Kako bi se postiglo veće netermičko djelovanje ultrazvuka, primjenjuje se ultrazvuk niže frekvencije kroz vodu, na većoj udaljenosti ultrazvučne glave od kože, ili uz prethodnu lokalnu primjenu krioterapije i aplikaciju ultrazvuka pod manjim kutom ultrazvučne glave. Kod željenog većeg termičkog efekta u terapiji, poželjno je tkivo prije toga zagrijati, bilo lokalno primjenom toplih obloga ili imerzijskom hidroterapijom u termalnoj vodi, a za puni učinak uskladiti kineziterapijski postupak i primjenu ultrazvuka.

Pristup u rehabilitaciji sportskih ozljeda mišića individualan je i "sport-specifičan", a djelovanje i učinkovitost terapijskog programa temelje se na punoj interdisciplinarnoj i multidisciplinarnoj suradnji rehabilitacijskog tima.

## Literatura:

1. Lovering RM. Physical therapy and related interventions. U: Tiidus PM (ur.) Skeletal Muscle Damage and Repair. Human Kinetics, Champaign, IL 2008: 222.
2. Lieber RL, Thornell LE, Friden, J. Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction. J Appl Physiol 1996; 80: 278-284.
3. Čustonja Z, Škegro D, Popović A. Razvoj metoda treninga jakosti kroz povijest. Kondicijski trening 2008; 2(6): 70-6.
4. Baščevan S, Baščevan A, Janković S. Izokinetička sila mišića – dijagnostički pristup. U: I. Jukić, D. Milanović i C. Gregov (ur.), „Kondicijska priprema sportaša“, zbornik radova 6. godišnje međunarodne konferencije, Zagreb 22. i 23. veljače 2008., Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Udruga kondicijskih trenera Hrvatske 2008:164-166.
5. Grounds MD. Towards understanding skeletal muscle regeneration. Pathol Res Pract 1991; 187: 1-22.
6. Schiaffino S, Bormioli SP, Aloisi M. The fate of newly formed satellite cells during compensatory muscle hypertrophy. Virchows Arch B Cell Pathol 1976; 21: 113-118.
7. Bischoff R. Analysis of muscle regeneration using single myofibres in culture. Med Sci Sports Exerc 1989; 21: S164-172.
8. McNail PL, Terasaki M. Coping with the inevitable: How cells repair a torn surface membrane. Nat Cell Biol 2001; 3: E124-129.
9. Thorsson O, Rantanen J, Hurme T, Kalimo H. Effects of nonsteroidal antiinflammatory medication on satellite cell proliferation during muscle regeneration. Am J Sports Med 1998; 26: 172-176.
10. Chopard A, Pons F, Marini JF Cytoskeletal protein contents before and after hindlimb suspension in a fast and slow rat skeletal muscle. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 2001; 280: R323-R330.

11. Barash IA, Mathew L, Ryan AF, Chen J, Lieber RL. Rapid muscle specific gene expression changes after a single bout of eccentric contractions in the mouse. *Am J Physiol Cell Physiol* 2004; 286: C355-C364.
12. Nosaka K. Muscle Soreness and Damage and the Repeated-Bout Effect. U: Tiidus PM (ur.): *Skeletal Muscle Damage and Repair Human Kinetics* 2008: 59-77.
13. Friden J, Liber RL. Eccentric exercise induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiol Scand* 2001; 171: 321-326.
14. Lovering RM, Hakim M, Moorman CT, De Deyne PG. The contribution of contractile pre-activation to loss of function after single lengthening contraction. *J Biomech* 2005; 38: 1501-1507.
15. Hunter KD, Faulkner JA. Pliometric contraction –induced injury of mouse skeletal muscle: Effect of initial length. *J Appl Physiol* 1997; 82: 278-283.
16. Willems ME, Stauber WT. Force output during and following active stretches of rat plantar flexor muscles: effect of velocity of ankle rotation. *J Biomech* 2000; 33, 1035-1038.
17. Nosaka K, Sakamoto K, Newton M, Sacco P. How long does the protective effects on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med Sci Sports Exerc* 2001a; 33: 1490-1495.
18. Nosaka K, Sakamoto K, Newton M, Sacco P. The repeated bout effect of reduced-load eccentric exercise on elbow flexor muscle damage. *Eur J App Physiol* 2001b; 85: 34-40.
19. Koh TJ, Books SV. Lengthening contractions are not required to induce protection from contraction-induced muscle injury. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2001; 281: R 155-R161.
20. Warren GL, Ingalls CP, Lowe DA, Armstrong RB. What mechanisms contribute to the strength loss that occurs during and in the recovery from skeletal muscle injury? *J Orthop Sports Phys Ther* 2002; 32: 58-64.
21. Lehti TM, Kalliokoski R, Komulainen J. Repeated bout effect on the cytoskeletal proteins titin, desmin and dystrophin in a rat skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil* 2007; 28(1): 39-47.
22. Stauber WT, Clarkson PM, Fritz VK, Evans WJ. Extracellular matrix disruption and pain after eccentric muscle action. *J Appl Physiol* 1990; 69: 868-874.
23. LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, Snyder-Marckler L, Reich T, Lindstedt SL. Eccentric muscle contractions: Their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003; 33: 557-71.
24. Mair SD, Seaber AV, Glisson RR, Garrett WE, Jr. The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *Am J Sports Med* 1996; 24:137-43.
25. Sherry MA, Best TM. A comparison of two rehabilitation programs in the treatment of acute hamstring strains. *J Orthop Sports Phys Ther* 2004; 34: 116-25.

26. Prins J, Cutner D. Aquatic therapy in the rehabilitation of athletic injuries. *Clin in Sports Med* 1999; 18(2): 447-61.
27. Taylor DC, Dalton JD Jr, Seaber AV, Garrett WE Jr. Experimental muscle strain injury. Early functional and structural deficits and the increased risk for reinjury. *Am J Sports Med* 1993; 21, 190-194.
28. Smith TL, Curl WW, Smith BP i sur. New skeletal muscle model for the longitudinal study of alterations in microcirculation following contusion and cryotherapy. *Microsurgery* 1993; 14: 487-493.
29. Jarvinen MJ, Lehto MU. The effects of early mobilisation and immobilisation on the healing process following muscle injuries. *Sports Med* 1993; 15: 78-89.
30. Mendials CL, Tatsumi R, Allen RE. Role of cyclooxygenase-1 and -2 in satellite cell proliferation, differentiation and fusion. *Muscle Nerve* 2004; 30, 497-500.
31. Rennie GA, Michlovitz SL. Biophysical principles of heating and superficial heating agents. U: Michlovitz SL, (ur.) *Thermal agents in rehabilitation*. Philadelphia: Davis 1996.
32. Draper DO, Sunderland S, Kirkendall DT, Ricard M. A comparison of temperature rise in human calf muscles following application of underwater and topical gel ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther* 1993; 17(5): 247-51.
33. Draper DO, Hatheway C, Fowler D. Methods of applying underwater ultrasound: Science versus folklore. *Journal of Athletic Training* 1991; 26: 152-4.
34. Kimura IF, Gulick DT, Shelly J, Ziskin MC. Effects of two ultrasound machines and angle of application on the temperature of tissue mimicking material. *J Orthop Sports Phys Ther* 1998; 27: 27-31.
35. Draper DO, Castel JC, Castel D. Rate of temperature increased human tissue during 1 and 3 MHz continuous ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther* 1995; 22(4):142-50.
36. Draper DO, Harris ST, Schulthies S, Durrant E, Knight K, Richard M. Hot-pack and 1-MHz ultrasound treatments have an additive effect on muscle temperature increase. *Journal of Athletic Training* 1998; 33: 21-24.
37. Wessling KC, DeVane DA, Hylton CR. Effects of static stretch versus static stretch and ultrasound combined on triceps surae muscle extensibility in healthy women. *Phys Ther* 1987; 67(5): 674-679.
38. Draper DO, Ricard MD. Rate of temperature decay in human muscle following 3 MHz ultrasound: The stretching window revealed. *Journal of Athletic Training* 1995; 30: 304-7.
39. Baker KG, Robertson VJ, Duck FA. A review of therapeutic ultrasound: Biophysical effects. *Phys Ther* 2001; 81(7): 1351-1358.
40. Robertson VJ. Dosage and treatment response in randomized clinical trials of therapeutic ultrasound. *Phys Ther Sport* 2002; 3: 124-33.

41. Draper DO, Mahaffey DA, Kaiser DL, Eggett DL, Jarman J. Therapeutic ultrasound softens trigger points in upper trapezius muscles. *Journal of Athletic Training* 2007; 42(2): S 40.
42. Gulick DT, Barsky M, Bersheim K, Katz K, Lescallette M. Effect of ultrasound on pain associated with myofascial trigger points. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001; 31(1): A-19.
43. Ciccione CD, Leggin BG, Callamaro J. Effects of ultrasound and trolamine salicylate phonophoresis on delayed-onset muscle soreness. *Phys Ther* 1991; 71: 666-678.
44. Hasson S, Mundorf J, Barnes J, Williams J, Fujii M. Effects of pulsed ultrasound versus placebo on muscle soreness perception and muscular performance. *Scand J Rehabil Med* 1990; 22: 199-205.
45. Craig JA, Bradley J, Walsh DM, Baxter D, Allen JM. Delayed onset muscle soreness: Lack of effect of therapeutic ultrasound in humans. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80: 318-23.
46. Plaskett C, Tiidus PM, Livingston L. Ultrasound treatment does not affect postexercise muscle strength recovery or soreness. *J Sports Rehabil* 1999; 8:1-9.
47. Tiidus PM, Cort J, Woodruff SJ, Bryden P. Ultrasound treatment and recovery from eccentric-exercise-induced muscle damage. *J Sports Rehabil* 2002; 11: 305-314.
48. Warren GL, Hermann KM, Ingalls CP, Masselli MR, Armstrong RB. Decreased EMG median frequency during a second bout of eccentric contractions. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 820-829.
49. Byl NN. The use ultrasound as an enhancer for transcutaneous drug delivery: Phonophoresis. *Phys Ther* 1995; 75(6): 539-553.
50. Smith W, Winn F, Parette R. Comparative study using four modalities in shin splints treatment. *J Orthop Sports Phys Ther* 1986; 8: 77-80.
51. Moll MJ. A new approach to pain: Lidocaine and Decadron with ultrasound. *USAF Medical Service Digest* 1979; 30: 8-11.