

SPORDIFÜSIOLOOGIA ALANE UURIMISTÖÖ TARTU ÜLIKOOLI SPORDIBIOLOOGIA JA FÜSIOTERAAPIA INSTITUUDIS

Vahur Ööpik, Mati Pääsuke, Teet Seene

Tartu Ülikool

AJALOO LINE TAGASIVA ADE

Spordifüsioloogia on teadusharu, mis uurib organis-
mis kehaliste pingutuste mõjul ilmnevaid akuutseid
talitluslikke muutusi ning selgitab treenitusseisundi
tekkimise ja arenemise seaduspärasusi.

Teatavasti peetakse füsioloogia kui eksperimentaal-
se teaduse rajajaks inglise looduseuurijat ja arsti
William Harwey'd tänu imetajate vereringe alastele
uuringutele, mille tulemused ta avaldas 1628. aastal.
Spordifüsioloogiale alusepanija suhtes seesugune
üksmeel puudub, kuid selle au võib omistada suure
keemikuna teaduse ajalukku läinud prantslasele An-
toine Laurent Lavoisier'le. Lavoisier, välja selgita-
nud põlemise keemilise olemuse, jõudis järelduseni,
et ka loomade ja inimese hingamine on keemilises
mõttes põlemine ning et sellel põhineb organismi
soojustasakaal. Tänapäeva mõistes ehedateks spor-
difüsioloogilisteks eksperimentideks võib aga pida-
da Lavoisier' uuringuid 18. sajandi kaheksaküm-
nendate aastate lõpul, millega ta tuvastas, et keha-
line töö põhjustab inimesel mitte üksnes hingamisi-
ja pulsisageduse tõusu, vaid ka hapnikutarbimise
märgatava suurenemise.

Rida fakte, mis olulisel määral avardasid teadmisi
inimese organismi talitlusest kehalisel töö, tehti
kindlaks möödunud sajandi kahekümnendatel ja
kolmekümnendatel aastatel. Kaalukas oli Ameerika
Ühendriikide (D. B. Dill), Inglismaa (A. V. Hill) ja
Skandinaaviamaade (A. Krogh, J. Lindhard jt) tead-
laste panus. Teistest selgesti eristatavaks teadus-
haruks kujunes spordifüsioloogia 20. sajandi kesk-
paigaks. Algselt oli spordifüsioloogia alaste uurin-
gute keskmes tööpuhuste muutuste tundmaõppimine
inimese organismis. Tänapäeval on aga peatähele-
panu pöördunud kehaliste koormustega kohanemise
füsioloogiliste mehhanismide ja nende sihipärase
mõjutamise võimaluste väljaselgitamisele.

Tartu Ülikoolis teostasid esmaseid uuringuid, mille
tulemusi võib pidada spordifüsioloogiale huvipak-
kuvaiks, arstiteaduskonna professorid K. G. K. De-
hio ja E. K. Masing 20. sajandi algusaastail. Kahe-
kümnendatel aastatel jätkasid sellesuunalist tööd

professorid A. Fleish ja M. Tiitso. Kehakultuuri-
teaduskonnas loodi spordifüsioloogia alasele uuri-
mistööle kindel alus kuuekümnendatel aastatel. Põ-
hiliselt on siin tegeletud lihastalitluse hormonaal-
regulatsiooni, närvi-lihasaparaadi füsioloogia ja
treeningu füsioloogilis-biokeemilise monitooringu
küsimustega, samuti toitumuslike faktorite mõju
uurimisega kehalisele töövõimele ja treeningu
efektiivsusele. Rahvusvaheliselt kõige tuntum Eesti
spordifüsioloog on kahtlusetu Atko-Meeme Viru.
Tema uurimistöo haare on olnud võrdlemisi lai,
kuid kõige väljapaistvama panuse on ta andnud or-
ganismi treeningukoormustega kohanemise hormo-
naalsete mehhanismide väljaselgitamisse [Viru,
1985].

TOITUMUSLIKE FAKTORITE MÕJU KEHALISELE TÖÖVÕIMELE JA TREENINGU EFEKTIIVSUSELE

Teadmine, et toit ja toitumine mõjutavad sportlikku
saavutusvõimet, oli olemas juba Antiik-Kreeka at-
leetid ja nende juhendajatel. Kaasaegsetele teadus-
likele arusaamadele toitumise ja kehalise töövõime
seostest rajasid aluse Skandinaaviamaade spordi-
füsioloogide uuringud möödunud sajandi kuuekümn-
endatel aastatel. Nad võtsid kasutusele uudse nõel-
biopsia meetodi, mis võimaldas inimese skeleti-
lihastest saada väikesi, kuid biokeemilisteks analüü-
sideks siiski piisava suurusega koeproove. Nii
näitasid nad veenvalt, et toidu süsivesikutesisaldus
määrab lihase glükogeenivarude suuruse, viimasest
sõltub aga otseselt vastupidavuslik töövõime.

Tartu Ülikooli spordibioloogia ja füsioteraapia insti-
tuudis tehti sportlaste toitumise alaste uuringutega
algust kümmekond aastat tagasi. Neis võib eristada
kahte suunda:

- sportlaste harjumuspärase toitumise analüüs;
- erinevate toidulisandite toime väljaselgitamine.

Viimastest on enim tähelepanu pööratud kreatiinile,
naatriumtsitraadile ja süsinikuahela keskmise pikku-
sega rasvhapetele kui ühenditele, mis teatud tingi-

mustes võivad oluliselt mõjutada sportlase organismi ainevahetust ning seeläbi koormustaluvust ja treeningu efektiivsust.

Kreatiin on inimesele kehaomane aine, mida sünteesitakse pankreases ja maksas, lähtudes kolmest aminohappest – glütsiinist,alaniinist ja metioniinist. Ligikaudu 95–98% kehas olevast kreatiinist paikneb skeletilihaskoes, kusjuures umbes kaks kolmandikku kreatiini koguhulgast moodustab selle fosforüülitud vorm – fosfokreatiin. Kreatiinil on lihases erakordselt suur energeetiline tähtsus. Eelkõige ilmneb see lühiajaliste plahvatusliku iseloomuga kehaliste pingutuste sooritamisel, kus fosfokreatiini hulk ja selle lagunemisel vabanev energia limiteerivad otseselt ATP taastootmise võimalusi. Kreatiin osaleb ka keerukas lihasraku siseses transpordisüsteemis, mis teeb mitokondrites genereeritud ATP energeetilise potentsiaali kättesaadavaks ja kasutatavaks kontraktiilsele aparaadile – müofibrillidele. Lisaks energeetilisele rollile omab kreatiin tähtsust ka puhversüsteemide mahtuvuse suurendajana ning osaleb lihasvalkude ainevahetuse regulatsioonis.

Normaalse segatoiduga saab inimene ligikaudu 1 grammi kreatiini päevas. Umbes teist samapalju sünteesitakse organismisiselt, kasutades selleks eespool nimetatud kolme aminohapet. Plahvatusliku huvi kreatiini kui potentsiaalselt mõjusa sportlaste toidulisandi vastu vallandas Rootsi ja Inglise teadlaste ühisuuringu tulemuste avaldamine 1992. aastal ajakirjas *Clinical Science*. Nimelt ilmnis, et kreatiini monohüdraadi manustamine koguses 15–25 grammi päevas nelja kuni seitsme päeva vältel kutsus inimese lihastes esile üldise kreatiini ja fosfokreatiini sisalduse suurenemise vastavalt 15–30% ja 10–40% ulatuses, mistõttu paraneb ATP taseme säilitamise võime lihases kõrge intensiivsusega sooritataval kehalisel tööel ning suureneb fosfokreatiini varude taastumise kiirus pingutuse järgselt. Ilmnis, et nende nihete mõjul paraneb märgatavalt kehaline töövõime, eriti vaheldumisi puhkepausidega sooritatavate lühiajaliste maksimaalse intensiivsusega pingutuste puhul. Lisaks sellele on tänaseks kogunenud hulk tõendusmaterjali, mis näitab, et regulaarne kreatiini tarbimine suurendab jõutreeningu efektiivsust. See väljendub ulatuslikumas keha rasvavaba massi ja lihasjõu juurdekasvus võrreldes tavapärase dieedi foonil sooritatava treeninguga.

Spordibioloogia ja füsioteraapia instituudis on teostatud rida uuringuid eesmärgiga välja selgitada kreatiini toidulisandina kasutamise efektiivsus kahevõitluse alade sportlastel kehakaalu reguleerimise

perioodil. Teatavasti on nende alade esindajate seas üldlevinud tavaks võistluste eel võrdlemisi suures ulatuses kehakaalu alandada. Seda tehakse veendumuses, et, pääsedes võistlenu madalamasse kaalukategooriasse, on võimalik suurendada sportliku edu tõenäosust. Paraku kaasneb kaalukaotusega ka kehalise töövõime langus, mis vastupidiselt soovitud hoopiski vähendab edušansse, eriti olukorras, kus kaalukaotusest taastumiseks enne võistluste algust jääb vähe aega. Varasemate uuringute andmed näitavad, et kaalukaotusega kaasneb eelkõige anaeroobse töövõime langus. Samas on kahevõitluse aladel just anaeroobne võimekus see, mille poolest edukad sportlased vähemedukaid ületavad. Arvestades kreatiini positiivset toimet anaeroobsele võimekusele kontrollisime selle ühendi manustamise efekti kõrge treenituse tasemega karatekatel. Selgus, et kreatiini tarbimine kehakaalu kiire alandamise perioodil (20 g päevas) hoidis küll ära reie nelipealihase maksimaalse jõumomendi languse üksikpingutuse tingimustes suurel nurkkiirusel (4,71 rad/s), kuid submaksimaalse ja summaarse intensiivsusega töö hulk, mida vaatlusalused olid võimelised sooritama 3-minutilise testi ajal, langes kreatiini tarbimise foonil märksa ulatuslikumalt kui platseebo manustamise korral [Ööpik jt, 1998].

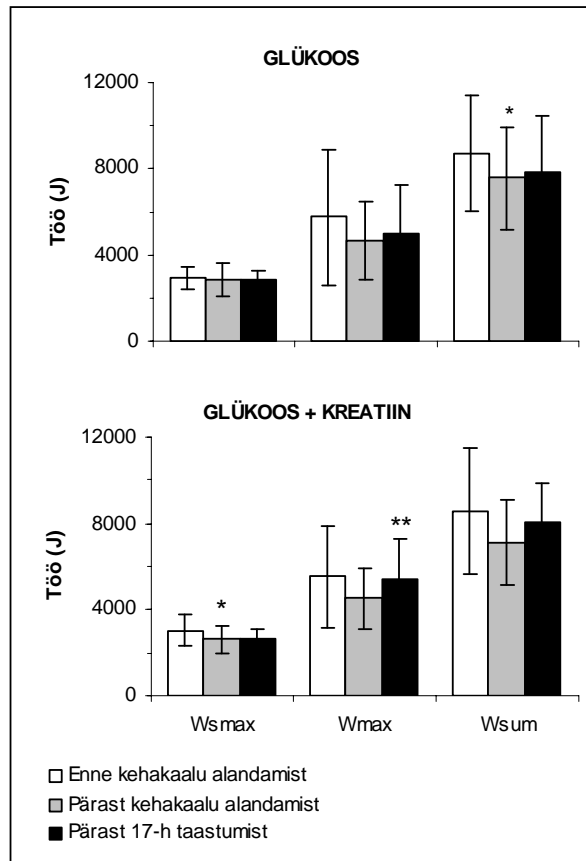
Varasemad teiste uurijate andmed, aga ka meie endi laboratooriumis saadud tulemused on näidanud, et suures koguses kreatiini tarbimisega võib kaasneda kiire ja märgatav kehakaalu suurenemine. Teisalt on leitud, et maadlejatel, kes suudavad pärast kehakaalu alandamist selle kiiresti taastada, taastub kiiremini ka kehaline töövõime ning nad on aeglasemalt normaliseeruva kehakaaluga konkurentidega võrreldes võistlustel edukamad. Maadluses, erinevalt karatest, jääb kaalumise ja võistluste alguse vahele võrdlemisi pikk ajavahemik, mis ilmselt võimaldab taastumisprotsesse efektiivsemalt mõjutada. Kreatiini kehakaalu suurendav toime võib sellises kontekstis üksnes kasuks tulla ega saa olla segavaks asjaoluks, nagu ta seda kehakaalu alandamise aegu nähtavasti on. Meie tähelepanu pälvis ka Rootsi ja Inglise teadlaste poolt tuvastatud fakt, et kreatiini tarbimine koos süsivesikutega suurendab oluliselt kreatiini akumulatsiooni kiirust ja ulatust inimese skeletilihases. Teise hüpoteesi kontrollimisel, mille kohaselt kreatiin, manustatuna koos glükoosiga 17-tunnisel taastumisperioodil pärast kehakaalu alandamist, kiirendab treenitud maadlejatel nii kehakaalu kui töövõime normaliseerumist, selgus, et see hüpotees kehtib küll kehalise töövõime, mitte aga kehakaalu taastumise osas [Ööpik jt, 2002].

Ilmnes, et toidulisand suurendas sportlaste võimekust eelkõige maksimaalse intensiivsusega pingutuste sooritamisel (vt joonis 1). Selles uuringus määrati ka kreatiini kogus, mis pärast manustamist sportlase kehas akumulieeriti. Korrelatsioonianalüüs näitas väga tugevat seost akumulieeritud kreatiini hulga ja maksimaalse intensiivsuse tsoonis sooritatud töö hulga suurenemise vahel ($r = 0,92$). Sportlaste kehakaal suurenes vaadeldaval taastumisperioodil praktiliselt samavõrra nii mainitud koostisega toidulisandi kui ka platseebona kasutatud puhta glükoosi manustamise foonil.

Saadud tulemused aitavad paremini mõista kõnealuse ühendi manustamise efekti kindlates tingimustes. Ühtlasi võimaldavad nad optimeerida kreatiini kasutamist toidulisandina kahevõitluse alade sportlastel: selle manustamine on vastunäidustatud kehakaalu alandamise aegu, taastumisperioodil pärast kaalukaotust kiirendab kreatiin aga töövõime normaliseerumist.

Kehalise pingutusega kaasnev väsimustunne on kindlasti tuttav igale inimesele. Väsimus kui füsioloogiline fenomen on aga keerukas nähtus. Väsimusega kaasneb lihaste jõu ja nende kontraktsiooni ning lõõgastuse kiiruse langus. Väsitaval kehalisel tööl võib lihaskõhust olla seotud nii pidurduse tekkega pea- ja/või seljaaju motoorsetes keskustes kui ka funktsionaalsete häiretega töötavates lihastes. Vaatamata laiaulatuslikele uuringutele ei ole käesoleval ajal väsimuse füsioloogilise mehhanismi kohta ühtset seisukohta. Erineva iseloomuga (staatiline, dünaamiline) ja intensiivsusega (submaksimaalne, maksimaalne) ning kestusega (pidev või puhkepausidega pingutus) lihastöö puhul võib väsimuse lokaliseerimine erineda, s.o töövõimet limiteerivad funktsionaalsed nihked võivad tekkida närvi- lihassüsteemi erinevates lülides.

Kõrge intensiivsusega dünaamilisel kehalisel tööl peetakse üheks olulisemaks väsimusseisundi tekkimise ja süvenemise põhjuseks vabade vesinikioonide (H^+) kontsentratsiooni suurenemist kontraheeruva lihase sarkoplasmas ning rakkudevahelises vedelikus ja veres. Organismi happelisuse suurendamine võib väsimust esile kutsuda mitmel viisil: pH langusega inhibeeritud fosfofruktokinaasi aktiivsus võib oluliselt piirata kõrge intensiivsusega töötava lihasku energiaga varustatust, samuti võib madala pH tingimustes häiruda kaltsiumi sarkoplasmaatilise retikulumist vabanemine ja tema sidumine troponiin C poolt, mis otseselt kahjustab lihasku kontraktsioonivõimet. On alust eeldada, et puhver-



Joonis 1.

Töövõime testi jooksul sooritatud submaksimaalse (W_{smax}) ja maksimaalse (W_{max}) intensiivsusega töö ning summaarne töö (W_{sum}) enne ja pärast kehakaalu alandamist ning pärast 17-tunnist taastumisperioodi erinevate dieedimanipulatsioonide foonil (keskmine \pm SD). $P < 0,05$: * võrreldes enne kehakaalu alandamist; ** võrreldes pärast kehakaalu alandamist.

süsteemide mahtuvuse suurendamisel näiteks sobivate toidulisandite manustamise teel on kehalist töövõimet parandav efekt. Paljudes uuringutes, kus on kasutatud kas naatriumvesinikkarbonaati või naatriumtsitraati, on õnnestunud nende ühendite töövõimet parandavat efekti ka demonstreerida. Reeglina on see ilmnenud lühiajaliste (1–7 minutit) kõrge intensiivsusega sooritatavate harjutuste puhul.

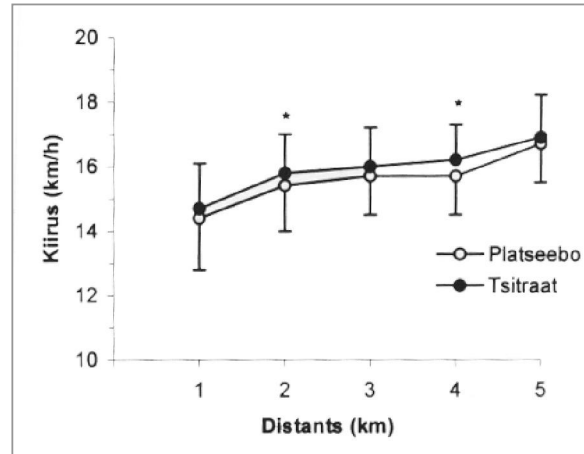
Organismi puhversüsteemide mahtuvust suurendavate ühendite mõju vastupidavuslikule töövõimele

on seni võrdlemisi vähe uuritud ning saadud tulemused on vastuolulised. Üheks põhjuseks on kindlasti asjaolu, et vastupidavustööl domineerib lihases aeroobne energiatootmise süsteem, tänu millele tekib vähem happelisiprodukte, mistõttu nende hulk jääb alla tasemele, mis võiks hakata oluliselt töövõimet limiteerima. Paljudel juhtudel on anaeroobse glüko(gen)lüüsi panus lihase energiavarustusse vastupidavustööl siiski märkimisväärne. Näiteks on väga hea treenitusega sportlastel pärast 5000 m jooksu laktaadi kontsentratsiooniks veres registreeritud isegi üle 20 millimooli liitri kohta, mis on väga kõrge tase. See lubab eeldada, et vähemalt kõnealusel distantsil on organismi puhversüsteemide mahtuvust suurendavatel ühenditel saavutusvõimet parandav efekt.

Seda hüpoteesi kontrolliti eksperimentaalses laboratoorses uuringus, kus osalesid hästi treenitud kesk- ja pikamaajooksjad [Ööpik jt, 2003]. Selgus, et aeg, mis vaatlusalustel kulus 5 km läbimiseks liikuväljajooksurajal, osutus naatriumtsitraadi manustamise järgselt oluliselt lühemaks kui platseebo kasutamise korral. Erinevus lõppajal tekkis peamiselt tänu teisel ja neljandal kilomeetril arendatud suuremale jooksukiirusele (vt joonis 2). Laktaadi kontsentratsioon vaatlusaluste veres oli oluliselt kõrgem naatriumtsitraadi manustamise foonil toimunud testjooksu järgselt võrreldes platseeboga. See peegeldab tõenäoliselt laktaadi efektiivsemat väljutamist töötavast lihastest, mis omakorda võimaldab suurendada glüko(gen)lüüsi osatähtsust lihase energiavarustusel. Selline vajadus tekib tüüpiliselt lühiajaliste maksimaalse või sellele lähedase intensiivsusega kehaliste pingutuste sooritamisel. Analoogiline situatsioon võib siiski tekkida ka vastupidavustööl, näiteks vahe- või lõpuspurdi sooritamisel. Otsustades kehakaalu muutuste ning hemoglobiini ja hematokriti nihete alusel, põhjustas naatriumtsitraadi manustamine vee peetuse ja plasma mahu suurenemise vaatlusaluste organismis. See võib samuti parandada vastupidavuslikku töövõimet, näiteks töötavate lihaste perfusiooni suurendamise kaudu.

VÄSIMUS JA TREENINGU MÕJU SKELETILIHASTE KONTRAKTIILSETELE OMADUSTELE

Väsimuse füsioloogiliste mehhanismide tundmine on lähtealuseks nii inimeste tööalasest tegevusest kui ka sportlaste treeningukoormuste optimeerimise vajadusest tulenevate praktiliste probleemide lahendamiseks. Samavõrra oluline on mõista väsimuse



Joonis 2.

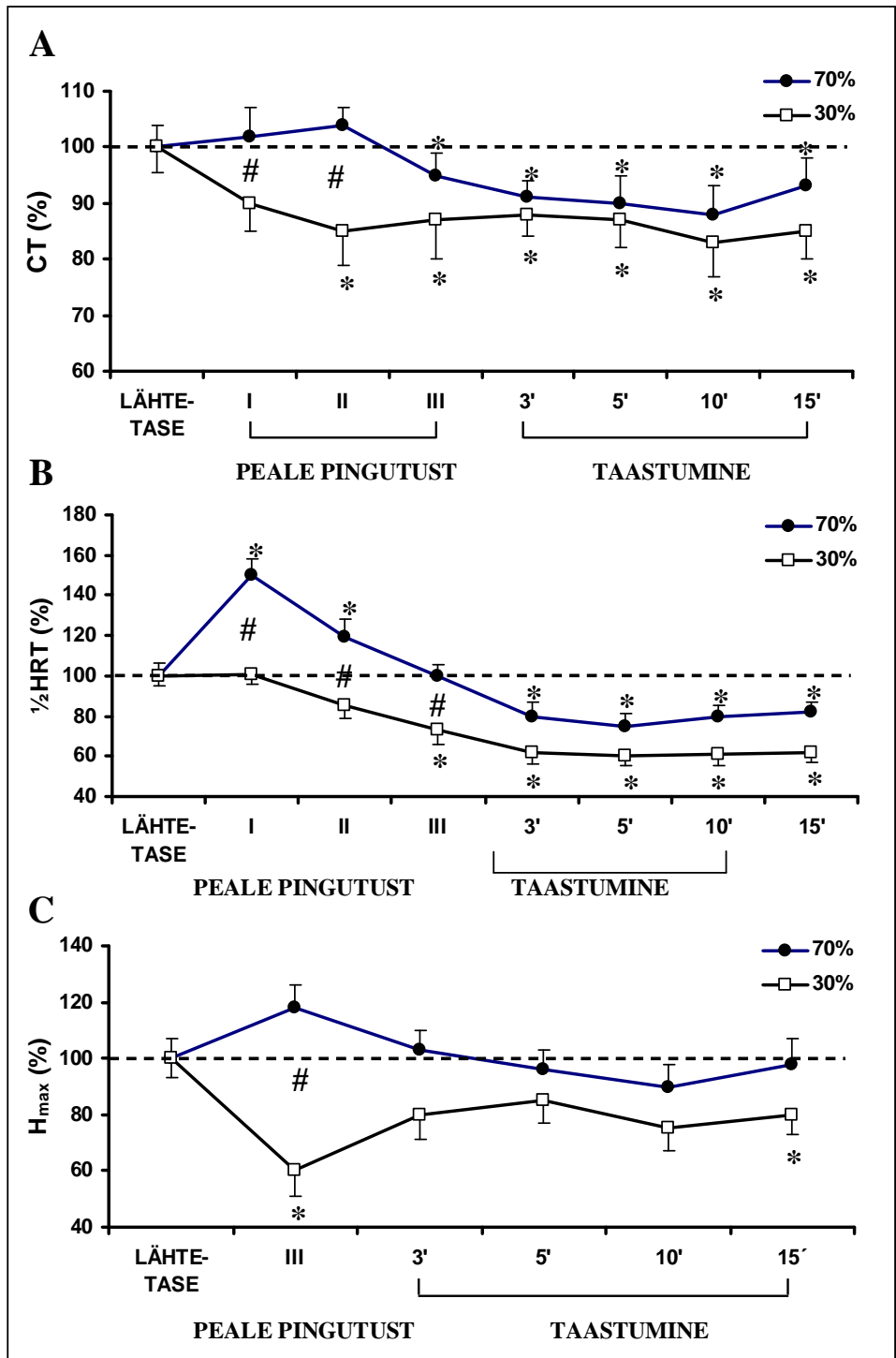
Viie kilomeetri jooksudistantsi läbimise kiirus kilomeetrite lõikes erinevate joogimanipulatsioonide foonil (keskmine ± SD).

* $P < 0,05$ võrreldes platseebo uuringuga.

iseärasusi erinevate terviseprobleemidega inimestel, tagamaks neil taastusravi eesmärgil rakendatavate kehaliste harjutuste adekvaatset valikut ja doseerimist. Viimastel aastatel on Tartu Ülikooli spordibioloogia ja füsioteraapia instituudis teostatud rida lihasväsimuse alaseid füsioloogilisi uuringuid, kasutades kombineeritult elektrofüsioloogilisi uurimismeetodeid – elektrostimulatsiooni, elektromüograafiat (EMG) ja dünamograafiat.

Inimese igapäevase kehalise tegevusega kaasnevad sageli erineva kestuse ja intensiivsusega submaksimaalsed staatilised pingutused. Lihaskõikumise teke submaksimaalsetel staatilistel pingutustel sõltub paljudest faktoritest. Seejuures üheks oluliseks töövõimet limiteerivaks faktoriks on muutused töötavate lihaste kontraktiilsetes omadustes. Lihaskõikumise uurimisel on elektrostimulatsiooniga esile kutsutud lihaste üksik- või tetaanilise kontraktsiooni mehaaniliste ja bioelektriliste (EMG) näitajate põhjal võimalik uurida funktsionaalseid muutusi töötavates lihastes ja neid juhtivates motoorsetes keskustes.

Ühes uuringus registreeriti skeletilihaste kontraktiilsete omaduste muutused erineva intensiivsusega korduvat submaksimaalsetel staatilistel pingutustel (vt joonis 3). Oluliseks lihaste töövõimet limiteerivaks faktoriks on suure intensiivsusega staatilistel pingutustel pidurduse teke spinaalsetes motoorsetes



Joonis 3.
Elektrostimulatsioon
iga esilekutsutud
sääre kolmpealihase
isomeetrilise üksik-
kontraktsiooni kont-
raktsioonifaasi (A)
ja lõõgastusfaasi (B)
kestuse ning sääre
lestilihase H-refleksi
maksimaalse ampli-
tuudi (H_{max}) (C) dü-
naamika erineva in-
tensiivsusega staati-
listel pingutustel
(keskmine ± SE).
P<0,05:
* lähtetaseme suhtes;
võrreldes suure in-
tensiivsusega (70%
maksimaalsest) pin-
gutustega.

keskustes, mõõduka intensiivsusega pingutustel aga töötavates lihastes toimuvad funktsionaalsed nihked.

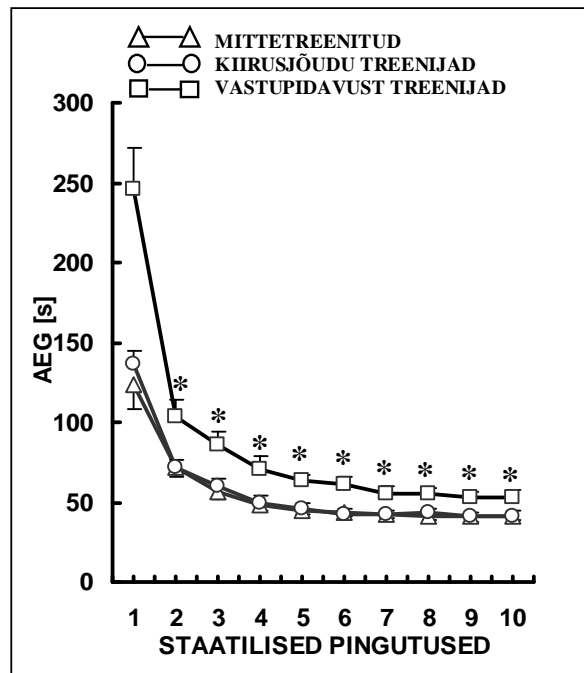
Treenitusseisundi tekkimise ja arenemise seaduspärasusi aitab mõista lihasväsimuse iseärasuste tundmaõppimine erineva treeninguspetsiifika sportlastel. Sellel eesmärgil uuriti lihasväsimuse tekke füsioloogilisi iseärasusi korduvalt suutlikkuseni sooritatud submaksimaalsetel (40% maksimaalsest) staatilistel pingutustel kiirusjõudu ja vastupidavust treenivatel meessportlastel ning mittetreenitud meestel [Pääsuke jt, 1999a]. Tehti kindlaks, et vastupidavust treenivad sportlased suutsid pingutusi hoida oluliselt kauem kui kiirusjõudu treenivad sportlased ja mittetreenitud mehed, kusjuures kahel viimati mainitud grupil olulisi erinevusi pingutuste hoidmise kestuses ei täheldatud (vt joonis 4).

Uuring näitas, et erutuse ja kontraktsiooni sidestusmehhanism on lokaalsetel submaksimaalsetel pingutustel väsimuse suhtes üheks kõige sensitiivsemaks lülis lihases. Lihasväsimus on korduvalt suutlikkuseni sooritatud submaksimaalsetel staatilistel pingutustel seotud funktsionaalsete nihetega eelkõige töötavates lihastes ja spinaalsetes mootorsetes keskustes ega ole oluliselt seotud häiretega sensomotoorse süsteemi kõrgemates keskustes.

Üheks oluliseks ergonoomiliseks probleemiks tänapäeval on seljalihaste väsimus. Staatilised pingutused sundasendites, mille tulemusel suureneb koormus lülisambale ja tekib seljalihaste väsimus, on alaseljavalude üheks riskiteguriks. Seljalihaste funktsionaalse seisundi hindamisel on üheks enam kasutatavaks testiks Sørenseni staatilise vastupidavuse test, mille sooritamisel hoiab vaatlusalune üle teraapialaua serva paiknevat ülakeha horisontaalasendis raskusjõu vastu (vt foto 1). Seljalihaste staatiline pinge selle testi sooritamisel moodustab 40–50% maksimaalsest.

Ühes läbiviidud uuringus selgitati seljalihaste väsimuse arengu iseärasusi keskealistel (40-a) tervetel ning idiopaatiliste alaseljavaludega naistel ja meestel [Pääsuke jt, 2002]. Vaatlusalused sooritasid Sørenseni testi suutlikkuseni. Uuringust selgus, et alaseljavaludega patsientidel oli seljalihaste staatiline vastupidavus oluliselt väiksem ja neil väsisid seljalihased kiiremini kui tervetel eakaaslastel.

Sportliku treeningu tulemusena toimuvaid adaptiivseid muutusi skeetilihastes on võimalik hinnata nende kontraktilsete omaduste määramise teel elektrostimulatsiooni meetodil. Elektrostimulatsiooniga esile kutsutud lihaste üksik- või tetaanilise



Joonis 4.

Suutlikkuseni sooritatud reie nelipealihase staatiliste pingutuste kestus kiirusjõudu (Δ) ja vastupidavust (\square) treenivatel sportlastel ning mittetreenitudel (\triangle) (keskmine \pm SE).

* $P < 0.05$ võrreldes vastupidavust treenijaid teiste uuritud gruppidega.

kontraktsiooni ja nende tahtlise isomeetrilise jõu sünkroonne registreerimine võimaldab hinnata nii lihase kontraktsioonijõudu kui kontraktsiooni ning lõõgastuse kiirust, samuti selgitada mootorsete ühikute mobiliseerimisega seoses olevaid neuraalseid mehhanisme.

Võrdlevas uuringus, kus osalesid kaks treeningu suunitluselt erinevat sportlaste gruppi ja treenimatud mehed, registreeriti rida sääre kolmpealihase (*m. triceps surae*) kontraktilsete omadusi isoleeritud parameetriteid sääreluunärvi lühiajalise (1 ms) supramaksimaalse elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni tingimustes [Pääsuke jt, 1999b]. Lihase üksikkontraktsiooni jõunäitajad (maksimaaljõud ja jõugradiendid) olid kiirusjõudu treenivatel sportlastel (sprinterid ja hüppajad) oluliselt suuremad kui vastupidavust

treenivateel sportlastel (suusatajad ja pikamaajooksjad) ning mittetreenitud meestel, kusjuures vastupidavust treenivateel sportlastel ning mittetreenitud need parameetrid oluliselt ei erinenud.

Meie uuringute andmed näitavad, et kiirusjõu treening kutsub esile lihaskiudude jõugenereerimise võime olulise kasvu, vastupidavustreeninguga aga seda ei kaasne. Samas põhjustavad aga nii kiirusjõu iseloomuga treening kui ka vastupidavustreening lihaste kontraktsioonikiiruse kasvu ning mootorsete ühikute mobiliseerimisega seotud neuraalsete koordinatsioonimehhanismide täiustumise.

KOHANEMISPROTSESSID SKELETILIHASES TSELLULAARSEL JA SUBTSELLULAARSEL TASANDIL

Eesmärgipärane treening kutsub inimese organismis esile mitmepalgelise kohanemisreaktsiooni, mille lõppkokkuvõttes põhineb saavutusvõime paranemine. Kuigi treenituse tekkimine ja arenemine tugineb muutustele praktiliselt kõigis organismi struktuurides, omavad selles kesket tähtsust eelkõige skeletilihases toimuvad kindlasuunalised protsessid.

Skeletilihased koosnevad teatavasti erinevat tüüpi rakkudest (lihaskiududest), mis on organiseeritud mootorsete ühikutena. Klassikaliselt eristatakse kolme tüüpi lihaskiudusid: oksüdatiivseid (O), oksüdatiiv-glükolüütilisi (O-G) ja glükolüütilisi (G). Mootorse ühiku moodustavad motoorne neuron ja tema poolt innerveeritavad lihaskiud. Ühte motoorsesse ühikusse kuuluvad lihaskiud on üht ja sama tüüpi.

Treeningukoormuse iseloom määrab erinevate mootorsete ühikute aktiveerimise, sellest omakorda sõltub kohanemisprotsesside suund ja ulatus kindlat tüüpi lihaskiududes. Tänapäeva tippspordis rakendatavad koormused on tinginud vajaduse üksikasjaliselt tundma õppida nende poolt esile kutsutavaid muutusi skeletilihases tsellulaarsel ja subtsellulaarsel tasandil. Sellekohane informatsioon võimaldab teadlikult arvestada sportlase geneetilist eripära ja sellest tulenevaid kohanemisvõime iseärasusi tema treeninguprotsessi planeerimisel.

Treeningukoormused, sõltuvalt nende iseloomust, põhjustavad suurema või väiksema ulatusega koldeksi kahjustusi skeletilihaskiududes. Suure mahuga vastupidavustreeningul arvatakse kahjustuvat umbes 1% lihaskiududest. Meie teostatud loomeksperi-

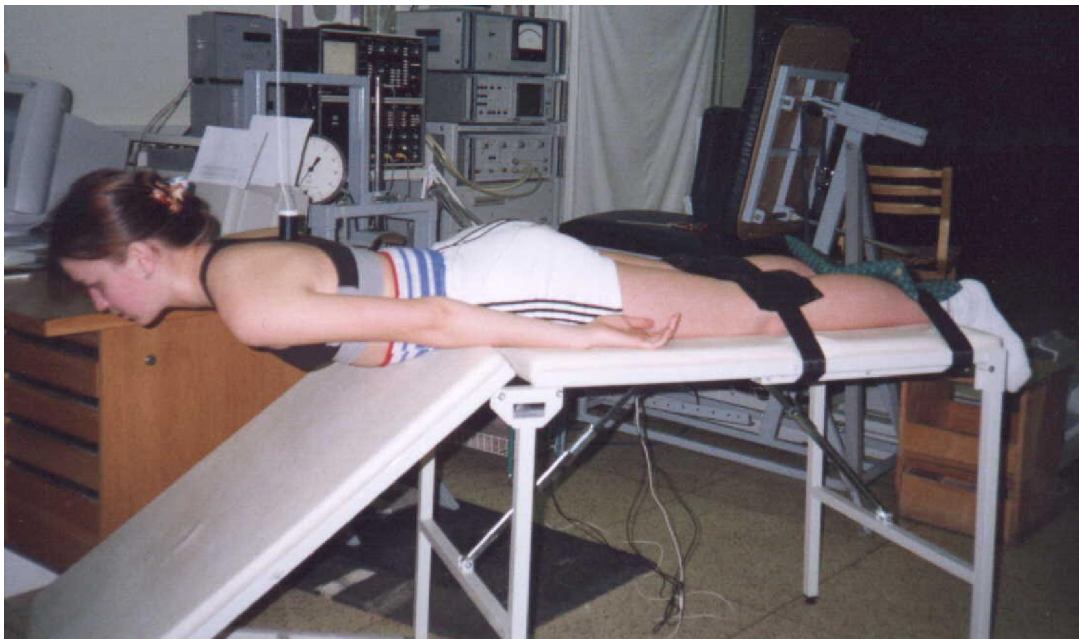


Foto 1.

Vaatlusaluse asend Sørenseni seljalihaste staatilise vastupidavustesti sooritamisel.

mentide andmed näitavad, et skeletilihase erinevates kiutüüpides sõltub treeningul kerkinud struktuursete kahjustuste ulatus taastumisest. Vastupidavustreeningul kahe puhkepäevaga nädalas esineb koldelisi kahjustusi eelkõige oksüdatiiv-glükolüütilistes ja oksüdatiivsetes lihaskiududes. Puhkepäevadeta suure mahuga treenides esineb kahjustusi eelkõige O-G lihaskiudude kontraktiilses aparaadis. Tüüpiliseks tunnuseks on seejuures peened müofibrillid ja suured sarkoplasma täidetud alad müofibrillide vahel (vt foto 2). Olulisel määral võib täheldada ka teisi kahjustunud rakuorganelle. Lihaskiudude degradatsioon suureneb 2,2%lt 3%le päevas kahepäevase taastumisperioodi puhul nädalas. Aeglastes (*m. soleus*) ja kiiretes lihastes (*m. plantaris* ja *m. extensor digitorum longus*) ning aeglastes ja kiiretes lihaskiududes määrab lihase kontraktsioonimadused müosiini raskete ahelate (MyHC) isovormide ja aktiini sünteesi ja degradatsiooni intensiivsus ning MyHC isovormide suhtelise sisalduse muutus (vt joonis 5).

Igapäevase treeningu puhul suureneb lihaskiudude degradatsioon kuni 4,5%ni päevas ning oluliselt langeb kontraktiilsete valkude sünteesi intensiivsus [Seene jt, 2004; Pehme jt, 2004a]. Igapäevased suure mahuga treeningud viivad kortikosterooni veretase olulise tõusuni, samal ajal langeb aga testosteroon ja türoksiini sisaldus. Sõltuvalt skeletilihasest (aeglane, kiire) täheldatakse lihase fenotüübi muutusi erinevates suundades. Aeglastes lihases toimub kahe puhkepäevaga nädalas treeningu puhul MyHC isovormide mõningane muutus kiiremate isovormide suunas (MyHC I → MyHC IIa), kiiretes lihases väheneb kiireimate isovormide (IIb) ja suureneb kiiruselt teise isovormi (MyHC IIc) suhteline sisaldus (vt joonised 6 ja 7).

Seega suure treeningumahu taluvus sõltub organismi eripärast. Väga oluliselt mõjutab seda skeletilihaste kompositsioon ja vanus [Pehme jt, 2004b]. Kõige tundlikumad suurele treeningumahule ja vähesele taastumisele on O-G lihaskiud, kõige resistentsemad aga O lihaskiud.

Raku basaalmembraani all asuvate müoblastide aktiveerumist põhjustav treening intensiivistab läbi müogeensete regulatsioonifaktorite müoblastide muutumist müosümpplastideks, müotuubideks ja uuteks lihaskiududeks (vt foto 3). Juhul kui lihaskiud kahjustuse ulatus on sedavõrd väike, et ei põhjusta selle hävimist, võivad müoblastid liituda kahjustunud lihaskiuga, lihaskiud suureneb RNA hulk, inten-

siivistub valgusüntees, suureneb DNA ühikute suurus ja arv ning lihas hüpertrofeerub.

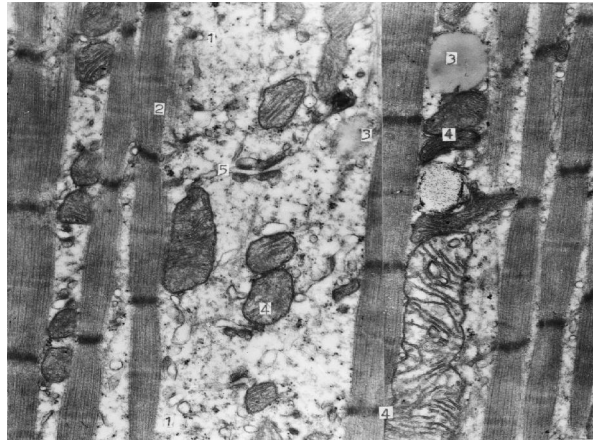
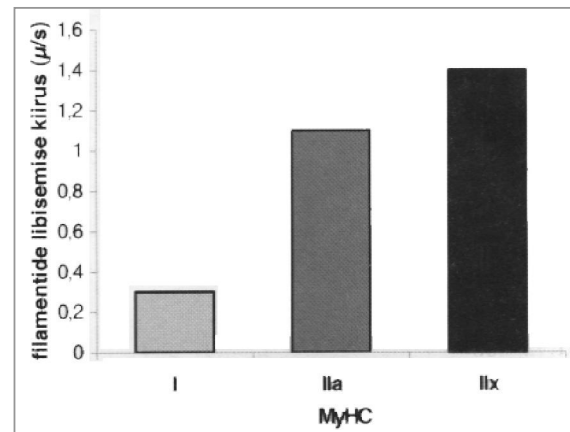


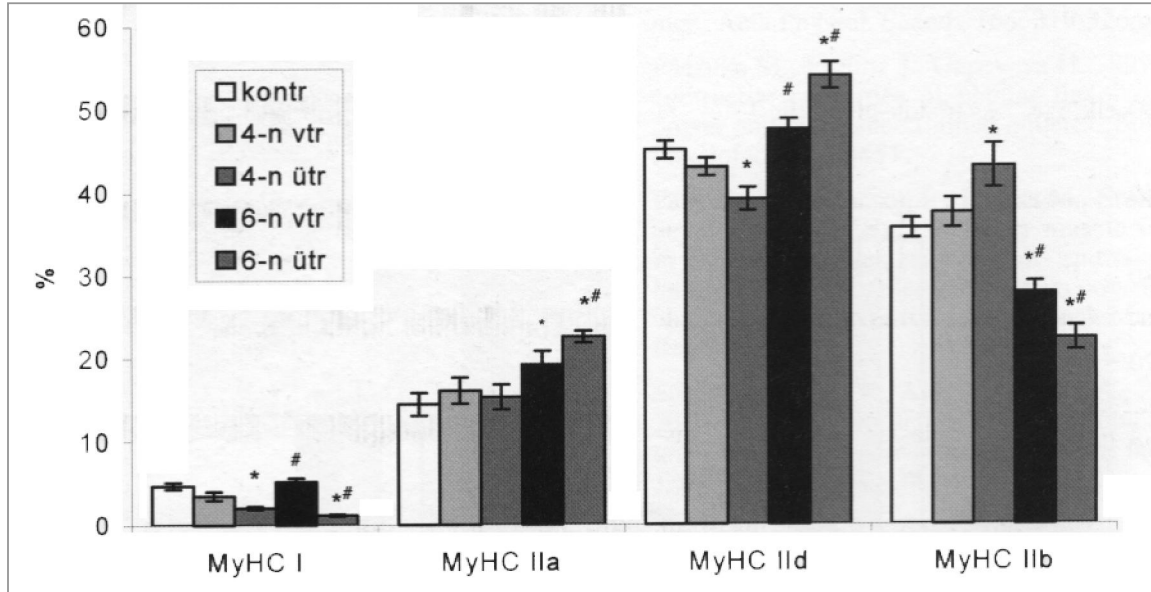
Foto 2.

Ülemäärase treeningumahu mõju sarkomeeri geometriale oksüdatiiv-glükolüütilises lihaskiud. 1 – müofibrillide destruktsioonist põhjustatud müofibrillide vahelised suured distantsid; 2 – peened müofibrillid; 3 – lipiidid; 4 – mitokondrid; 5 – T-süsteemi komponendid.



Joonis 5.

Inimese lihaskontraktsiooni kiiruse sõltuvus müosiini raskete ahelate kompositsioonist. MyHC – müosiini raskete ahelate isovormid.



Joonis 6.

Erineva mahuga vastupidavustreeningu mõju müosiini raskete ahelate isovormide kompositsioonile roti skeleti-lihases (*m. plantaris*).

kontr – kontrollrühm; 4-n vtr – 4-nädalane vastupidavustreening; 4-n ütr – 4-nädalane ületreening; 6-n vtr – 6-nädalane vastupidavustreening; 6-n ütr – 6-nädalane ületreening; MyHC I, IIa, IIc, IIb – müosiini raskete ahelate isovormid.

P<0.05: * võrreldes kontrollrühmaga; # võrreldes vastava 4-nädalase treeningrühmaga.

Samal ajal põhjustavad treeningukoormused ka lihasvalkude degradatsiooni intensiivistumise, mille ulatus sõltub suuresti rakendatud koormuse iseloomust. Ebapiisava taastumise korral võib valgude degradatsiooni intensiivistumine viia lihasatroofia arengule. Skeetilihase kasv sõltub omakorda mitmetest erinevatest faktoritest: IGF-1 (insuliinilaadne kasvufaktor 1), MGF (mehaaniline kasvufaktor) ja FGF (fibroblastide kasvufaktor).

Täiskasvanud skeetilihase puhul on oluline just MGF-i roll, mis seisneb satelliitrakkude aktiveerimises. Meie andmetel mõjutab satelliitrakkude aktivatsiooni ulatuslikumal määral suuremahuline vastupidavusliku iseloomuga koormus (vt foto 4). Kui rakendatud koormuse maht või intensiivsus ei ole ülemäärane ja ka taastumisperiood on piisav, osalevad lihase kasvu regulatsioonis põhimõtteliselt kõik eeltoodud faktorid, kuid samal ajal sõltub nende faktorite otsene mõju rakendatud koormuse iseloomust.

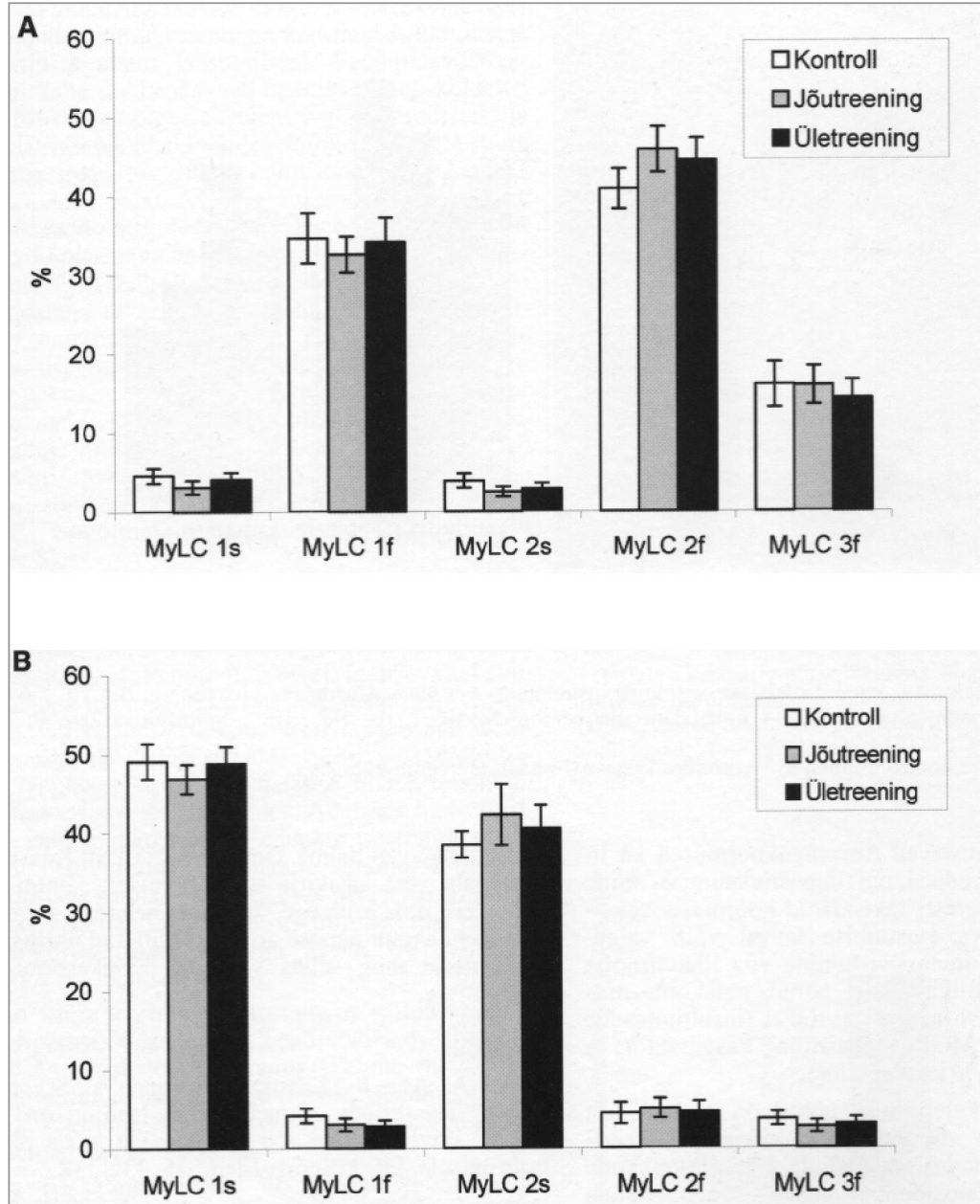
Autorid tänavad Saima Timpmani ja Priit Kaasikut lahke abi eest käsikirja viimistlemisel, samuti ka kõiki teisi oma kolleege, kes koos nendega on andnud asendamatu panuse artiklis käsitletud uuringute teostamisse ning selles viidatud publikatsioonide valmimisse.

Kirjandus

Pehme A., Alev K., Kaasik P., Julkunen A., Seene T. 2004a. The effect of mechanical loading on the MyHC synthesis rate and composition in rat plantaris muscle. *Int. J. Sports Med.*, 25, 332-338.

Pehme A., Alev K., Kaasik P., Seene T. 2004b. Age related changes in skeletal muscle myosin heavy chain composition: effect of mechanical loading. *J. Aging Phys. Act.*, 12, 29-44.

Pääsuke M., Ereline J., Gapeyeva H. 1999a. Neuromuscular fatigue during repeated exhaustive submaximal static contractions of knee extensor muscles



Joonis 7.

Erineva võimsusega jõutreeningu mõju müosiini kergete ahelate isovormide kompositsioonile roti skeetilihastes.

A – *m. plantaris*; B – *m. soleus*; MyLC 1s, 1f, 2s, 2f, 3f – müosiini kergete ahelate isovormid.

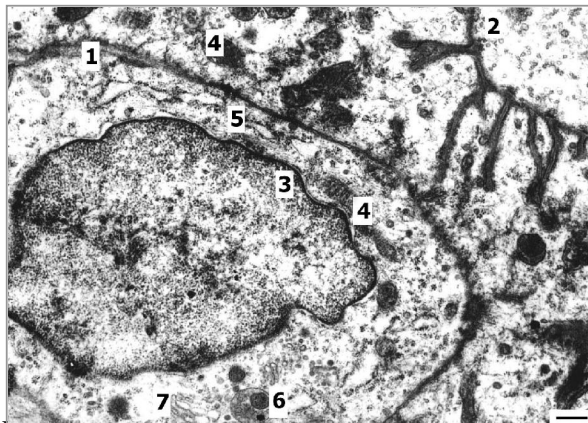


Foto 3.

Satelliitrakk lihaskiu sünaptilises piirkonnas.

1 – satelliitrakk; 2 – sünaptiline piirkond; 3 – satelliitrakuum; 4 – mitokondrid; 5 – karedapinnaline sarkoplasmaatiline retiikulum; 6 – autofaagiline vakuool; 7 – Golgi kompleks.



in endurance-trained, power-trained and untrained men. *Acta Physiol. Scand.*, 166, 319-326.

Pääsuke M., Ereline J., Gapeyeva H. 1999b. Twitch contractile properties of plantar flexor muscles in power and endurance trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 80, 448-451.

Pääsuke M., Johanson E., Proosa M., Ereline J., Gapeyeva H. 2002. Back extensor muscle fatigability in chronic low back pain patients and controls. Relationship between electromyogram power spectrum changes and body mass index. *J. Back Musculoskel. Rehabil.*, 16, 17-24.

Seene T., Kaasik P., Alev K., Pehme A., Riso E. M. 2004. Composition and turnover of contractile proteins in volume – overtrained skeletal muscle. *Int. J. Sports Med.*, 25, 438-445.

Viru A. 1985. *Hormones in Muscular Activity*. Vol.1 and 2. CRC Press, Boca Raton Fl.

Ööpik V., Pääsuke M., Timpmann S., Medijainen L., Ereline J., Gapeyeva J. 2002. Effects of creatine supplementation during recovery from rapid body mass reduction on metabolism and muscle performance capacity in well-trained wrestlers. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 42, 330-339.

Ööpik V., Pääsuke M., Timpmann S., Medijainen L., Ereline J., Smirnova T. 1998. Effect of creatine supplementation during rapid body mass reduction on metabolism and isokinetic muscle performance capacity. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 78, 83-92.

Ööpik V., Saaremets I., Medijainen L., Karelson K., Janson T., Timpmann S. 2003. Effects of sodium citrate ingestion before exercise on endurance performance in well trained college runners. *Br. J. Sports Med.*, 37, 485-489.

Foto 4.

Vastupidavustreeningu mõju satelliitrakkude struktuurile.

1 – satelliitrakk; 2 – müofilamendid; 3 – ääristatud põikesed; 4 – mitokondrid; 5 – sekundaarsed lüsoosoomid; 6 – Golgi kompleks.