



TARTU ÜLIKOOL

Spordibioloogia ja füsioteraapia instituut

Matis Miisna

**Kohanemisprotsessid liikumisaparaadis sõltuvalt funktsionaalsest aktiivsusest
jõutreeningu näol**

Bakalaureusetöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja: Eva-Maria Riso

Tartu 2014

SISUKORD

SISUKORD	2
LÜHENDID	4
SISSEJUHATUS	5
1. JÕUTREENINGU MÕJU LIHASKIUDUDELE	6
1.1 Lihaskiu tüübid ja MHC- olemus ja tähtsus.	6
1.2 MHC isovormide ekspressioon ja korrelatsioon lihaskiu tüüpidega	7
1.3 Jõutreeningu mõju lihaskiududele ning lihaskiudude isovormilisele kompositsioonile 7	
1.4 Jõutreeningu mõju valkude uuenemiskiirusele	8
1.5 Geneetiliste faktorite olulisus	9
2. LIHASE JA KÕÕLUSE KOMPLEKSI OMADUSED JA OLULISUS JÕU	
VAHENDAJANA	11
2.1 Lihase ja kõõluse kompleksi omadused.....	11
2.2 Lihase ja kõõluse kompleksi ebaühtlasest arengust tulenevad probleemid	12
2.3 Jõutreeningu mõju lihase ja kõõluse kompleksile	14
3. NEURAALSETE FAKTORITE OLULISUS JÕUTREENINGUL	16
3.1 Neuroloogiline adaptatsioon jõutreeningule	17
3.2 Motoorse ühiku adaptatsioon ja roll jõu produtseerimisel.....	18
3.3 Isotooniliste ja kineetiliste harjutuste mõju neuromuskulaarsele süsteemile	20
4. HORMONAALSETE MEHCHANISMIDE OSA JÕU ARENGUS	22
4.1 Hormonaalsete mehhanismide olemus ja toime	22
4.2 Testosterooni olemus ja toime	23
4.3 Glükokortikoidide olemus ja toime	24

4.4 Insuliinilaadse kasvufaktor-1 ning kasvuhormooni olemus ja toime	25
4.5 Hormonaaide tasemed erinevates treeningrezhiimides.....	26
KOKKUVÕTE	28
KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	30
SUMMARY	33
LISAD	34
Tabel 1.	34
Tabel 2.	35

LÜHENDID

AT	Achilleuse kõõlus (<i>Achilles tendon</i>)
ATP	Adenosiintrifosfaat (<i>Adenosine triphosphate</i>)
CSA	Ristlääbilõike pindala (<i>Cross-sectional area</i>)
DJ	Sügavushüpe (<i>Drop-jump</i>)
EMG	Elektromüograafia (<i>Electromyography</i>)
ES	Vastupidavus- ja jõutreening (<i>Endurance and strength training</i>)
FL	Fastsia pikkus (<i>Fascicle lenght</i>)
GH	Kasvuhormoon (<i>Growth hormone</i>)
IGF-1	Insuliinilaadne kasvufaktor-1 (<i>Insulin-like growth factor 1</i>)
KM	Kordusmaksimum
MHC	Müosiini raske ahela isovorm (<i>Myosin heavy chain</i>)
PEN	Kinnitusnurk (<i>Pennation angle</i>)
RFD	Maksimaalne jõumoment (<i>Maximal rate of force development</i>)
RNA	Ribonukleiinhape (<i>Ribonucleic acid</i>)
SE	Jõu- ja vastupidavustreening (<i>Strength and endurance training</i>)
SJ	Kükkhüpe (<i>Squat-jump</i>)
SSC	Venitus- ja lühenemistsükkel (<i>Stretch-shortening cycle</i>)

SISSEJUHATUS

Inimese liikumisaparaat kujutab endast integreeritud süsteemi, mille ülesandeks on võimalikult ökonoomselt ning koordineeritult tulle toime väliskeskkonna poolt tingitud füüsiliste ülesannetega. Enamustel spordialadel on hea soorituse aluseks liikumiaparaadi võimekus rakendada jõudu vastukaaluks füüsilisele vastupanule. Jõu rakendamise võimekus sõltub aga sellest, kui hästi on liikumisaparaat kohanenud treeningutega. Selleks, et jõutreeningu kasutegur oleks võimalikult suur, on vaja mõista neid kohanemisprotsesse ning nende seotust, mis ilmnevad pideva füüsilise koormamise puhul.

Jõuharjutusi kasutatakse laialdaselt kõikvõimalike spordialade treeningus ja tervisespordis. Jõul kui kehalisel võimel on tähtsus erinevate liigutuste kiiruse ja võimsuse saavutamisel.

Töö eesmärk on kaasaegse teaduskirjanduse põhjal selgitada jõu kui kehalise võime arenemise mehhanisme. Teemavalik tuleneb autori huvist mõistmaks põhjalikumalt adaptatsioonimehhanismide olemust ning nende omavahelist seotust liikumisaparaadis.

Käesolev bakalaureusetöö koosneb neljast peatükist, mis käsitlevad erinevate seotud süsteemide olemust, ülesannet ning kohanemisprotsesse vastusena füüsilisele koormamisele. Esimeses peatükis tutvustatakse lihaskiudude ning nende isovormide olemust ja olulisust ning jõutreeningu mõju neile. Teise peatüki ülesandeks on anda ülevaade lihas-kõõluse kompleksi omadustest ning olulisusest jõu väljendumisel. Kolmanda peatükk annab ülevaate neuraalsete faktorite olemusest ja olulisusest jõutreeningu mõju realiseerimisel. Neljandas peatükis antakse ülevaade hormonaalsete mehhanismide olemusest, olulisusest, toimest hormonaalsete mehhanismide osast jõutreeningus.

1. JÕUTREENINGU MÕJU LIHASKIUDUDELE

1.1 Skeletilihaskiudude tüübid ja MHC- olemus ja tähtsus

Kehaline treening võib põhjustada lihaskiududes muutusi nende kompositsioonis, mida saab vaadelda kvalitatiivsete nihetena müosiini rasketes isovormides (Kyröläinen jt., 2005). MHC – müosiini raske ahela isovorm- on üks skeletilihase valkudest, millest koosneb müosiini filament ning mis moodustab ristsilla toetudes libisevate filamentide teooriale ning on müosiini ATP-aasi aktiivsuse alaks (Fry jt., 2003). MHC valgu modulatsioon inimese skeetilihases on mitmetahuline, sest selles osalevad nii arengulised, neuraalsed, hormonaalsed kui mehhaanilised faktorid. MHC valgu pretranslatsioonilised mehhaanilised omadused on kõrge tundlikkusega isegi väikesemahulise jõutreeningu suhtes. Paljud uuringud keskenduvad MHC kompositsioonile tema tähtsa rolli tõttu müosiini ATP-aasi aktiivsuses ning sellest tulenevalt mõjust lihaskiu kontraheerumise kiirusele (Pehme, 2004).

Lihaskiude saab metaboolsel tasandil klassifitseerida kolme rühma: kiired glükolüütilised lihaskiud (tüüp IIB), kiired oksüdatiiv-glükolüütilised lihaskiud (tüüp IIA) ning aeglased oksüdatiivsed lihaskiud (tüüp I) (Moritani, 2003).

Madala oksüdatiivse potentsiaaliga (glükolüütilised) lihaskiud suudavad produtseerida jõudu kiiresti, kuid sellega kaasneb ka nende kiire kurnatus, mida peegeldab kiirete müosiini isovormide ülekaal. Kõrge oksüdatiivse (oksüdatiivsed-glükolüütilised lihaskiud) potentsiaaliga kiiretes lihaskiududes esinevad lisaks kiiretele müosiini isovormidele ka aeglased müosiini isovormid, mis on rikkalikult varustatud mitokondritega ning on võrreldes glükolüütiliste lihaskiududega väsimusresistentsed (Pehme, 2004).

1.2 MHC isovormide ekspressioon ja korrelatsioon lihaskiu tüüpidega

Erinevad MHC isovormid oma unikaalse müosiini ATPaasi aktiivsusega korreleeruvad lihaskiu kontraktsiooni kiirusega- MHC I kõige aeglasem ning MHC IIx kõige kiirem. MHC isovormide ekspressioon muutub koos lihaskiu tüüpide transformeerumisega (Fry jt., 2003).

Üksikus lihaskius leiduvad MHC isovormid on viinud puhaste ja hübriidsete kiudude piiritlemisele. Puhastes kiutüüpides inimesel: tüüp IIB, tüüp IIA/X, tüüp IIA ning tüüp I väljenduvad vastavalt isovormidega MHC IIx, MHC IId/x, MHC IIA ning MHC I . Hübriidkiududes võib leiduda rohkem kui üks MHC isovorm (Pehme, 2004).

Kiiretelt aeglasteks ja aeglastelt kiireteks transformeeruvate lihaste MHC isovormide ekspressiooni üldisene skeem on järgmine: $MHC\ IIx \leftrightarrow MHC\ IId/x \leftrightarrow MHC\ IIA \leftrightarrow MHC\ I$. Lihaskiu asukohast olenedes võivad MHC isovormi spektrumis mõned kiud transformeeruda mõlemas suunas. Jõutreeningu puhul, kus enamus kiududest hüpertrofeerub vastusena stiimulile, on MHC IIx isovorm alla reguleeritud ning IIA ja IIA/x üles reguleeritud. MHC isovormide fenotüübi transformatsioon vastusena mehhaanilisele stressile on väga spetsiifiline, olenedes nii jõu rakendamise tasemest ning kestvusest. (Pehme, 2004)

1.3 Jõutreeningu mõju lihaskiududele ning lihaskiudude isovormilisele kompositsioonile

Skeletilihaskiul on tähelepanuväärne omadus muuta oma fenotüüpi vastusena ümbritseva keskkonna stiimulitele (Widrick jt., 2002).

Jõutreeningu tulemusena suureneb lihaskiu ristlõikepindala. Suuremate kasvunäitajate tendents esineb nii II tüüpi kiududes kui I tüüpi kiududes (Pehme, 2004).

Jõutreening soodustab kiirete lihaskiudude hüpertroofiat. Uuringutes, kus on kasutatud ATPaasi histokeemilise markeerimise protseduuri, MHC isovormilise kompositsiooni määramist või kasutades mõlemaid uurimismeetodeid, on leitud nihkeid tüüp IIA/IIx $\rightarrow$ tüüp IIA kiududeks või MHC IIx isovormi vähenemist kiududes, kasutades jõutreeninguprogramme, mis varieeruvad intensiivsusest ja kestvusest. Mõlemad protsessid, nii tüüp IIA osakaalu suurenemine kui ka tüüp IIA/IIx osakaalu vähenemine toimusid

paralleelselt. Paljud teised uuringud on näitanud sarnaseid trende. Uuringud on näidanud, et kulturistidel ja jõutõstjatel on kõrgem tüüp IIA kui tüüp IIA/IIB lihaskiudude osakaal (Tesch ja Alkner, 2003).

Kiirete lihaskiudude adaptatsiooniga jõutreeningule kaasneb suurtes proportsioonides üleminekuid MHC oksüdatiivsetes isovormides (MHC I, IIA). Hübriidkiudude vähenemist võib seostada puhaste MHC IIA isovormi sisaldavate lihaskiudude hulga tõusuga. MHC IIA isovormi sisaldavate hübriidkiudude transformeerumist puhasteks IIA tüüpi lihaskiududeks jõutreeningu toimetel võib seostada MHC IIX ekspressiooni vähenemisega. Eelnimetatud protsess on vastupidine, kui jõutreeningutest on möödunud mõned nädalad. Seda ilmestab re-ekspressioon kiiretes MHC IIX isovormi sisaldavates hübriidkiududes (Pehme, 2004).

Kolm kuud kestnud kõrge vastupanuga treening näitas MHC IIX osakaalu vähenemist ning MHC IIA osakaalu suurenemist skeetilihases. Kuus kuud kestnud uuring kombineeritud absoluutse ja plahvatusliku jõu treeninguga näitas MHC isovormide nihkeid- MHC IIX → MHC IIA (Kyröläinen jt., 2005).

Eksperimendis, kus katsealused jaotati kolme gruppi treenimaks 8-nädalases tsüklis kolmes erinevas rezhiimis leiti, et tüüp I, IIA ja IIB lihaskiud hüpertrofeerusid grupis, kus sooritati harjutusi (jalapress; kükk; põlvesirutused) madalate korduste arvudega (3-5 kordust; 4 seeriat; 3 minutit puhkus seeriade vahel) ning grupis kus sooritati harjutusi keskmiste korduste arvuga (9-11 kordust; 3 seeriat; 2 minutit puhkust seeriade vahel). Kõrgete kordustega grupil (20-28 kordust, 2 seeriat, 1 minut puhkust seeriade vahel) märkimisväärset hüpertroofiat ei ilmnenu. Kõigil kolmel grupil IIB lihaskiudude vähenemine koos IIB lihaskiudude arvu tõusuga. Need kiutüübi nihked olid seoses MHC IIB isovormi vähenemisega ning MHC IIA märkimisväärse tõusuga (Campos jt., 2002).

1.4 Jõutreeningu mõju valkude uuenemiskiirusele

Jõutreeningu tulemusena kasvab müofibrillarne aparaat, mille tulemusena suureneb lihase ristlõikepindala. Sellega kaasnevad ka valgu fenotüübi ja metaboolsete ensüümide taseme muutused, mis väljenduvad aktiivsusest indutseeritud muutuste puhul lihase kiutüübi profiilis (Pehme, 2004).

Jõutreeningu mõjul proliferuuvad ja sulanduvad satelliitrakud koos eksisteerivate kiududega, aidates kaasa lihasraku tuumade arvu suurenemisele lihaskiu kohta. Tuumade hulga suurenemine lihaskiu hüpertroofia ajal on korrelatsioonis proliferuunud satelliitrakkude arvuga. Sellest võib järeldada, et lisatuumad on vajalikud toetamaks lihaskiu suurenemist jõutreeningu ajal (Pehme, 2004).

Tuuma domeenide teooria väidab, et tsütoplasma ja lihasraku tuumade suhe on valgu turnover'i ja müosiini tüübi koosfunktsioneerimise tulemus. Sellest võib eeldada, et lihaskiu hüpertroofia kujunemise ajal tösselülitunud satelliitrakud on vajalikud säilitamaks tsütoplasma-tuumade suhet. Eliitjõutõstjatel suureneb rakendunud satelliitrakkude hulk, muutes hüpoteetiliselt lihaskiu vastuvõtlikumaks adaptatsioonile (Pehme, 2004).

Kõigis imetajate lihaste valkudes toimuvad pidevad sünteesi- ja degradatsioonprotsessid. Valgu sünteesi- või degradatsioonitasakaal määrab, kas lihases esineb atroofia või hüpertroofia. Eelnimetatud protsess võimaldab lihase kvalitatiivset ümbermodelleerimist, kutsudes esile kindla isovormi asendamise teisega adapteerumiseks ümbritseva füüsilise stiimuliga (Baldwin ja Haddad, 2002). Pärilikku valgu uuenemissagedust dikteerib tema poolestusaeg. Müofibrillaarsetel valkudel on suhteliselt pikk poolestusaeg. Madala kontraktiilse aktiivsuse tõttu poolestusaeg osadeks lammutatud müofibrillaarsetes valkudes väheneb. Mitmetes eksperimentides on pööratud tähelepanu valgu uuenemisprotsesside tähtsusele hüpertroofia protsessis. 3h pärast jõutreeningut suureneb fraktsionaalne sünteesisagedus ning fraktsionaalne lõhustumissagedus ning tase säilib kuni 48h pärast treeningut (Pehme, 2004).

1.5 Geneetiliste faktorite olulisus

Edukatel tõstjatel, jõutõstjatel ning teistel jõu- ja plahvatusaladega tegelejatel puudub ilmtingimata kiirete lihaskiudude ülekaal. Kui see neil esineb, siis pole põhjuseks spetsiifiline treening vaid pigem peegeldab see nende geneetilist soodumust lihase kasvu, jõu, kiiruse ja võimsuse arendamiseks (Tesch ja Alkner, 2003).

Geeni transkriptsioon on oluliseks sihtmärgiks signaalteedele, mis mõjutavad kontraktiilset aktiivsust ja muutusi lihase fenotüübis (Pehme, 2004).

Lihaskiudude kompositsioon skeletilihases on suuresti mõjutatud geneetiliste faktorite poolt, mis lõpuks sõltub geenide ja keskkonna omavahelisest kokkupuutest. Geneetilistest faktoritest oleneb 50-80% individuaalsetest variatsioonidest rasvavabas massis. Geneetilist mõju lihasfunktsioonile ilmestab haarde- ja tõmbejõu taseme pärilikkus 44%-83% ulatuses. Need mõjutused on ulatuslikumad meessoost isikutel, eriti staatilise jõu ja võimsuse puhul võrreldes lihase vastupidavusega (Puthucheary jt., 2011).

2. LIHASE JA KÕÕLUSE KOMPLEKSI OMADUSED JA OLULISUS JÕU VAHENDAJANA

2.1 Lihase ja kõõluse kompleksi omadused

Mõistes lihase ja kõõluse struktuuri suhet ning nende omadusi, on võimalik suurendada talendileidmise efektiivsust ning pakkuda sportlastele treeningprogramme, mille tähelepanu on keskendunud ka ehituslikule kohanemisele (Earp jt., 2011).

Lihase sooritusvõime kõrge intensiivsusega isomeetrilistel ja dünaamilistel tegevustel sõltub osaliselt kontraktiiliste elementide efektiivsest jõuülekandest skeletile (Bojsen-Møller jt., 2005).

Kõõlus koosneb kõrge tõmbejõuga kiulisest sidekoest, mis funktsioneerib jõu ülekandjana lihastelt luudele. Mõnedel kõõlustel on lisafunktsioon koguda ning seejärel vabastada mehhaanilist jõudu (Malliaras jt., 2013). Kogutud energiat saab kasutada lihases amortisaatorina või summutina (treppidest allaminemine, jooksu pealt kiiruse vähendamine) või seda ajutiselt salvestada elastsusenergiana, mida saab vastavalt tegevuse nõudlusele kasutada (liikumine, hüpped eelnevalt saavutatud inertsiga) (Guilhem jt., 2010).

Kõõlused on oma olemuselt viskoossed, elastsed ning rikkad kollageensete kiudude poolest. Lihastel on elastsed omadused aktiini ja müosiini vastastikkuse toime, rakuvälise sidekoe ning filamentide struktuuri tõttu, mis säilitavad sarkomeeride joondust lihasrakus. Elastse kompleksi lihases moodustavad filamentsed valgud titiin ja desmiin, mõlemad soodustades lihase vedruomadusi ekstsentrilise kontraktsiooni ajal. Madalamatel venitusastmetel lisavad kõõluse viskoossed ning elastsed omadused venitusele elastsust juurde rohkem kui lihased. Sellistel tingimustel suudavad kõõlused rohkem energiat salvestada, kuid on vähem tõhusad jõuülekandel. Kuigi suurte pingete puhul muutuvad kõõlused vähem painduvaks ning jäigemaks, suudavad nad suurematele koormustele osutada paremat vastupanu (Guilhem jt., 2010).

Ekstsentrilise kontraktsiooni ajal ühineb lihas-kõõlusüksuse lööki absorbeeriv mehhanism väliste jõudude poolt genereeritud jõumomendiga. Seepärast on ekstsentrilise kontraktsiooni ajal tekkinud maksimaalne lihaspinge palju kõrgem kui isomeetrilise või kontsentrilise kontraktsiooni puhul (Guilhem jt., 2010)..

Elastsusenergia komponendi kasutamine ekstsentrilistel liigutustel soodustab ATP ökonoomsemat kasutamist. Ekstsentrilistel tegevustel suudetakse genereerida jõudu tarbides vähem hapniku ja energiat kui samaväärsel kontsentrilisel tegevusel (Guilhem jt., 2010).

Achilleuse kõõluse pikkust on peetud talendi indikaatoriks hüppealadel. Pikad kõõlused on soodsad tegevustel, kus teatud koormamise ajal on koormatava mass väike. Kui aga koormatava mass suureneb, on soodsamad lühemad kõõlused, sest nad on muutuvad jõu võimendajast energia ülekandjaks. On leitud, et isomeetriliste kontraktsioonide ajal maksimaalne jõumoment (RFD) väheneb ning samal ajal pikeneb AT (*Achilles tendon*) kõõlus, kuigi selliseid selliseid seaduspärasusi ei ole leitud keeruliste venitus- ja lühenemistsükli (SSC) liigutuste tulemusena (Earp jt., 2011).

On leitud, et järeleandlike pikkade AT kõõlustega katsealused esinesid paremini, sooritades kükkhüppeid, kui katsealused, kellel olid lühikesed ja jäigad AT kõõlused. Parema tulemus saavutati kiirema kõõlusepinge saavutamise suurema deformatsiooni tõttu. Uuringus, mille hüpoteesiks oli, et lihase ja kõõluse panus sooritusele oleneb hüppe ajafaasist hüppeeelsel koormamisel, leiti, et katsealused, kellel olid võrdlemisi pikad AT kõõlused, esines hüppeharjutuste ajal madalam algne RFD. Seda eeldati ka uuringu põhjal, kus tõdeti, et pikematel kõõlustel on suurem elastsus kui lühematel ning seega on neil rohkem aega jõuda maksimaalse kõõluspingeni. Kõõluse pikkus ei olnud ka RFD indikaatoriks ei SJ (*Squat-jump*) ega DJ (*Drop-jump*) ajal (Earp jt., 2011).

2.2 Lihase ja kõõluse kompleksi ebaühtlasest arengust tulenevad probleemid

Mehhaaniline stiimul, mis aitab kaasa adaptatsioonile, on kõõluse ja lihase puhul erinev. Peale keskkonnast tulenevate mehhaaniliste stiimulite ning kasvust sõltuvate faktorite

põhjustab kõõluses treeningu tulemusena liigset pinget ja stressi ka tasakaalu puudumine lihase võimsuse ning kõõluse omaduste vahel (Mersmann jt., 2013).

Kuigi kõõluse maksimaalset pinget ei saa märkimisväärselt muuta, peab treeningutega saavutatud suurenenud jõuga kaasas käima ka kõõluse jäikuse suurenemine, et säilitada lihase maksimaalse kontraktsiooni ajal kõõluse pinget füsioloogilistes piirides. Kõõluse jäikuse suurenemise põhjuseks võivad olla muutused materiaalsetes omadustes ning/või ristlâbilõike suurenemine (Mersmann jt., 2013).

Et lihas-kõõluse adaptatsiooniprotsesse mõjutavad noorukiealistel keskkonnast tulenevad mehhaanilised stiimulid ning kasvamine, peetakse seda plastilise koe arengus kriitiliseks faasiks (Mersmann jt., 2013).

Kasvamisega kaasneb noorukitel kõõluse ristlõike pindala suurenemine, kuid lihas-kõõluse kompleksi pikenemine võib kasvueas noorukil esile kutsuda episoodilist ristlõikepindala vähenemist ning kõõluse ülepinget. Suurem kõõlusepinge, võrreldes noorukeid ja keskealisi atleete, esines noorukitel, mis võib olla seletatav veidi madalama kõõluse keskmise jäikusega ning väiksema kõõluse ristlõikepindalaga (Mersmann jt., 2013).

Noortel sportlastel, kes treenivad kasvuperioodil suurte mehhaaniliste koormustega, on soodumus tendinopaatialle. Tendinopaatiat seostatakse kõõluse ülepingega. Sääreluu kõõluse tendinopaatia on tuntud fenomen spordialadel, mida iseloomustavad sagedased hüpped ja sprindid. On paradoksaalne, et kõõlused, mis on disainitud energiat säilitama ning seejärel vabastama, alistuvad kergesti kõõluse ülepingevigastustele. Võrkpalluritel on suurem reie nelipealihase jõud ning reie ümbermõõt kui spordiga mittetegelevatel inimestel ning neil on soodumus sääreluu kõõluse tendinopaatialle (Malliaras jt., 2013; Mersmann jt., 2013), mis teeb nad ideaalseks eksperimentaalseks sihtgrupiks uurimaks põlvesirutaja lihas-liigese kompleksi omadusi ning nende arengut (Mersmann jt., 2013).

Eksperimendis, kus uuriti noorukite ning keskealiste sportlaste põlvesirutaja lihase jõudu ja *m. vastus lateralis* ning sääreluu kõõluse morfoloogilisi ning mehhaanilisi omadusi, selgus, et kuigi mõlema grupi põlvesirutaja lihase jõud ning *m. vastus lateralis* füsioloogiline ristlâbilõige olid sarnased, ilmnas noorukitel väiksem sääreluu kõõluse ristlâbilõikepindala ning suurem pinge kõõluses, kui keskealistel. Võrreldes mehi naistega, esines naistel kõõluses suurem pinge (Mersmann jt., 2013).

Võimas lihas koos kõõlusega, millel on väike ristlõikepindala, põhjustab kõõluses kõrgel tasemel pinget ja on traumaohu allikaks (Mersmann jt., 2013).

Uuringus, kus kasutati isomeetrilise põlve sirutamise kontraktsioone kasvas võrreldes keskealiste sportlastega noorukitel maksimaalne sääreluu kõõluse pinge märkimisväärselt. Seda seletab ebasoodne lihase võimsuse ning liigese ristlõikepindala suhe. (Mersmann jt., 2013).

2.3 Jõutreeningu mõju lihase ja kõõluse kompleksile

Suuremat läbimõõduga lihast iseloomustab rohkem kontraktiilseid elemente seerias, mis suurendab jõu produtseerimise võimet kiiremate kontraktsioonide ajal ning päsib sarkomeeride deformatsiooni olenemata kiirusest. Suure vastupanuga väikese intensiivsusega treening tipneb lihase ristlõikepindala (CSA) tiheduse suurenemisega, kiudude kinnitumise nurga muutustes ning kõõluse sidekimbu pikkuses. Seevastu madala vastupanuga ning kõrge intensiivsusega treeningut seostatakse kõõluse sidekimbu pikkuse suurenemisega, kinnitumisnurga vähenemisega ning mitte mingisuguste muutustega lihase tiheduses (Earp jt., 2011).

Lihaskiudude kinnitusnurk on nurk, mille all lihased kinnituvad kõõlusele. Arvatakse, et see aitab produtseerida suuremat jõudu lihases madala kiirusega liigutuste ajal suurendades lihase füsioloogilist ristlõiget (Earp jt., 2011). Kinnitusnurga suurenemine viib lihaskiu poolt edastatud jõu vähenemiseni, kuid lihase füsioloogilise ristlõikepindala suurenemiseni, mis on efektiivsem kui anatoomiline lihase ristlõikepindala. Kuna füsioloogilist ristlõikepindala iseloomustab paralleelsete aktiini-müosiini ristsildade maksimaalne arv, mida saab aktiveerida kontraktsiooni ajal, siis lihase maksimaaljõu produtseerimise võimekus on proportsionaalne füsioloogilise ristlõikega ning seeläbi kinnitusnurgaga. Kinnitusnurga suurenemine viib paralleelsete kontraktiilsete elementide kvantiteedi suurenemiseni ning seeläbi suurema jõu produktsiooni võimeni (Guilhem jt., 2010).

Uuringus, kus kasutati ultrasonograafiat, leiti FL (fastsia pikkus) ja PEN (kinnitusnurk) adaptatsioonimärke vastusena jõutreeningule juba 5. nädalal. 10-nädalases uuringus, mille ekperimentaalgrupiks olid mittetreenitud isikud, näitas, et FL suurenes kiiresti esimese viie

nädala jooksul jõudes teatud platooni, kuigi PEN suurenes astmeliselt kuni 10-nädalase treeningtsükli lõpuni (Earp jt., 2011).

Uuringus, kus eksperimentaalgrupid tegelesid kas jõutreeninguga ja kükkhüppe ja sprindi treeninguga või ainult kükkhüppe ja sprindi treeninguga, suurenes mõlemal grupil reie nelipealihase tihedus. FL suurenes ainult kükkhüppe ja sprindi treeninguga ning PEN suurenes grupil, kes osales ka jõutreeningul (Earp jt., 2011).

3. NEURAALSETE FAKTORITE OLULISUS JÕUTREENINGUL

Liikumisaparaadi võime produtseerida jõudu on närvisüsteemi ning lihaste koostöö tulemus. Jõu produtseerimisel on lihastel „mootori“ osa ning närvisüsteem mängib rolli, mis kontrollib „mootori tööd“. Jõu produtseerimisvõimekuse aluseks on adaptatsioon lihastes, närvisüsteemis või mõlemas. Jõu produtseerimine on väljakutsuv motoorne tegevus närvisüsteemile. Üheks ülesandeks on primaarsete lihaste – agonistide - aktiveerumine, teiseks ülesandeks on nii assisteerivate sünergistide kui ka agonistidele vastavate antagonistide otstarbekas aktiveerimine. Näiteks on närvisüsteemile ja lihasele suhteliselt lihtsalt ülesandeks on küünarvarre sirutamine istudes, mis oma olemuselt on unilateraalne, üheliigeseline, isomeetriline tegevus. Keerulisemaks ülesandeks lihastele ja närvisüsteemile on seistes pea kohal käte kangiga rinnaline kõverdamine, mis oma olemuselt rakendab mitmed liigesed, olles bilateraalne kontsentiline tegevus ja nõudes nii ala- ja ülajäsemete kui ka kerelihaste aktiveerimist (Sale, 2003).

Kõrge intensiivsusega jõutreeningu puhul domineerivad jõu arengus esimese kolme nädala jooksul neuraalsed faktorid ning hiljem hakkavad jõu arengus suuremat rolli mängima hüpertroofilised faktorid (Kyröläinen jt, 2005).

Maksimaalset lihastöö võimsust iseloomustab lihaskontraktsiooni teel saavutatud kõrgeim võimsuse tase (töö/aeg). Maksimaalne võimsus kujutab endast suurimat hetkelist võimsust üksiku liigutuse ajal eesmärgiga startida, vabastada (lahti lasta), vastupanule mõju avaldada. See hõlmab liigutusi nagu sprintimine, hüppamine, suunamuutmine, viskamine, löömine ning seega rakendub paljudele spordialadele (Cormie jt., 2011).

Neuromuskulaarsüsteemi võimet produtseerida maksimaalset jõudu mõjutavad mitmed omavahel seotud faktorid. Maksimaalne lihasjõud on määratletud ning limiteeritud jõu ja kiiruse suhetest ning mõjutatud pikkuse-pinge suhetest. Võimet produtseerida maksimaalset jõudu mõjutab lihastegevuse tüüp, aeg, mille vahemikus on võimalik jõudu arendada, varutud elastsusenergia kasutamine, kontraktiilsete ning elastsete elementide vastastikune

suhe, kontraktiilsete ning nii elastsete filamentide potentseerimine kui ka venitusrefleksid (Cormie jt., 2011).

Maksimaaljõu produktsiooni mõjutavad ka morfoloogilised faktorid nagu kiutüübi osakaal kogu lihaspiirkonnas, lihase arhitektuurilised omadused, kõõluse omadused kui ka neuraalsed faktorid, nagu mootorsete ühikute rekruteerimine, aktiveerimise sagedus, lihasesisene sünkronisatsioon ja koordinatsioon (Cormie jt., 2011).

3.1 Neuroloogiline adaptatsioon jõutreeningule

Neuroloogiline adaptatsioon jõutreeningu mõjul on märgatav efekt, mis ilmneb treeningute toimetel. Oma olemuselt on neuraalne adaptatsioon kindla füüsilise tegevuse ajal lihaste rekruteerimise ja aktiveerimise koordineerimine ning hõlbustamine. Lihase jõu ebaproportsionaalne suurenemine võrreldes lihase mõõtmete suurenemisega treeningu varasemates staadiumites viitab spetsiifilise pinge suurenemisele, mida põhjustavad neurogeensed faktorid (Folland ja Williams, 2007).

Tõendeid neuroloogiliste adaptatsioonide kohta leidub mitmetes jõutreeningu-alastes uuringutes, kus üks kordusmaksimum (1KM) on ebaproportsionaalselt suurem kui isomeetrilise jõu kasv. Sellised tulemused kätkevad endas adaptatsiooniprotsesside spetsiifilisust sõltuvalt treeningülesandest. Jõu ja võimsuse paranemine treeningute toimetel sõltuvad rakendatud kehaasendist, fiksaatorlihaste rollist ning nende kontraktsiooni järjekorrast, mis võib olla erinev ka näiliselt sarnastel harjutustel (Folland ja Williams, 2007).

Uuringust, mille eesmärgiks oli uurida neuromuskulaarset reaktsiooni neljanädalasele plahvatusjõu treeningule, ilmnes, et paranenud plahvatusjõu produktsioon mõjutas agonistlihase neuraalset juhtivust ning maksimaaljõu tõusu eksperimendi algus- ja lõpufaasides (Tillin jt., 2012).

Jõu ristülekanne (*cross-over*) ühelt kehapoolelt teisele on seostatud neuraalsete mehhanismidega, sest sellega ei kaasne lihashüpertroofiat. Perifeersed neuraalsed adaptatsioonid võivad ilmnedas mõlemas jäsemes vastusena unilateraalsele treeningule koos

suurenenud agonistide aktivatsiooniga ning vähenenud antagonistide koaktivatsiooniga (Farthing jt., 2007).

On tõendeid *cross-over* efekti kohta, kus ühe jäsme treenimine põhjustab jõu paranemist treenimata vastasjäsmes. See toetab tsentraalse adaptatsiooni teooriat vastusena treeningule. Arvatakse, et *cross-over* efekt võib olla osaliselt seotud mittetreenitud jäsme stabiliseerimisega harjutuste ajal (Folland ja Williams, 2007).

Agonistlihaste suurenenud aktivatsiooni pärast kõrge vastupanuga jõutreeningut seostatakse suurenenud mootorsete ühikute rekruteerimise tasemega või impulseerimissagedusega. Suuremad lihased sõltuvad suure tahtelise jõu produtseerimisel rohkem mootorsete ühikute rekruteerimisest (Folland ja Williams, 2007).

Kontraktsiooni aferentne tagasiside spinaalreflekside näol võib parendada või summutada supraspinaalset juhtivust lihasesse. Spinaalsetes motoneuronites on pärast jõutreeningut uuritud esilekutsutud spinaalseid reflekse ja eriti nende tundlikkust aferentsele tagasisidele (Folland ja Williams, 2007).

3.2 Motoorse ühiku adaptatsioon ja roll jõu produtseerimisel

Lihase poolt produtseeritud jõud on seoses rekruteeritud mootorsete ühikute tüübi ja arvuga. Motoorsed ühikud on rekruteeritud süsteemses järjekorras, toetudes tahtlike kontraktsioonide ajal suuruse printsiibile (Cormie jt., 2011).

Võrdlemisi väiksed alfa-motoneuronid innerveerivad tüüp I lihaskiude madalatel jõu genereerimise tasemetel, kuid võrdlemisi suured alfa-motoneuronid, mis aktiveerivad tüüp IIA ning tüüp IIB lihaskiud, aktiveeritakse pärast aeglaseid lihaskiude kõrgemal jõulävel. Suuruse printsiip ei kehti ainult madala võimsusega kontraktsioonidele, vaid ka isomeetrilistele ning plahvatuslikele kontraktsioonidele. Seega jõud, mida on võimalik produtseerida liigutuse ajal, sõltub sellest, millised motoorsed ühikud on rekruteeritud. Tavaliselt maksimaaljõu produtseerimiseks vajalike kontraktsioonide jaoks on kasulik kõrge lävega mootorsete ühikute rekruteerimine innerveerides suure arvu suurt jõudu/RFD produtseerivad lihaskiud (Cormie jt., 2011).

Oletatakse, et treeningu tulemusena suureneb mootorsete ühikute rekruteerimine, kõrge lävega mootorsete ühikute eelistatud rekruteerimine või mootorsete ühikute rekruteerimisläve alanemine. Kõik need võimalikud adaptatsioonid suurendavad agonistide aktivatsiooni, päädides lihase poolt suurema pinge arendamisega ning paranenud jõu väljendamisega. Kõrge erutuslâvega mootorsete ühikute rekruteerimise eelistamine on neuuraalse adaptatsiooni teooria kohaselt tavapärane. Arvatakse, et hästi treenitud sportlastel võib olla võimalik aktiveerida ballistilistel liigutustel aeglase lävega mootorsete ühikute asemel kõrge lävega motoorsed ühikud, tõstmaks lihasjõudu (Cormie jt., 2011).

Treeningu indutseeritud maksimaalset mootorse ühiku impulsisagedust peetakse neuromuskulaarse võimekuse mehhanismi aluseks. Mootorsete ühikute impulsisagedus on neuuraalsete impulsside sagedus, mis on edastatud alfa-motoneuronist lihaskiusse. Mootorse ühiku impulsisagedus mõjutab lihaskiu omadust produtseerida jõudu kahel viisil. Impulsisageduse tõstmine võimaldab kontraktsiooni poolt produtseeritud jõu suurenemist. Kontraktsiooni jõud suureneb umbkaudselt 300 – 1500%, kui mootorse ühiku impulsisagedus on suurenenud minimaalsest maksimaalse sageduseni. Teisalt mõjutab impulsisagedus lihaskontraktsiooni RFDd. Ballistiliste kontraktsioonide ajal hakkavad motoorsed ühikud impulseerima kõrgetel sagedustel, millele järgneb kiire impulsside arvu kahanemine. Esmane kõrge impulsisagedus lõpeb suurenenud RFDga, isegi kui see on säilitatud lühikesel perioodil (Cormie jt., 2011).

Läbilõikeline uuring näitas suuremat maksimaalset mootorse ühiku impulseerimissagedust reie nelipealihase maksimaalse tahtelise kontraktsiooni ajal nii jõutõstjatel kui mittetreenitud kontrollgrupil, tõestades, et mootorse ühiku maksimaalset impulseerimissagedust on võimalik tõsta (Cormie jt., 2011).

Uuring, kus kasutati lihasesisest elektromüograafiat (EMG-d), näitas treeningu indutseeritud mootorse ühiku impulsisageduse suurenemist maksimaalsete kontraktsioonide ajal. Eelnimetatud vaatlused tehti jõutreeningu põhjal, kus treeniti isomeetriliste kontraktsioonidega lihaseid *m. digiti abductor minimi*, *m. vastus lateralis* ning plahvatuslike kontraktsioonidega lihast *m. tibialis anterioris*. Eksperimendis ilmnesisid muutused maksimaalses impulsisageduses treeningule eelnevates testimise sessioonides. Plahvatusjõu treening võib kiirendada mootorse ühiku impulsisageduse adaptatsiooni, mis aitab kaasa suuremale maksimaalse jõu produtseerimisele (Cormie jt., 2011).

Motoorsete ühikute sünkronisatsioon ilmneb, kui kaks või rohkem mootorset ühikut on aktiveeritud samaaegselt ja tihedamalt kui üksikute tegevuste ajal (Cormie jt., 2011). Sünkronisatsioon suurendab seost samaaegselt aktiveeritud mootorsete ühikute aktiveerimise ning aktsioonipotentsiaalide vallandamise ajastuse vahel. Treenitud isikutel on parem sünkronisatsioon kui mittetreenitud. Kõrge vastupanuga jõutreening suurendab sünkronisatsiooni (Folland ja Williams, 2007). Oletatakse, et sünkronisatsioon on närvisüsteemi adaptatsioon, mis assisteerib mitmete erinevate lihaste koaktivatsiooni parendamiseks RFDd. Tahtlikul kontraktsioon on produtseeritud suuremat RFDd kui esilekutsutud tetaanilisel kontraktsioonil, kus kõik motoorsed ühikud on stimuleeritud impulseerimaks samaaegselt. Kasutades pindmist EMGd oli harrastus- jõutõstjatel käelihastes kõrgem motoorse ühiku sünkronisatsioon kui mittetreenitud grupil (Cormie jt., 2011).

3.3 Isotooniliste ja isokineetiliste harjutuste mõju neuromuskulaarsele süsteemile

Isotoonilisi ning isokineetilisi harjutusi kasutatakse tavaliselt spordimeditsiinis ning funktsionaalses rehabilitatsioonis. Mõlemad liigutused esindavad erinevaid neuromuskulaarse süsteemi biomehhaanilisi karakteristikuid. Isotoonilises režiimis peab neuromuskulaarsüsteem ületama seatud vastupanu, mis jääb konstantseks terve liigutuse vältel. Isotoonilised liigutused on seotud muutuva nurkkiirusega ning eeldatavasti indutseeritakse suuremat koormust neuromuskulaarsele süsteemile ainult väiksematel liikumisulatusel mehhaanilistes punktides, kusjuures teiste liigesnurkade puhul töötatakse väiksema võimsusega maksimaalsest võimekusest. Kuigi tõstmine peegeldab pigem isoinertseid tegevusi, siis teatud kirjandusallikate käsitletakse seda ikka isotoonilise liigutusena. Teisest küljest kätkeb isokineetiline režiim endas akommodeeruvat vastupanu, mis võimaldab konstantset nurkkiirust ainult siis, kui on saavutatud ettemääratud kiirus. Mõlemate treeningrežiimide programmidega treenimine on näidanud tulemusena jõu juurdekasvu (Remaud jt., 2010).

Uuringust, mille eesmärgiks oli selgitada neuromuskulaarseid adaptatsioone, mida põhjustasid 8-nädalase kontsentrilise jõutreeningu programmis dünamomeetril sooritatud nii isotoonilises kui isokineetilises režiimis harjutused, selgus, et mõlemate režiimide

puhul saavutati areng nii staatilises kui ka dünaamilises jõu produktsioonis oluliste erinevusteta mõlema režiimi puhul (Remaud jt., 2010).

4. HORMONAALSETE MEHCHANISMIDE OSA JÕU ARENGUS

4.1 Hormonaalsete mehhanismide olemus ja toime

Kõrge vastupanuga harjutused loovad stiimuli keha lihassüsteemi innerveerimiseks, mille tulemusena luuakse eeldused jõu produtseerimiseks ja rakendamiseks. Selle tulemusena käivituvad erinevad füsioloogilised mehhanismid toetamaks akuutset ja pidevat nõudlust metabolismile, taastumisele, struktuuride taastamisele ja adaptatsioonile. Endokriinsüsteemil on oluline roll optimaalse homöostaasi säilitamisel ja kohanemisprotsessidele kaasaaitamisel. Nimetatud mehhanismid kujutavad endast rida molekulaarseid, biokeemilisi ning füsioloogilisi protsesse vastuseks adaptatsioonile. Mõlema, nii akuutse kui pideva mehhanismi ülesanne on akuutsete ja krooniliste füsioloogiliste adaptatsioonide vahendamine (Kraemer ja Mazzetti, 2003). Füüsilise koormuse poolt indutseeritud endokriinsüsteemi stimulatsioon, mis viib kontraktiilsete valkude hulga tõusule, on tõukeks adaptatsiooniprotsessidele lihasrakkudes (Rønnestad jt, 2011).

Hormoonidel on meie organismis keskne roll igapäevaseks füsioloogilistes protsessides. Puhkeolekus mõjutavad organismi hormonaalset taset organismis vanus, sugu ning muud igapäevased füsioloogilist funktsioneerimist mõjutavad tegurid, nagu ka füüsilised ja füsioloogilised stressorid. Kehalise koormuse intensiivsus ja kestvus mõjutavad organismi hormoonide kontsentratsiooni, kutsudes esile füsioloogiliste reaktsioonide kaskaadi, mis soodustab lihashüpertroofiat, kapillaaride tiheduse kasvu, mitokondriaalset biogeneesi (Taipale ja Häkkinen, 2012), mis mõjutavad jõu arengut vastupanuga treeningu režiimis (West ja Philips, 2012).

Hormoonid avaldavad mõju paljudele rakkudele ja kudedele (immuunrakud, neuronid), mis otseselt mõjutavad skeletilihase kohanemist kõrge vastupanuga treeningu puhul. Hormonaalsete mõjude on toime lihase arengule ning jõu ja võimsuse tasemele. Kui hormoonimolekul paiskub vereringesse endokriinse näärme kaudu ning seostub spetsiifilise retseptoriga, toob ta endaga kaasa bioloogilise sõnumi, mille tulemusena järgneb rida

protsesse (suurenenud transkriptsioon/translatsioon, valguaktivatsioon). Kasvuga seotud hormonaalsetel faktoritel on palju enam funktsioone kui pelgalt endokriinsed. Närvidest eraldatud faktorid (norepinefriin, gliia kasvufaktor), immuunsüsteemist (tsütokinees) ja lihasrakkudest (insuliinilaadsed kasvufaktorid) suudavad reageerida nii lähestikku olevate rakkudega (parakriinne funktsioon) kui ka samade rakkudega (autokriinne funktsioon). Mõned hormoonid võimendavad teiste hormoonide mõju (kasvuhormoon (GH) mõjutab insuliinilaadse kasvufaktor-1 (IGF-1) vabanemist rakus). Paljudel hormoonigruppidel on aga teineteisele vastanduv efekt (insuliin ja glükagoon), mille eesmärgiks on pideva rakusisese keskkonna pideva homöostaasi säilitamine. Hormoonid, millel on skeletilihasele anaboolne toime (testosteroon, GH, IGF faktorid, mõndadel juhtudel insuliin) mõjutavad valgusünteesi intensiivsust, kuid kataboolsed hormoonid (kortisool) mõjutavad valgu degradatsiooni intensiivsust. Selline homöostaatiline tasakaal peadib lõpuks kas lihasmassi suurenemise või vähenemisega. Hormonaalsed mehhanismid, mis mõjutavad skeetilihast, on pelgalt osa integreeritud süsteemist, mis vahendab metaboolseid ja rakulisi protsesse lihasele vastuseks treeningule (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

4.2 Testosterooni olemus ja toime

Testosteroon on anaboolne steroid, mis on sünteesitud läbi kolesterooli ensümaatiliste konversioonide (Kraemer ja Mazzetti, 2003) ning avaldab akuutset mõju nii kõrge vastupanuga kui ka kestva spordialadele iseloomulikele füüsilistele pingutustele (Taipale ja Häkkinen, 2012). Testosteroonil on mõju skeetilihase kasvule ja regeneratsioonile, seostudes otseselt tsütoplasmaatiliste retseptoritega, mille tulemusena suureneb valgusüntees ning vähendades teiste hormoonide (GH, IGF-1) mõju, mis suurendavad valgusünteesi ja vähendavad valgudegradatsiooni. Akuutsed tõusud endogeenses testosteroonis potentseerib androgeeni retseptorite ekspressiooni ühel jõutreeningu sessioonil parandades testosterooni-retseptori vastastikust mõju (Rønnestad jt, 2011).

Testosteroon võib käituda ka antiglükokortikoidina, vähendades valgu degradatsiooni. Suurendades ribonukleiinhappe (RNA) transkriptsiooni, mis viib spetsiifiliste valkude translatsioonini, loob testosteroon eeldused koe kasvuks ja regeneratsiooniks. Steroidhormoonidel ja teistel lipofiilsetel hormoonidel on suur vajadus kõrge afiinsusega

siduvate valkude järele. Kuna steroidhormoonide omaduseks on passiivne difusioon, on vajalik nende regulatsioon rakku sisenemiseks ja sihtrakkudega seostumiseks. Tulenevalt testosterooni taseme pulseerivast kõikumisest ilmneb tema kõrgeim kontsentratsioon organismis hommikuti ning see langeb aeglaselt kuni õhtuni. Testosterooni mõju raku kasvule pole nii märkimisväärne, kui teistel kasvufaktoritel. IGF-1 ja insuliini mõju valgusünteesile on suurem kui testosteroonil (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

4.3 Glükokortikoidide olemus ja toime

Üks olulisi glükokortikoidide toimeid on lokaalsete ja süsteemsete mehhanismide mõjutamine, mis viivad tsütokineesi vahendatud kortisooli sekretsioonini hüpotalamuse ja ajuripatsi kaudu. Glükokortikoidide tähtis omadus organismis on nende võime tulla toime stressirikaste stiimulitega (vigastused, lõikused, füüsiline pingutus). Glükokortikoidide tähtsus jõu ja võimsuse adaptatsioonile organismis seisneb nende kataboolses mõjus skeletilihasele. Glükokortikoidide toime on reguleeritud permissiivsete, supressiivsete, stimuleerivate ning ettevalmistavate mehhanismide kaudu, mis teoreetiliselt töötavad koos säilitamaks homöostaatilist rakukeskkonda, mille tulemusena hoitakse ära akuutse stressi poolt põhjustatud kahjulikud mõjud organismile (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

Jõutreening põhjustab organismis akuutseid mikrotraumasid, mis võivad viia lokaalse, kroonilise või süsteemse põletikuni ning hüpotalamuse-ajuripatsi-neerupealiste kompleksi aktivatsioonini ning lõpuks ringleva kortisoolitaseme suurenemiseni koeparanduseks ja ümbermodelleerimiseks (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

Kortisool on kataboolne steroid, mis kõrges kontsentratsioonis häirib lihashüpertroofiat soodustavate anaboolsete steroidide mõju, pärssides seeläbi jõu arengut (Taipale ja Häkkinen, 2012). Kortisool aitab säilitada vere glükoositaset stimuleerides glükoneogeneesi ning substraatide perifeerset vabanemist, mis on mõlemad kataboolsed protsessid. Kortisool stimuleerib lipolüüsi rasvkoes, tõstab valgu degradatsiooni ning vähendab valgusünteesi lihasrakkudes, mis päädib lipiidide ja aminohapete vabanemisega ringlusse (Taipale ja Häkkinen, 2012; Ronnestad jt, 2011).

4.4 Insuliinilaadse kasvufaktor-1 ning kasvuhormooni olemus ja toime

IGF-1 on kõikjalesinev süsteemsetes, rakuvälistes ning rakusisestes bioseksioonides leiduv hormoon, mis toimib nii autokriinselt, parakriinselt kui ka endokriinselt (Nindl jt, 2012). Enamus organismis ringlevast IGF-1 on pärit maksast ning sekreteeritakse nii palju, kui seda vajatakse ning seega ei varu organism seda suuremates kogustes (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

IGF-1 osaleb paljudes olulistes füsioloogilistes protsessides nagu valgusüntees, raku kiire kasv, glükoosi metabolism (Nindl jt, 2012) ning teda on seostatud hea füüsilise tervise parameetritega, mis väljendub kardiovaskulaarses seisundis ning kehakompositsioonis (Taipale ja Häkkinen, 2012). IGF-1 stimuleerib müoblastide proliferatsiooni ja diferentseerumist, proteolüüsi inhibeerimist, suuremat glükoosi ning aminohapete kasutamist skeletilihases. Need mitogeensed, müogeensed ja anaboolsed protsessid ilmestavad IGF mõju skeletilihase kasvupotentsiaalile (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

IGH-1 koosneb kuuest erinevast seonduvast valgust moodustades erinevaid IGH-I isovorme (IGF-1Ea, IGF-1Eb ja IGF-1Ec/MGF) (Nindl jt, 2012). Koosnedes aminohappejääkidest on nad struktuuralselt seotud insuliiniga ning tulenevalt ehituslikest sarnasustest insuliiniga, on nad võimelised seostuma insuliinireseptoritega ning vastupidi. Sidumisafiinsus nende molekulide vahel on järgmine: IGF-2 seostub tüüp 1 >> tüüp 2 >> 1R; IGF-2 seostub tüüp 2 >> tüüp 1 >> 1R; ja insuliin seostub 1R >> (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

Insuliinilaadsel kasvufaktoril IGF-1 on oluline roll jõutreeningu mõju realiseerumises lihase kasvu ja arengu näol. Muutused IGF-1 kontsentratsioonis mõjutavad skeletilihase adaptatsiooni füüsilisele pingutusele, mitte ainult anaboolset efekti müofibrillaarsele struktuurile, vaid ka kõõlustele, liigestele ja luudele (Ben-Zaken jt, 2013). Vastusena treeningule adapteerub ka IGF-1 süsteem, mille tulemusena suureneb ringleva IGF isovormide mõju skeletilihasele (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

IGF-1 geen asub 12. kromosoomis. C-1245T on geneetiline variatsioon IGF-1 geeni regioonis, mille T-alleel on retsessiivne. C-1245T geneetilist variatsiooni on seoses ringleva IGF-1 tasemega, mille retsessiivset T-alleeli on seostatud kõrgemate ringlevate IGF-1 kontsentratsioonidega. Eelmainitud polümorfismi seostatakse ka südame vasaku vatsakese hüpertroofiaga, vastusena ekstsentrilistele harjutustele, suurema lihasvastupanuga

vastupidavustreeningule ja suurema luutihedusega saavutamiseks. C-1245T polümorfismi on peamiselt uuritud vanemate inimeste seas lihasmassi- ja jõu ning funktsionaalse suutlikuse vähenemise tõttu ja riski tõttu põhjustada mõrasid ja murde kukkumise tagajärjel (Ben-Zaken jt, 2013).

Kasvuhormoon (GH) ning insuliinilaadne kasvufaktor-1 (IGF-1) töötavad nii koos kui ka eraldi stimuleerides erinevaid metaboolseid funktsioone. Kasvuhormoon stimuleerib vastusena jõu- kui ka kestvustreeningule vabade aminohapete vabanemist valgusünteesiks elusas organismis ning kasvufaktorite vabanemist lihasrakkudest mõjutades taastumist ja koeregeneratsiooni (Taipale ja Häkkinen, 2012). GH retseptoreid leidub inimese kudedes keskmisest kuni kõrge tasemeni maksas, lihastes, neerudes, epidermises, harknäärmes ja sugunäärmetes. (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

4.5 Hormoonide tasemed erinevates treeningrezhiimides

Hormonaalsete mehhanismide toime sõltub treeningssessiooni karakteristikutest ja treeningprogrammist (Kraemer ja Mazzetti, 2003).

Jõu- ja kestvustreeningud põhjustavad akuutset väsimust, mille tulemusena vähenevad koormatud lihastes jõud ja võimsus. Nii maksimaal- kui ka plahvatusjõudu arendavad harjutused põhjustavad akuutset väsimust, kuid kurnatuse tekke mehhanismid erinevad. Kestvustreening ei põhjusta nii suurt väsimust lihastes kui jõutreening, sest jõu rakendamise ulatus lihastele erineb. Jõutreening, millele on järgnenud kestvustreening, mõjutab organismis testosterooni ja teiste hormoonide kontsentratsiooni (Taipale ja Häkkinen, 2012).

Olenemata kombineeritud jõu- ja kestvustreeningu järjekorrast, avaldavad nad mõlemad hormonaalset ja neuromuskulaarset mõju rekreatiivselt kestvustreeninguga tegelevate inimeste organismile (Taipale ja Häkkinen, 2012).

Uuringus on leitud, et kortisooli tase oli meestel suurem, kui kestvustreeningule eelnes jõutreening (SE) kui pärast jõutreeningut, millele eelnes kestvustreening (ES). Suuri erinevusi kasvuhormooni tasemes näitasid SE katsealuste näidud, kuigi katsetsükli keskpunktis olid näidud SE ning ES grupil samad. Märkimisväärsed muutused esinesid naistel testosterooni kontsentratsioonis organismis pärast SE režiimi treeningut. Kumulatiivne neuromuskulaarne kurnatus oli SE ja ES gruppidel sama, kuid suurem meestel

kui naistel. Testosterooni tase oli SE grupi meestel madalam kui ES grupil nii 24h kui ka 48h pärast koormust. Kortisooli tase oli meestel sama uuringu keskel, olles uuringu lõpus suurem ES grupil. Insuliinilaadse kasvufaktori IGF-1 ei kõikunud märkimisväärselt, kuid erinevus ilmnis SE ja ES grupi vahel 48h pärast kehalist koormust. GH kontsentratsioon langes pärast treeningut ES grupil kuid jäi saavutatud tasemele SE grupil. Need tulemused tõestavad, et kestvustreeningule eelnenud jõutreeningul on suurem mõju organismi hormonaalsele seisundile kui jõutreeningule eelnenud kestvustreeningul (Taipale ja Häkkinen, 2012).

KOKKUVÕTE

Jõutreeningu mõju avaldumine sportlikule sooritusvõimele sõltub mitmetest omavahel seotud mehhanismidest. Käesolev bakalaureusetöö toob välja nelja mehhanismi olulisuse jõu väljendusvormins, käsitledes nende olemust, adaptatsiooniprotsesse ning toimet vastusena jõutreeningule.

Skeletilihased avaldavad füüsilisele koormusele akuutset vastupanu. Skeletilihaskiud varieeruvad oma olemuselt nii metaboolsel tasandil, tüübilt kui ka nende tüüpidele vastavate müosiini raskete ahelate isovormide poolest. Skeletilihaskiudude tüübid erinevad jõu produtseerimise näitajate poolest, mida ilmestab nende võimekus avaldada füüsilisele koormusele kiiret kõrgetasemelist vastupanu, tipnedes kiire kurnatuse ning jõu produtseerimistaseme alanemisega või võimekuses avaldada korduvatele lihasaktivatsiooni kohaselt madalatasealistele füüsilistele stiimulitele kestvat vastupanu. Müosiini raskete ahelate olulisus seisneb lihaskiudude metaboolses võimekuse tagamises lihaskontraktsioonil. Vastusena jõutreeningule aktiveeruvad erinevad adaptatsioonimehhanismid, mis kutsuvad esile nihkeid skeletilihaskiu tüüpides kui ka isovormides, määrates skeletilihase jõuprodutseerimise võimekuse. Kuigi treening põhjustab nihkeid skeletilihaskiudude isovormilises koostises, määrab inimese skeletilihaskiudude kompositsiooni suuremas osas pärilikkus.

Paljudel spordialadel sõltub liikumisaparaadi sooritusvõime lihase-kõõluse kompleksi omadustest. Kõõlus funktsioneerib liikumisaparaadis jõuülekandjana lihastelt luudele. Lihase-kõõluse kompleksi võimekus produtseerida jõudu sõltub nende omadustest ning seeläbi koostööst. Kõõluse jäikuse, elastsuse ja pikkuse järgi on võimalik määrata tema sobivus erinevaks füüsiliseks koormuseks. Tulenevalt noore organismi kasvuperiõõradest ning lihase-kõõluse kompleksile liigse koormuse osutamisest, alistub lihase-kõõluse kompleks kergesti ülepingevigastustele. Jõutreeningu tulemusena esinevad muutused nii

sidekimbu pikkuses kui ka kõõluse ja lihase kinnitumisnurgas, mille kaudu lihas kinnitub kõõlusele, soodustades või pärssides jõuproduksiooni.

Skeletilihase võime produtseerida jõudu oleneb neuromuskulaarsüsteemi kohanemisest füüsilise stiimuliga. Esmased arengud jõunäitajates tulenevad neuromuskulaarsüsteemi adaptatsioonist vastusena koormusele. Motoorsete ühiku tüübi rekruteerumine sõltub füüsilisest nõudlusest. Vastusena korduvale koormamisele toimub motoorsete ühikute adapteerumine, mille läbi paraneb lihase võimekus rakendada vastupanu füüsilisele stiimulile.

Hormoonidel on inimese organismis oluline ülesanne erinevate mehhanismide mõjutamisel ja vahendamisel, mis avaldavad suurt mõju inimese organismi homöostaasi säilitamisele. Hormoonide olulisus liikumiaparaadile ning jõuprodukteerimisele seisneb nende anaboolsetes ja kataboolsetes funktsioonides kui ka kaasaaitamises kohanemisprotsessidele füüsiliste stiimulitega. Füüsiline koormamine toob kaasa erinevate hormoonide taseme akuutse või pikemaajalise tõusu või alanemise, mis mõjutavad kohanemist korduva füüsilise koormamisega

Kokkuvõtteks võib öelda, et jõud kui kehaline võime sõltub erinevatest omavahel seotud faktoritest, mis funktsioneerivad üksteist toetades ning alluvad treeningu mõjule.

KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1. Baldwin KM., Haddad F. Skeletal muscle plasticity: Cellular and molecular responses to altered physical activity paradigmas. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation* 2002, 81 (Suppl): 40-51.
2. Ben-Zaken S., Meckel Y., Nemet D., Eliakim, A. Can IGF-1 polymorphism affect power and endurance athletic performance? *Growth Hormone & IGF Research* 2013; 23: 175 – 178.
3. Bojsen-Møller J., Magnusson S. P., Rasmussen L. R., Kjaer M., Aagaard P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *Journal of Applied Physiology* 2005; 99: 986 – 994.
4. Campos G. E., Luecke T. J., Wendeln H. K., Toma K., Hagerman F. C., Murray T. F., Ragg K. E., Ratamess N. A., Kraemer W. J., Staron R. S. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology* 2002; 88: 50 – 60.
5. Cormie P., McGuigan M. R., Newton R. U. Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine* 2011; 41: 17 – 38.
6. Earp J. E., Kraemer W. J., Cormie P., Volek J. S., Maresh C. M., Joseph M., Newton R. U. Influence of muscle-tendon unit structure on rate of force development during the squat, countermovement and drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2011; 25: 340 – 347.
7. Farthing J. P., Borowsky R., Chilibeck B. D., Binsted G., Sarty G. E. Neuro-physiological adaptations associated with cross-education of strength. *Brain Topography* 2007; 20: 77 – 88.

8. Folland J. P., Williams A. G. Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. *Sports Medicine* 2007; 37: 145 – 168.
9. Fry A. C., Webber J. M., Weiss L. W., Harber M. P., Vaczi M., Pattinson N. A. Muscle fiber characteristics of competitive power lifters. *Journal of Strength and Conditioning research* 2003; 17: 402 – 410.
10. Guilhem G., Cornu C., Guevel A. Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 2010; 53: 319 – 341.
11. Kraemer WJ., Mazzetti SA. Hormonal mechanisms related to the expression of muscular strength and power. In: Komi P.V. *Strength and power in sport*. 2nd ed. Blackwell Science; 2003; 73-95
12. Kyröläinen H., Avela J., McBride J. M., Koskinen S., Andersen J. L., Sipilä S., Takala T. E. S., Komi P. V. Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2005; 15: 58 – 84.
13. Malliaras P., Kamal B., Nowell A., Farley T., Dhamu H., Simpson V., Morrissey D., Langberg H., Maffulli N., Reeves N. D. Patellar tendon adaptation in relation to load-intensity and contraction type. *Journal of Biomechanics* 2013; 46: 1893 – 1899.
14. Mersmann F., Bohm S., Schroll A., Boeth H., Duda G., Arampatzis A. Evidence of imbalanced adaptation between muscle and tendon in adolescent athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science Sports*. 2013 Dec 27 doi: 10.1111/sms.12166. [epub ahead of print]
15. Moritani T. Motor unit and motoneurone excitability during explosive movement. In: Komi PV. *Strength and power in sport*. 2nd ed. Blackwell Science 2003; 27 - 49
16. Nindl B. C., Urso M. L., Pierce J. R., Scofield D. E., Barnes B. R., Kraemer W. J., Anderson J. M., Maresh C. M., Beasley K. N., Zambraski E. J. IGF-1 measurement across blood, interstitial fluid, and muscle biocompartments following explosive, high-power exercise. *American Journal of Physiology* 2012; 303: R1080 – R1089.

17. Pehme A. 2004. Effect of mechanical loading and ageing on myosin heavy chain turnover rate in fast-twitch skeletal muscle. Doktoritöö. Käsikiri Tartu Ülikooli kehakultuuriteaduskonnas.
18. Puthuchery Z., Skipworth J. R. A., Rawal J., Loosemore M., Someren K. V., Montgomery H. E. Genetic influences in sport and physical performance. *Sports Medicine* 2011; 41: 845 – 859.
19. Remaud A., Cornu C., Guevel A. Neuromuscular adaptations to 8-week strength training: isotonic versus isokinetic mode. *European Journal of Applied Physiology* 2010; 108: 59 – 69.
20. Ronnestad B. R., Nygaard H., Raastad T. Physiological elevation of endogenous hormones results in superior strength training adaptation. *European Journal of Applied Physiology* 2011; 111: 2249 – 2259.
21. Sale DG. Neural adaptation to strength training. In: Komi PV. *Strength and power in sport*. 2nd ed. Blackwell Science; 2003; 281 - 314
22. Taipale R. S., Häkkinen K. Acute Hormonal and Force Responses to Combined Strength and Endurance Loadings in Men and Women: The ‘‘Order Effect’’. *PLoS ONE* 2012; 8:2. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0055051#references>, 27.01.2014
23. Tesch PA., Alkner BA. Acute and chronic muscle metabolic adaptations to strength training. In: Komi PV. *Strength and power in sport*. 2nd ed. Blackwell Science 2003; 265-280
24. Tillin N. A., Pain M. T. G., Folland J. P. Short-term training for explosive strength causes neural and mechanical adaptations. *Experimental Physiology* 2012; 97: 630 – 641.
25. West D. W. D., Philips S. M. Associations of exercise-induced hormone profiles and gains in strength and hypertrophy in a large cohort after weight training. *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112: 2693 – 2702.
26. Widrick J. J., Stelzer J. E., Shoepe D. C., Garner D. P. Functional properties of human muscle fibers after short-term resistance exercise training. *American Journal of Physiology* 2002; 283: R408 – R416.

Adaptational processes in moving apparatus due to functional activity induced by strength training

Summary

The purpose of this study was to examine different mechanisms in moving apparatus which influence the processes and the outcome of strength training leading to improvement of power production to different kind of physical activities by scientific literature. There are several inter-related mechanisms in the moving apparatus, which influence the ability to generate force such as composition of the muscle fiber type and myosin heavy chain isoforms, muscle-tendon unit, neurological and hormonal factors. Implied resistance stimuli causes shifts as adaptational processes in muscle fiber type and myosin heavy chain isoforms which results in better power production due to specific kind of physical stimuli. Tendinous structures have a remarkable ability to store elastic energy and to implicate it to amplify muscle performance. The performance for a specific physical task depends on the muscle-tendon unit properties. Muscle-tendon unit properties are influenced by maturation and physical stimuli. Neuromuscular system is the basis for the ability of muscles to produce force as an answer to a resistance stimuli. Repeated loading causes adaptations in neuromuscular system which results in better coordinated innervation of the muscle fibers. The task of the endocrine system is to control homeostasis in human body by releasing hormones into circulation from different glands. In moving apparatus the importance of hormones and growth factors is catabolic and anabolic. IGF-1, GH and testosterone have anabolic functions like stimulation protein synthesis and cortisol, as a catabolic hormone stimulates protein degradation. Optimal levels of anabolic and catabolic hormones are important to help adaptational processes to strength training and to maintain homeostasis.



LISAD

Tabel 1. Lihase kiutüüpide protsendilised väärtused kasutades müosiini ATP-aasi aktiivsuse histokeemilise määramise meetodit enne ja pärast 8-nädalast treeningtsüklit kolme erineva treeningrezhiimi puhul (3-5 KM; 4 seeriat; 3minutit puhkus seeriade vahel); (9-11 KM; 3 seeriat; 2 minutit puhkust seeriade vahel); (20-28 KM, 2 seeriat, 1 minut puhkust seeriade vahel), mida rakendati nelja esimese nädala jooksul kaks korda nädalas ning nelja hilisema nädala jooksul kolm korda nädalas (Campos jt., 2002).

Treeningrezhiim	Lihaskiu tüübid						
	I	IC	IIC	IIA	IIAB	IIB	n
Kontrollgrupp							
Enne	35.6 (11.3)	1.0 (1.7)	0.7 (1.2)	28.2 (10.3)	4.6 (2.6)	29.9 (5.6)	1040 (451)
Pärast	39.9 (9.6)	1.4 (1.9)	0.6 (0.5)	31.2 (10.3)	3.2 (0.9)	23.7 (2.8)	1100 (452)
Madal							
Enne	38.3 (10.9)	0.3 (0.6)	0.6 (0.9)	33.3 (7.3)	5.4 (2.1)	22.1 (9.0)	1022 (255)
Pärast	42.8 (11.3)	1.6 (1.6)	3.9 (3.3)	31.0 (11.7)	12.1 (7.0)*	8.6 (6.1)*	912 (542)
Kesk							
Enne	38.6 (9.3)	0.5 (0.6)	0.5 (0.8)	33.1 (7.7)	6.1 (4.1)	21.2 (9.0)	953 (463)
Pärast	40.7 (9.9)	1.8 (2.1)	1.6 (1.3)	34.1 (11.8)	11.3 (2.8)*	10.5 (9.8)*	885 (471)
Kõrge							
Enne	34.9 (13.3)	0.7 (1.1)	2.4 (4.8)	28.5 (10.5)	5.8 (5.1)	27.7 (15.8)	1110 (561)
Pärast	40.4 (6.0)	1.8 (3.6)	3.0 (2.8)	32.2 (9.5)	12.0 (6.1)*	10.6 (5.8)*	1342 (549)

Tabel 2. Suhteline MHC isovormide protsent homogeensetes *m. vastus lateralis* lihase proovides kasutades SDS PAGE elektroforeesi (Campos jt., 2002).

Treeningrezhiim	MHC I	MHC IIa	MHC IIb
KONTROLLGRUPP			
Enne	34.4 (14.0)	41.4 (11.1)	23.2 (4.9)
Pärast	36.9 (12.0)	40.7 (8.7)	22.4 (5.0)
MADAL			
Enne	32.8 (8.2)	44.6 (6.7)	22.6 (5.6)
Pärast	35.3 (11.3)	55.4 (9.3)*	9.3 (2.9)*
KESKMINE			
Enne	28.6 (7.9)	47.1 (6.9)	24.3 (8.4)
Pärast	31.6 (8.0)	57.6 (6.6)*	10.8 (3.7)*
KÕRGE			
Enne	30.1 (10.2)	42.4 (4.7)	27.5 (11.6)
Pärast	33.2 (6.3)	53.9 (5.3)*	12.9 (3.5)*

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Matis Mäsa

(autori nimi)

(sünnikuupäev: 14.03.1991)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Kohenevusprotsessid kinnisvaras
sõltuvalt funktsionaalsest aktiivsusest jätkuvas
võ-ol.

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Eva-Hanna Riso

(juhendaja nimi)

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus/Tallinnas/Narvas/Pärnus/Viljandis, 2004.14 (kuupäev)