

TARTU ÜLIKOOL  
Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

**Kaido Külaots**

**Jõutreeningu printsiibid skeletilihase hüpertroofia ja maksimaaljõu arendamisel  
The principles of resistance training in developing skeletal muscle hypertrophy and  
maximal strength**

**Bakalaureusetöö**

Kehalise kasvatus ja spordi erialal

Juhendaja: kaasprofessor A. Pehme, PhD

Tartu 2025

## **Sisukord**

<b>Sissejuhatus</b>	<b>3</b>
<b>1. Skeletilihaskoe iseloomustus</b>	<b>4</b>
<b>2. Skeletilihase kiuline ehitus</b>	<b>6</b>
<b>3. Lihasmassi olulisus organismi ehituses. Skeletilihase hüpertroofia</b>	<b>9</b>
<b>4. Jõutreeningu meetodika</b>	<b>15</b>
<b>4.1. Treeningu intensiivsus ja maht</b>	<b>15</b>
<b>4.2. Liigutuste tempo</b>	<b>15</b>
<b>5. Jõuvõimete ja lihashüpertroofia arendamine</b>	<b>18</b>
<b>6. Vabade raskustega ja jõumasinatel treenimise võrdlus</b>	<b>23</b>
<b>7. Adaptatsioon. Organismi vastus jõutreeningule</b>	<b>25</b>
<b>8. Kokkuvõte</b>	<b>30</b>
<b>9. Kasutatud kirjandus</b>	<b>31</b>
<b>Summary</b>	<b>36</b>
<b>Lihtlitsents publitseerimise lubamiseks</b>	<b>38</b>

## Sissejuhatus

Tõusva meediakajastuse pinnalt võib järeldada, et viimasel ajal on populaarsust kogumas sellised spordialad nagu fitness, kulturism – alad, kus rõhutatakse treenitud ja proportsionaalset lihaskonda. Need visuaalid võivad olla kaunid ja esteetilised, kuid veelgi globaalsem resonants tekib siis, kui nende kaasabil ka laiema elanikkonna teadvusesse jõuaks tõdemus jõutreeningu hindamatust rollist iga inimese tervisele ja heaolule.

Skeletilihase hüpertroofia ning sellega vältimatult kaasnev jõuvõimete paranemine võib olla eesmärgiks omaette, kuid tervitatava boonusega kaasneb arvukalt nõ kõrvaltoimeid, mil kõigil positiivne mõju meie füüsilisele, kuid ka vaimsele tervisele.

Skeletilihased alluvad tavatingimustes väga hästi meie taatele. Meie käsutuses on väga efektiivseid viise nende positiivses suunas mõjustamiseks. Tõhusaimaks modaalsuseks selle juures on jõutreening. Seda sooritades me ületame välist vastupanu. Inglise keeles ongi peamiselt kasutusel vaste *resistance training*.

Selleks, et jõutreening oleks eesmärgipärane, efektiivne ja ohutu, on kindlasti soovituslik omada baasteadmisi skeletilihase kohta, seda nii struktuursel kui funktsionaalsel tasandil. Seetõttu on ka käesolevas töös sellele esimesed peatükid pühendatud.

Kui meil on treeningu objektist ehk skeletilihasest piisavalt hea ülevaade, siis edasi tulevad juba treeningu meetodika ja põhitõed, mida järgides saame muuta treeningu just meie vajadustele ja eesmärkidele vastavaks.

Jõutreeningut harrastades saab inimene vastu sisuliselt kaks ühes – lisaks lihasmassi kasvule ka jõunäitajate paranemise. Millisel määral nihked ühel või teisel teljel aset leiavad, sellele panevad aluse juba valikud treeningmetoodikas, mida käesolevas töös valgustatud.

Kui me omame teadmisi meile optimaalse treeningu mahu ja intensiivsuse kohta – kui palju ja kui suure pingutusega, siis on loogiline jätk seada sammud jõusaali (treeningväljaku vms) poole. Seal on reguleeritavad raskused ootamas vastupanu ületamist.

Teema valiku tingis suuresti ka see, et olen ise praeguseks juba arvestatava jõutreeningu (hüpertroofia suunitlusega) kogemusega. Ma ei näe ennast tulevikus seda praktikat katkestamas ning päris kindlasti saab enese teemakohane teoreetiline täiendamine vaid kasuks tulla.

Töös olen väga suures osas tuginenud viimastel aastatel avaldatud uuringutele.

Märksõnad: adaptatsioon; hüpertroofia; jõutreening; skeletilihas

Keywords: adaptation; hypertrophy; resistance training; skeletal muscle

## 1. Skeletilihase iseloomustus

Lihaskude pakub juba seetõttu suurt huvi uuringuteks, et ta moodustab terve inimese kehamassist tervelt 40-50% (Sartori et al., 2021). Põhiainevahetuselt hõlmab ta umbes 30% (Han Dong, Shih-Yin, 2023).

Lihaste märkimisväärne omadus on võime kokkutõmmeteks. Skeletilihas aga eristub südame- ja silelihasest selle poolest, et tema kontraktsioonid on tahtele allutatavad.

Skeletilihast saab vaadelda kui erinevate koostoimivate komponentidega biomehaanilist seadeldist, Nendeks on impulsside ülekannet tagavad autonoomsed närvid, hapnikuga varustatust tagav veresoonkond ning samuti raku tasandi homöostaasi kindlustav reguloorne ja ainevahetuslik süsteem. (Mukund, Subramaniam, 2020)

Skeletilihas on rikkaliku veresoonkonnaga ning tõhusalt innerveeritud. Lisaks sisalduvad temas reguloorsed ja ainevahetuslikud mehhanismid, mis toetavad efektiivset energiatootmist ning rakkude homöostaasi.

Just kõikide nende komponentide koordineeritud aktiivsus on vajalik lihaskonna tervise ning sellega seotud motoorse aktiivsuse tagamiseks. Igasugused häired selles koostöös (näiteks geneetilise või keskkonnast tuleneva päritoluga) annavad tulemuseks lihaskonna tervise ja funktsiooni halvenemise, mis tavaliselt väljendub lihaskiudude kaos, motoorse võimekuse vähenemises ning mõnel juhul ka surmas. (Mukund, Subramaniam, 2020)

Skeletilihase kiududel on mitmed, perifeerselt paiknevad tuumad. Kõnealused kiud on väga heterogeensed, peegeldades nende erinevaid kontraktiilseid omadusi (aeglased või kiired) ning ainevahetuslikku kohanemist (oksüdatiivne või glükolüütiline). Skeletilihas allub tahtlikule kontrollile, mida vahendavad jõudu ja liikumist käivitavad motoneuronid. Enamus kui mitte kogu liikumist kontrolliv rakuline aktiivsus tervikuna on sõltuv mitokondriaalsest tegevusest (Han Dong, Shih-Yin Tsai, 2023).

Energiavarustuselt tugineb skeletilihas seega suuresti mitokondritele. Lisaks sellele, et mitokondrid on jõujaamaks, käivitavad nad skeletilihases mitmeid erinevaid funktsioone, reguleerides näiteks kaltsiumi ning ROS (*reactive oxygen species*) taset. Toimiv mitokondrite

populatsioon on tarvilik skeletilihase homöostaasi säilitamiseks. Samas on mitokondrite regulatsioonihäired seotud paljude müopaatiatega (Han Dong, Shih-Yin Tsai, 2023).

Mitokondrite sisalduse vähenemine ning muutused organellide morfoloogias on omased paljudele atroofia tüüpidele. Atrofeeruvaid lihaseid iseloomustab nii vähenenud mitokondriaalne biogenees kui ka kõrgenenud mitokondrite degradeerumine. Näiteks annab 7-päevane denervatsioon tulemuseks umbes 50% languse mitokondriaalses tiheduses, mis on lähedalt seotud lihasmassi kaotusega. Huvitaval kombel eelneb mitokondrite vähenemine atroofia ilmnemisele, mis viitab sellele, et organellide kaotus soodustab lihasmassi kadu (Vainshtein, Sandri, 2020).

Skeletilihasel on märkimisväärne võime “meenutada” pärast treeningute lakkamist uuesti treeningutega alustades eelnevat hüpertroofilist seisundit. Seda nähtust on nimetatud lihasmäluks. Algselt omistasid teadlased lihasmälu põhjuslikkuse kesknärvisüsteemi teel toimuvale motoorsele õppimisele. Viimasel ajal ilmnunud tõendid viitavad aga sellele, et lihasmälu on seotud lihastuumade küllusega. On arutletud, et paljutuumalise seisundi säilitamine tagabki eelneva treenitusega skeletilihases kiirema kiudude mõõtmete taastumise isegi pärast pikemat vähese aktiivsuse perioodi (Rahmati et al., 2022).

“Skeletilihasmälu” üks tahkudest on varasemalt treenitud lihase võimekus detreeningu järgselt hüpertrofeeruda suhteliselt kiiremini. Kuigi lihasmälu molekulaarset põhjuslikkust on veel vaja uurida, siis üheks võimalikuks mehhanismiks lihasmälu tagamisel peetakse algsel hüpertroofilisel kasvuperioodil omandatud lihastuumade arvukuse säilitamist (Rahmati et al., 2022)

Üks enimuuritud ning peamisi karakteristikuid skeletilihase juures on lihase lühenemise kiirus. Lihaskiudude lõikes maksimaalne lühenemise kiiruse varieerub. Selle põhjal jagatakse lihaskiud ehk rakud erinevatesse tüüpidesse.

Enamik uuringuid näitab, et mitokondrite sisaldus jõutreeningu tulemusena väheneb. Põhjuseks on lihaskiu ristlâbilõike pindala suurenemine. Nähtust nimetatakse “jõutreeningust esilekutsutud mitokondriaalseks lahjenemiseks” (Han Dong; Shih-Yin Tsai, 2023).

## 2. Skeletilihase kiuline ehitus

Lihaskiu tüüpide tuvastamise ja analüüsi ajalugu ulatub kaheksa aasta taha. Algselt toimus eristamine koe värvuse põhjal – punane või valge. Aja jooksul on kiudude eristamisel kaasatud molekulaarseid, biokeemilisi ja biofüüsikalisi näitajaid (Talbot, Maves, 2016).

Skeletilihases saame eristada kiutüüpe, mille diferentseerimise peamiseks aluseks on tänapäeval nende kokkutõmbe kiirus (Vainshtein, Sandri, 2020).

Samuti eristuvad lihaskiud ainevahetuslike ja biokeemiliste omaduste poolest. Näiteks sellal kui kiired kiud on rohkem vastuvõtlikud toitainete puudusele, on nad aeglaste kiududega võrreldes vastupidavamad liikumatuse suhtes (Vainshtein, Sandri, 2020).

Kokku on inimesel lihaskiu tüüpe kolm (kahe peamise kiutüübi raames). Nendeks on aeglased (tüüp I) ja kiired (tüüp II) kiud, millest viimane sisaldab alatüüpe IIA ja IIX. Tuleb mõista, et inimeste ja loomade lihaste kompositsioonis on kergeid erinevusi, Selle võrdluse kohaselt ei sisalda inimese lihased glükolüütilist IIB kiutüüpi (Edman et al., 2024).

Aeglased kiud on väsimusresistentsed, nad sõltuvad energiaallikalt oksüdatiivsest ainevahetusest, nad kontrakteeruvad pikema aja vältel, genereerides seejuures väiksemat jõudu. Tüüp I lihaskiudude olemasolu on külluslikult tuvastatavad tiptasemel vastupidavusalade sportlaste (näiteks ujujate) juures. Kiired kiud ehk tüüp II näitab kiiremat kokkutõmbe aega, nad väsivad kiiremini kui tüüp I kiud. Tüüp II kiududel on kõrge glükolüütiline võimekus, mis tagab küllaldase ATP tootlikkuse, tasakaalustades kiiremat ATP hüdrolüüsi tempot. Sel põhjusel võib proportsionaalselt enam tüüp II kiude täheldada tiptasemel jõualade sportlaste (näiteks sprinterid ja tõstjad) juures. Kahest peamisest alatüübist (IIA ja IIX), mis eristuvad nii kokkutõmbe kiiruse kui jõu genereerimise poolest, sarnaneb IIA aeglaste kiududega selle poolest, et neis on rohkem müoglobiini ning nad sõltuvad rohkem oksüdatiivsest ainevahetusest (Mukund, Subramaniam, 2020).

Füsioloogilises plaanis seisneb erinevus kiirete ja aeglaste kiudude vahel nende erinevas kaltsiumi kineetikas ning molekulaarses motoorses aktiivsuses, mis haldab kiudude põhiparameetreid (aeg suurima pingeni ning lõõgastuse aeg) (Mukund, Subramaniam, 2020).

Skeletilihaskiud ilmutavad märkimisväärset plastilisust, adaptatiivsete muutuste võimekust vastusena füüsilisele aktiivsusele või mitteaktiivsusele.

Liikumisaktiivsuse rolli kiutüüpide ümberkujundamisel ja lihasfunktsiooni juures on põhjalikult uuritud spordifüsioloogia kontekstis. Samuti on ta tähtis ainevahetuslike haiguste ning südame-veresoonkonna tervise juures (Talbot, Maves, 2016).

Inimese skeletilihases paiknevad erinevat tüüpi kiud lihasgrupi siseselt üldjuhul segunenult. Erinevatel lihasgruppidel on kiutüüpide proportsioonid erinevad. Nii näiteks on inimese *soleus* lihas valdavalt I tüüpi, samas kui õlavarre kolmpealihase peamiselt II tüüpi. Need proportsioonid on siiski paindlikud ning lihaskiududel on võime oma fenotüüpi ümber kujundada, aitamaks lihasel kohaneda erinevat laadi mehaanilise aktiivsusega. Näiteks võib vastupidavustreening kutsuda esile veidi kõrgema I kiutüübi suhte. Teisalt on ka haiguslikud seisundid nagu näiteks rasvumine seotud muutustega

kiutüüpide proportsioonides. Kiutüüpide erinevused kontraktsiooni füsioloogias ning ainevahetuslikus aktiivsuses koos kiule omase plastilisusega võimaldavad suurt funktsionaalsust (Talbot, Maves, 2016).

Lihastöö mahu vähenemine või selle lõpetamine põhjustab kõikide lihaskiutüüpide märkimisväärset atroofiat, iseäranis I tüüpi keskselt. Sellega kaasub I ja IIA tüüpi kiudude transformatiivne nihe IIX tüüpi suunas. Näiteks nii selgroovigastus kui voodirežiim kallutavad kiudusid kiirema fenotüübi suunas (Talbot, Maves, 2016).

Vananemise poolt põhjustatud skeletilihasmassi kaotus - sarkopeenia on valdavalt iseloomustatav II tüüpi kiudude vähenenud mõõtmete ning suurema atroofiaga (Talbot, Maves, 2016)

Mitokondrite sisaldus ja oksüdatiivne aktiivsus on tihedalt seotud lihase ATP vajadusega. Üldiselt sisaldavad I ja IIA tüüpi kiud võrreldes IIX tüübiga rohkem mitokondreid. See on positiivses vastavuses kõrgema oksüdatiivse aktiivsusega (Han Dong; Shih-Yin Tsai, 2023).

Inimese skeletilihase täpne kiuline koosseis on sõltuvuses paljudest faktoritest nagu geneetiline eeldus, sugu, füüsiline aktiivsus ja mitmed muud. Võime muuta kiutüübilist koosseisu muudatustega elustiilis annab lihasele märkimisväärse paindlikkuse (Vainshtein, Sandri, 2020).

Erinevalt kestvussportlastest on treenitud jõusportlastel mittedportlastega sarnane lihaskiudude jagunemine (Furrer et al., 2023).

### 3. Lihasmassi olulisus organismi ehituses. Skeletilihase hüpertroofia

Skeletilihas on meie keha valguvaramu ning oluline glükoosi ning rasvade homöostaasi regulaator. Sellest tulenevalt saab lihasmassi kasv või kahanemine mõjutada üldist ainevahetust, liikumist, söömist ning hingamist. Seepärast pole üllatav, et liigne kaotus lihasmassis võib olla erinevate haiguste ettekuulutaja (Sartori et al., 2021).

Inimese vananemisega kaasneb märkimisväärne lihasmassi ning füüsilise funktsiooni kahanemine. Hinnanguliselt põhjustab vanuse poolt tingitud atroofia lihasmassi vähenemist 1-2% pärast 50. eluaastat, seda sõltuvalt lihasgrupist ning inimese kehalisest aktiivsusest (Létocart et al., 2021). Nimetatud kahanemine väljendub reljeefsemalt alajäsemetes ning hinnanguliselt väheneb 20-70 eluaasta vahemikus alajäsemete lihasmass umbes 25%. Eakamatel meestel on võrdluses noortega leitud vähenemist nii jõus kui võimsuses, iseäranis reie nelipea lihases ning *triceps surae* lihases. Reie nelipea lihase pindala leiti eakamatel meestel noortega võrreldes olevat madalam, märkimisväärse taandumisega reie keskosas (Létocart et al., 2021).

Lihasmassi vähenemise või minimeerimiseks on kõigepealt vajalik parem arusaam lihasatroofiast. Peab märkima, et seni ei ole teada kas lihasmassi kaotus on ühtlase iseloomuga või tingib vananemine lihasmassi piirkonnaspetsiifilist kadu. Kehalised harjutused ning eriti jõutreening võivad vältida sarkopeeniat (Létocart et al. 2021). Siiski ei ole vaatamata mitmete uuringutele veel päris selge milline on optimaalne treeningu intensiivsus lihasjõu juurdekasvu maksimeerimiseks ja/või sarkopeenia minimeerimiseks. On näidatud, et lihase valgusünteesi määr saavutab eakamate inimeste puhul tipu 60% juures ühe korduse maksimumist. See tulemus erineb noortest, kelle puhul kasvab valgusünteesi kiirus kuni intensiivsuseni 90% 1KM-st. Seega võib väita, et eakamate inimeste puhul ei too suurem treeningu intensiivsus kui 60% 1KM-st enam täiendavat kasvu lihasmassis (Létocart et al., 2021).

Lihasmassi täpne mõõtmine on eeltingimus, et saaks uurida kuidas lihasmass mõjutab ea kasvuga kaasuvaid muutusi lihasjõus ja muus. Lihashüpertroofiat/atroofiat on aga pikka aega sageli uuritud pelgalt lihase ristlâbilõike pindalast lähtuvalt. See ei pruugi aga objektiivselt kajastada muutusi lihase mahus. Kogu lihase mahu täpseks mõõtmiseks on tänapäeval laialdaselt kasutusel MRI skaneering (Létocart et al., 2021)

MRI-d peetakse skeletilihase kliinilise ning uuriva kuvamise üheks parimaks meetodiks, mis võimaldab teadlastel täpselt hinnata lihasmassi erinevatel ajahetkedel ning selle muutumise dünaamikat (Franchi et al., 2018).

Andmed, mis on pärit ealises vahemikus lastest kuni 90nda eluaastani meessoost vaatlusalustel sooritatud vaatlustes viitavad sellele, et keskmine kiudude hulk *vastus lateralis* ning keskmine mootorsete ühikute arv *digitorum brevis* lihases on märkimisväärselt stabiilne kuni umbes 50nda eluaastani, misjärel need edasise elu jooksul lineaarselt kahanevad. Kiudude arv 20nda ja 50nda eluaasta vahel *vastus lateralis* on 400 000 kuni 900 000, sellal kui mootorsete ühikute arvu vahemik *digitorum brevis* on 125 kuni 325 (Faulkner et al., 2008). Mõistagi on nimetatud väga erinevad lihased nii massilt kui funktsioonilt, kuid need kaks lihast näitavad ometi väga sarnaseid vananemisest tingitud muutusi.

Pärast 80ndat eluaastat on lihaskiudude vahemik *vastus lateralis* 200 000 kuni 350 000 ning mootorsetel ühikute arv *digitorum brevis* 1 kuni 125. Kaod skeletilihaskiududes paistavad olema otseselt mootorsete ühikute vähenemise tagajärg (Faulkner et al., 2008).

Suuremad ja tugevamad skeletilihased aitavad tõsta nii meie eesoleva elu pikkust kui selle kvaliteeti. Käesoleval hetkel on jõutreening ainuke efektiivselt toimiv viis lihasmassi suurendamiseks, mis on kättesaadav kogu elanikkonnale (Marcotte et al., 2015).

Kõneldes lihaste mõjust üldisele tervisele ei ole oluline mitte ainult skeletilihaste mõõtmed, vaid ka nende morfoloogiline kvaliteet. Adipoossusega kaasneb nahaaluse ja vistseraalse rasva taseme tõus. Viimasega kasvavad märgatavalt terviseriskid. Samuti on oht ektoopilise rasva sissetungiks skeletilihasesse (Oliver et al., 2025).

Skeletilihase ektoopiline rasv võib koguselt olla võrreldav kõhu piirkonna rasvaga ning ta on seotud insuliiniresistentsusega ning vananemisega.

Üks nüüdisaja käibetõdedest kõlab, et oluline on üldine lihaste kvaliteet ning tervis, mitte ainult lihase mõõtmed kui selline. Lihaskõhkus ning võimsus on kriitilise tähtsusega kuna neid mõjutab vanus ja haigused enam kui lihasmassi. Samuti on mõlemad sageli tugevamalt seotud üldise terviselega kui lihasmass eraldi võetuna. Samuti reageerivad need karakteristikud hästi jõutreeningule, sõltumatult lihaskõhkest (Oliver et al., 2025).

Hüpertroofiat defineeritakse kui lihasmassi kasvu, mis on saavutatav läbi harjutuste (Bernárdez-Vázquez et al., 2022). Sellele füsioloogilisele ilmingule avaldavad mõju kaks peamist faktorit, millisteks on sarkoplasmaatiline hüpertroofia (kõrgenenud lihases säilitatava glükogeeni maht) ning müofibrilline hüpertroofia (suurenenud müofibrillide mõõtmed ja arvukus). Seda arvestades peetakse jõutreeningut lihasmassi arendamisel parimaks võimalikuks teeks, baseerudes kolmel võtmeteguril – mehaaniline stress, metaboolne stress ja lihaskahjustus. Tavaliselt iseloomustab hüpertroofiale keskendunud jõutreeningut mõõdukas intensiivsus, kõrge üldmaht ning lühikesed puhkepausid kuigi erinevate programmide mõju võib varieeruda sõltuvalt muutujatega manipuleerimisest. Kuna on teada lihaskasvu positiivsest mõjust nii funktsionaalsusele kui üldtervisele, siis on põhjendatud efektiivsete hüpertroofiat tagavate meetodite otsimine (Bernárdez-Vázquez et al., 2022).

Tugeva positiivse sideme tõttu, mida on täheldatud lihase jõu genereerimise võime ja tema ristlabilõike pindala (CSA) vahel, on hüpertroofia üks peamisi eesmärke, mille suunas liiguvad nii elukutselised kui ka vabaajaspordlased (Bernárdez-Vázquez et al., 2022).

Koe suuruse regulatsioon sõltub valgusünteesi ja valkude degradatsiooni vahekorradest. Täpsemalt öeldes määratleb koe suuruse rakusiseste funktsionaalsete ning struktuursete valkude sünteesi ja degradatsiooni vahekorrad. Sellest lähtuvalt annab lihases üldine positiivne või negatiivne müofibrillaarne valgubilanss tulemuseks vastavalt hüpertroofia või atroofia. Tervete täiskasvanute juures kõigub müofibrillaarne valgusünteesi määr selliselt, et lihasmassi muutus ajas on laias laastus väga väike. Skeletilihase mass on peamiselt mõjustatud lihase valgusünteesi regulatsioonist (Marcotte et al., 2015).

Skeleti- ja südamelihase rakud on iselaadsed sellepolest, et tsütoplasma on täidetud kontraktiilvalkudega, mis on ümbritsetud organellidega, eriti mitokondrite ja endoplasmaatilise retiikulumiga. Erinevalt kõikidest teistest rakutüüpidest ei jäta lihaskarakud kontraktiilvalkude ning organellide tihe paiknemine tsütoplasmas nõu vaba ruumi. Selline struktuuri korraldus viitab sellele, et valkude ja organellide tootmisel on suur mõju lihaskaraku suurusele ja funktsioonile. Kehaliste harjutuste või anaboolse hormonaalse mõjutamise ajal kasvab lihas põhjusel, et uued valgud ning organellid akumulieruvad tsütoplasmas, suurendades sellega raku mahtu. See protsess kannabki nimetust lihahüpertroofia (Sartori et al., 2021)

Skeletilihase hüpertroofia on defineeritav kui lihase massi või ristlabilõike pindala suurenemine, mille juures lihase mahu tõus toimub läbi lihaskiudude suurenemise (Vann et al., 2022).

Schoenfeld et al. (2018) poolt läbi viidud neli uuringut, milles oli 117 vaatlusalust, hindasid skeletilihase (*vastus lateralis*) reaktsiooni jõutreeningule pärast detreeningu perioodi. Jõutreeningu kestus ulatus nendes uuringutes 10 kuni 24 nädalani. Detreeningu periood oli aga olnud 12 kuni 48 nädalat. Hetkel on üldine arusaam selline, et vanematel täiskasvanutel (60+) on võrreldes noorte täiskasvanutega (18-55 aastat) väiksem lihastuumade maht.

Lihastreening suurendas märgatavalt lihase ristlabilõike pindala. Pärast detreeningu perioodi tõi jõutreening CSA taseme tagasi treeningueelsele tasemele. Detreeningu periood põhjustas noorematel täiskasvanutel märgatavat suuremat tüüp I lihaskiu CSA vähenemist võrreldes vanematega (Schoenfeld et al., 2018).

Tulemused viitavad jõutreenitusega meeste valimis lihashüpertroofias astmelisele suhtele sisendi ja vastuse vahel. Leiud sisuliselt peegeldavad hiljutisi uuringuid, näidates treeningmahu ja hüpertroofia vahel eksisteerivale mahu ja hüpertroofia astme vahelisele seosele. Käesolev uuring näitab, et oluliselt suurematel treeningmahtudel võib olla varasema jõutreeningu kogemusega indiviidide puhul soodustav mõju lihaste kasvule eeldusel, et hinnatav treeningperiood on vähemalt 8 nädalat. Neljast mõõdetud lihasest oli kolmel hüpertroofia märkimisväärselt suurem kõrgeima intensiivsusega treeningul võrdluses madalaimaga. Vaid küünarliigese sirutaja juures ei olnud erinevate intensiivsuste vahel täheldada statistiliselt olulisi erinevusi (Schoenfeld et al., 2018).

Seega tuleb lihasmassi kasvu soovivatel indiviididel eesmärgi saavutamiseks sellele treeningu näol pühendatavat aega nädala lõikes tõsta. Edasised uuringud on vajalikud, selgitamaks kuidas need leiud rakenduvad indiviididele teistest elanikkonna gruppidest, näiteks naistele ja vanemaealistele. Treeningmahul ei leitud olevat mõju ülakeha lihaskonna vastupidavusele (Schoenfeld et al., 2018).

(Refalo et al. 2023) uuringu peamiste leidude kohaselt puuduvad tõendid, et jõutreeningu sooritamine suutlikkuseni oleks hüpertroofiaga saavutamise seisukohalt mõjusam kui treening ilma suutlikkuspiirini jõudmata. Uuringu tulemused kajastavad suutlikkuspiiri läheduse ning lihashüpertroofia mittelineaarset suhet.

Jõutreening soodustab skeletilihase hüpertroofiat, füsioloogilist adaptatsiooni, mis hõlmab lihaskoe struktuurset ümberkujundamist. Tulemuseks on juurdekasv lihaskiududes ning lõpuks kogu lihase ristlääbilõike pindalas (Refalo et al., 2023).

Kuigi lihahüpertroofiat mõjutavad mitmed jõutreeningu muutujad (maht, intensiivsus, sagedus, raskuse tõstmise kiirus jm.), siis lähedus suutlikkuseni mõjutab spetsiifiliselt lihaskiudude eksponeeritust mehaanilisele pingele, mis on lihahüpertroofia stimuleerimisel võtmetegur (Refalo et al., 2023). Lähedust suutlikkuseni saab lahti seletada kui seerias veel sooritamata korduste arvu enne lihassuutlikkuse saabumist (treenija ei suuda käesolevas korduses ettenähtud viisist kõrvale kaldumata kontsentrist faasi täisulatuses sooritada). Suutlikkuspiiri lähenedes kindlas seerias korduste sooritamist jätkates (suurendades sel viisil mahtu - seeriad  $\times$  kordused  $\times$  intensiivsus) intensiivistub astmeliselt lihaskiudude aktiveerimine, allutades viimaks ka tüüp II lihaskiud suuremale mehaanilisele pingele. II tüüpi kiud on aga võrreldes I tüübiga võimelised ulatuslikumaks hüpertroofiaks (Refalo et al., 2023).

Jõutreening on tõhus vahend lihahüpertroofia stimuleerimiseks ning jõunäitajate parandamiseks. Treeningu erinevate muutujatega (harjutuste valik ja järjekord, intensiivsus, maht, ajaline kestus, sagedus ning puhkeintervallid) manipuleerimine resulteerub erinevusteks mehaanilises ja ainevahetuslikus stressis. Jõuharjutuste intensiivsuse kasvuga (põhjustades kiirete lihaskiudude ulatuslikuma aktiveerumise) asetatakse suurem rõhk mehaanilisele stressile. Sellest erinevalt kutsub suure mahuga (suurem arv kordusi, mille juures kasutatakse lühemaid puhkeintervalle) jõutreening esile kõrgemat metaboolset stressi. Ainevahetusliku stressi suunitlusega treeningprogrammi juures on lihase maksimaalseks aktiveerimiseks tarvilik minimaalne intensiivsustläävi (Mangine et al., 2015).

Jõutreening on inimestel lihasmassi kasvatamiseks tõhusaim füüsilise aktiivsuse vorm. On teoretiseeritud, et jõutreeningu sessiooni käigus sooritatud treeningmahul, mis siinkohal avaldub valemiga: kordused  $\times$  seeriad, on oluline roll krooniliste lihasadaptatsioonide esilekutsumiseks, millisteks on lihase suurus ning jõud. Uuringud näitavad, et võrreldes üksikuid seeriaid sisaldavate treeningprogrammidega tõhustab mitmete seeriade sooritamine p70S6 kinaasi fosforüleerimist ning lihase valgusünteesi. Siit nähtub, et kõrgema mahuga treening on vajalik, et muuta hüpertroofilist vastust ulatuslikumaks (Schoenfeld et al., 2018).

Lihaskasv on hüpertroofia faasis kontrollitav translatsiooni tasandil valgusünteesi kaudu ning transkriptsiooni tasandil läbi ribosoomide RNA-de ja lihasespetsiifilise geeni aktiveerimise (Schiaffinoa et al., 2021).

mTORC1 omab keskset rolli nii valgusünteesi regulatsioonis kui ka ribosoomi biogeneesis (Schiaffinoa et al., 2021).

Lihase suuruse kasv ilma kaasneva jõu juurdekasvuta on funktsionaalselt tähtsusetu (Schiaffinoa et al., 2021).

Jõutreening võib väga hästi sobituda ka ülekaaluliste inimeste treeningplaanidesse kui peamiseks eesmärgiks on liigsetest kilodest vabanemine. Tuleb mõista, et võttes ette madala kalorsusega dieedi, ei pruugi täiskasvanute puhul 20-30% kaotatust olla rasvamass (Lopez et al., 2022). Seetõttu omab jõutreening positiivset mõju soovitud kehakoostise saavutamisel/hoidmisel.

## **4. Jõutreeningu metoodika**

Jõutreening on tõhus vahend lihashüpertroofia stimuleerimiseks ning jõunäitajate parandamiseks. Treeningu erinevate parameetritega (harjutuste valik ja järjekord, intensiivsus, maht, ajaline kestus, sagedus ning puhkeintervallid) manipuleerimine resulteerub erinevusteks mehaanilises ja ainevahetuslikus stressis (Mangine et al., 2015).

### **4.1. Treeningu intensiivsus ja maht**

Jõutreeningu planeerimise juures on kaks baasparameetrit jõutreeningu maht ja selle intensiivsus. Treeningmahu määramise juures esitame me endale küsimuse – kui palju? Milline on meie eesmärkide saavutamiseks optimaalne seeriade ja korduste arv.

Treeningu mahtu saab väljendada kui tulemit, mille kujundavad korduste arv  $\times$  seeriade arv  $\times$  tõstetud raskus. Kogenud treenijate puhul, kelle eesmärgiks on lihasmassi kasvatamine on mahu määramisel lihtsamaks ja usaldusväärsemaks meetodiks kasutada igale lihasgrupile sooritatud seeriade arvu. Eelöeldule tuginedes on treeningmahu kasvatamiseks võimalik tõsta: 1) korduste arvu konkreetses seerias/harjutuses 2) seeriade arvu ühes või enamates harjutustes 3) treeningute sagedust 4) tõstetavat raskust kui teised muutujad jäävad seejuures samaks (Benvenuti et al., 2022).

Treeningu intensiivsus kajastab seda kui suure osa me oma üldisest võimekusest harjutuse sooritamise panustame.

Jõutreeningu puhul on intensiivsuse määramise mõõtühikuks korduse maksimum (KM). See näitab kui suurt raskust suudetakse maksimaalselt tõsta ühes korduses. Kui mingit harjutust jõutakse sooritada maksimaalselt kaks korda, siis vastab intensiivsus 2KM-ile jne.

### **4.2. Liigutuste tempo**

Kahe suure, treeningu mahu ja intensiivsuse kõrval on veel teisigi muutujaid, milledega varieerimine võib viia erinevate soovitud tulemuseni. Üks nendest on liigutuste tempo korduse erinevates faasides. Üldine rusikareegel jõutreeningul on see, et harjutuste sooritamisel on kontsentiline faas kiire ning ekstsentriline aeglasem. Liigutuste tempo juures on peamiseks mõõdikuks ühe korduse ajaline kestus.

Ühe korduse kestus viitab sellele kui palju aega (sekundites) kulub antud seerias iga eraldivõetud korduse täielikuks sooritamiseks. Tihti väljendatakse seda muutujat kolme järjestikuse numbriga. Esimene näitab kontsentrilisele faasile kulunud aega, teine isomeetristfaasi üleminekul kontsentriliselt ekstsentrilisele ning kolmas number ekstsentrilise faasi pikkust (Benvenuti et al., 2022)

Siiski, tuuakse välja ka võimalus, et otstarbekas on kasutada nelja numbriga kombinatsiooni. Näiteks (2/0/3/0). Selle puhul tähendab esimene number ekstsentrilise faasi pikkust, teine on isomeetiline/üleminek, kolmas kontsentiline ja neljas isomeetiline üleminek (Wilk et al., 2021).

Lihashüpertroofiat silmas pidades ei saa eraldivõetuna soovitada kiiret ega aeglast tempot. Parima tulemuse annab aeglasemate ekstsentriliste liigutuste ja kiiremate kontsentriliste liigutuste kombineerimine.

Eriti aeglane tempo (10 sek korduse kohta) nõuab väiksemaid raskusi, mis läbi treenija saab tahtlikult tempot kontrollida, mis omakorda ei pruugi olla hüpertroofia seisukohalt optimaalne motoorsete ühikute ebapiisava rekruteerimise tõttu.

Tõendid viitavad sellele, et ühe korduse tempo teadlik alandamine pikendab TUTi (aeg pinge all) ning suurendab lihase aktiveerumist sooritatavate korduste jooksul. Hüpoteesiliselt võib öelda, et lihase aktiivsuse tõstmine ühenduses pikema TUT-iga võib positiivselt suunata rakkudevahelist anaboolset vastasmõju ning seeläbi tuua esile suurem hüpertroofiline vastus (Wilk et al., 2021).

Samas tuleb arvestada, et TUT-i tõstmine viib sama raskuse juures sooritatavate korduste arvu vähenemiseni.

Üldiselt peetakse jõutreeningute sageduse all silmas seda kui mitu korda on antud lihast treeninguga stimuleeritud nädala lõikes (Benvenuti et al., 2022).

Valikutele võib teinekord piirid seada võimalik treeningutele pühendatava aja vähesus. Ajakitsikuse korral võib treeningu tõhustamiseks lähtuda järgmistest kaalutlustest: prioritseerida bilateraalseid, mitut liigest hõlmavaid liigutusi täisamplituudiga. Lihasgrupi kohta nädalas neli või enam seeriat intensiivsuse 6-15 KM juures. Superseeriad, kahanevad seeriad ning *rest-pause* tehnika jagab tavapärase treeningule kuluva aja jämedalt kahega,

säilitades seejuures treeningmahu. Samuti vähendab treeningu ajakulu soojenduse kitsendamise harjutuste spetsiifiliseks (Iversen et al., 2021).

## 5. Jõuvõimete ja lihashüpertroofia arendamine

Juurdekasv lihasjõus võib parandada sportlikku sooritust, vähendada vigastuste riski, ta on seotud suure hulga tervise markeritega ning lisaks omab positiivset psühholoogilist mõju (Androulakis-Korakakis et al., 2020). Kogu keha lihaskonna jõu arendamise eesmärgil kasutavad kehaliselt aktiivsed inimesed, sportlased kaasa arvatud aja jooksul efektiivsust tõestanud mitme liigese harjutusi nagu jõutõmme ja kükki kangiga. Seniajani ei ole kirjanduses otseselt lahatud minimaalse treeningmahu kontseptsiooni. Selle puhul on küsimuse asetuseks – mida peab minimaalses koguses tegema, et suurendada 1KM – jõudu?

Süsteemne ülevaade (Androulakis-Korakakis et al., 2020) näitab, et üheainsa 6-12 kordusega seeria sooritamine intensiivsusel vahemikus 70-85% 1KM-ist kahel kuni kolmel korral nädalas suure pingutuse juures (kuni suutlikkuseni) võib 8-12 nädala pikkuse treeningperioodi juures jõutreenitusega meeste puhul anda tulemuseks submaksimaalse, kuid siiski märgatava kasvu küki ja rinnalt surumise 1KM tulemustes. Kuna aga uuringuid ei ole piisavalt, ei ole selge kas sarnased paranemised saavutatakse ka jõutõmbe 1KM tulemustes ning naiste ja väga treenitud jõualade sportlaste puhul (Androulakis-Korakakis et al., 2020).

Intensiivsust peetakse jõutreeningu juures neuromuskulaarset adaptatsiooni silmas pidades üheks kriitiliseks parameetriks. Seetõttu on oluline hinnata maksimaalse jõu ja lihashüpertroofia arendamiseks kasutatavaid erinevaid intensiivsusi. (Lacio et al., 2020) uuringu eesmärk oli võrrelda ilma treenituseta tervete meeste juures maksimaalse jõu ja lihashüpertroofia arendamiseks kasutatavaid erinevaid intensiivsuse tasemeid.

Uuringu kohaselt viitab kirjandus sellele, et tervete meeste puhul on maksimaalse jõu juurdekasv suurem kõrge ja mõõduka intensiivsuse juures. Lihashüpertroofia tarbeks aga võib sarnase edu ootusega kasutada intensiivsust laias vahemikus (30-90% 1KM-ist) (Lacio et al., 2021)

*American College of Sports Medicine* soovib lihashüpertroofia esilekutsumiseks jõutreeningut läbi viia intensiivsusega vähemalt 70% 1KM-ist. Intensiivsus, mis on võrdne või suurem 80% 1KM-ist on tavapäraselt soovituslikud jõu arendamiseks treenitud sportlaste puhul. Siiski võib madalama intensiivsusega treening (raskused väiksemad kui 50% 1KM-ist), sooritatuna lähedaselt kontsentrilisele suutlikkusele, olla tõhus alternatiiv traditsioonilisele kõrge intensiivsusega (võrdne või suurem 70% 1KM-ist) treeningule (Weakley et al., 2023).

Mõned teooriad toetavad korduste kontiinumit. Üheks selliseks on Henneman et al. poolt pakutud suuruse printsiip (Lacio et al., 2021). Selle kohaselt on suurema intensiivsuse rakendamine tarvilik kõrgema erutusläävega mootorsete ühikute rekruteerimiseks ning seeläbi optimaalsete lihasadaptatsioonide saavutamiseks. Teisalt pakkus Delorme, et suured raskused suurendavad maksimaalset jõudu ja võimsust ning madalad raskused parandavad lihasvastupidavust (Lacio et al., 2021).

(Lacio et al., 2021) metaanalüüs ei toonud tervete täiskasvanute puhul esile erinevusi lihashüpertroofias kõrge ja madala (80% 1KM-ist ehk 8KM vs <60% KM-ist ehk 15KM), mõõduka ja madala (60-79% 1KM-ist ehk 9-15 KM vs <60% 1KM-ist ehk > 15KM) ega kõrge ja mõõduka intensiivsusega treeningu vahel kui harjutusi sooritati arvatava suutlikkuseni. Lihassuutlikkuseni jõudmine toodi esile kui oluline tingimus, et lihashüpertroofia saavutamiseks saaks väikeste raskuste kasutamine olla suurtega võrdselt mõjus. Samas kinnitasid metaanalüütilised andmed, et optimaalseks jõu juurdekasvuks on vajalik kõrge intensiivsus (Lacio et al., 2021).

Schoenfeld et al. (2018) hindasid muutusi maksimaalses jõus ning lihashüpertroofias *soleus* (valdavalt aeglase kiududega) ning *gastrocnemius* (aeglase ja kiirete kiudude võrdne osakaal) lihases, kasutades madalat (20-30 KM) ja kõrget (6-10 KM) intensiivsust ega tuvastanud mingit täiendavat mõju lihashüpertroofiale kui jõutreeningu aluseks oli lihase kiuline koosseis (Lacio et al., 2021). Tulemused viitavad sellele, et lihashüpertroofia tundub olema sõltumatu lihase kiutüübist ning treeningu ajal rakendatud intensiivsusest seni kaua kuni seeriaid sooritatakse suure pingutusega. Samuti ei tuvastanud hiljutine metaanalüüs märgatavaid erinevusi madala ja kõrge intensiivsusega treeningu vahel tüüp I ja tüüp II lihaskiudude hüpertroofiale. Teised uuringud näitasid samuti, et treenimata meeste seas läbi viidud 10-nädalane jõutreening, mis oli sooritatud arvatava suutlikkuseni, andsid madalal ja kõrgel (30% ja 80% 1KM-ist) intensiivsusel sarnase juurdekasvu lihaskiu ristlääbilõike pindalas. Teisalt sedastasid Campos et al., et kui võrrelda vähese (3-5 KM), keskmise (9-11 KM) ja kõrge (20-28KM) korduste arvuga treeningkava, siis kolm peamist lihaskiu tüüpi (I, IIA ja IIX) suurenesid madala ja keskmise korduste arvuga gruppides, maksimaalse jõu juurdekasv oli aga suurem madala korduste arvuga grupis. (7)

Mitmed uuringud näitasid, et 1KM näitaja maksimaalseks parandamiseks on vajalik jõutreening kõrgel intensiivsusel kuigi ka treening väiksel intensiivsusel tõi juurdekasvu. Selles osas tõi hiljuti Schoenfeld et al. (2018) pakutud metaanalüüs välja, et jõutreening kõrgel ja madalal

intensiivsusel transformeerus 1KM näitaja paranemiseks vastavalt 35,4% ja 28% ulatuses. Teisalt näitasid Lasevicius et al., et madala intensiivsusega treenimisel saabus maksimaalse jõu arendamisel 6-nädalase jõutreeningu järel treenituses platoo. Lisaks ilmnes 12 nädala järel, et grupid, milles sooritati jõutreeningut kõrge intensiivsusega, näitasid madala intensiivsusega gruppide suhtes märgatavaid paranemisi maksimaalses jõus. Kuna enamik uuringuid viidi läbi mittetreenitud indiviididega, siis on alust väita, et varane treeningstaadium mõjutab peamiselt juurdekasvu motoorses õppimises ning koordinatsioonis (Lacio et al., 2021).

Enamik (Lacio et al., 2021) ülevaates sisaldunud uurimusi ei näidanud mingeid erinevusi lihashüpertroofias ja lihase paksuses kui võrdluse all oli madala, keskmise ja kõrge intensiivsusega treeningprogramm. Toome välja, et vähesed katseuurimused rakendasid lihashüpertroofia otsese histoloogilise hinnangu saamiseks biopsia tehnikat.

Treenimata meesindiviidide puhul näitasid Campos et al., et alajäsemete 6-nädalane jõutreening ei toonud madala intensiivsusega kontrollgrupis esile esile märkimisväärset kasvu IA kiutüübis, sellal kui kõrge intensiivsusega grupis oli täheldada selget juurdekasvu I, IIA ja peamiselt IIX kiutüübis. Teisalt tõendasid Mitchell et al. ja Lim et al. märkimisväärset kõigi lihaskiu tüüpide kasvu mõlema jõutreeningu modaalsuse (madal ja kõrge intensiivsus) vahel.

Hindamaks treenitusega meesindiviide, jagasid Morton et al. juhuvalikuga keskmiselt 4-aastast jõutreeningu kogemust omavad 49 noort meest 12 nädalat väldanud kogu keha hõlmavaks jõutreeninguks madala ja kõrge intensiivsusega gruppidesse. Selle uurimuse tulemused näitavad, et mõlemad intensiivsused andsid võrreldavaid tulemusi lihashüpertroofias kõikide hinnatud lihaskiutüüpide lõikes. Siiski ei ole hetkel võimalik hinnata kas iga kiutüübi hüpertroofiline potentsiaal kindlal intensiivsusel ajas kasvab või kahaneb, sest enamik teemakohastest uurimustest hõlmasid lühikest ajaperioodi.

(Lasevicius et al., 2019) uuringu eesmärk oli selgitada 8-nädalase madala ja kõrge intensiivsusega jõutreeningu mõju lihasjõule ja hüpertroofiale. Üks programm nägi ette treenimist lihassuutlikkuseni, teises programmis osalejad suutlikkuseni ei jõudnud. 8 nädalat vältavast uuringust võtsid osa 25 eelneva treenitusega meest. Harjutuseks oli ühe jala põlvesirutus ning seda viidi läbi nelja erinevat treeningprotokolli järgides: kordused kuni suutlikkuseni madalal intensiivsusel (MI-S): 34,4 kordust; kordused kuni suutlikkuseni kõrgel intensiivsusel (KI-S): 12,4 kordust; kordused ilma suutlikkuseta madalal intensiivsusel (MI-MS): 19,6 kordust ja kordused ilma suutlikkuseta kõrgel intensiivsusel (KI-MS): 6,7 kordust. Iga protokoll nägi ette kolme seeriat. KI-S ja KI-MS puhul oli kasutusel intensiivsus, mis vastas

80%le 1KM-ist, sellal kui MI-S ja MI-MS protokollis toimus treening intensiivsusel 30% 1KM-ist. Enne ja pärast treeningute lõppu hinnati lihasjõudu (1KM) ja reie nelipealihase ristläbilõike pindala. Treeningu järel teostatud mõõtmised näitasid, et muutused 1KM-is olid tuntavalt kõrgemad KI-S (+33,8%) ja KI-MS (+33,4%) gruppides võrreldes, MI-S (+17,7%) ja MI-MS (+15,8%) gruppidega. Reie nelipealihase ristläbilõike pindala suurenes märgatavalt KI-S (8,1%), KI-MS (7,7%) ja MI-S (7,8%) gruppides, sellal kui MI-MS (2,8%) grupis ei tuvastatud märkimisväärseid muutusi (Lasevicius et al., 2019).

Saame järeldada, et kui treenitakse madalal intensiivsusel, siis on kõrgel pingutustasemel lihassmassi saavutamisel suurem roll kui treeningu mahul. Kõrge intensiivsuse juures aga ei too suutlikkuseni treenimine täiendavat kasu. Jõunäitajate paranemine on ulatuslikum kui kasutatakse suuremaid raskusi (Lasevicius et al., 2019)

Seega, rääkides võrdlemisi lühikesest treeningperioodist, on treenimata ja vähese treenitusega inimeste puhul harjutuste sooritamine suutlikkuseni üks strateegia lihashüpertroofia saavutamiseks. Seda sõltumata valitud intensiivsusest. Siiski tuleb märkida, et praktilistel kaalutlustel võib olla otstarbekam sooritada harjutusi väiksemate kordustega kasutades seejuures keskmist või kõrget intensiivsust, sest madalal intensiivsusel harjutuse sooritamine arvatava suutlikkuseni tekitab suuremat ebamugavust suure korduste arvu, pikema lihaspinge all oldud aja ning pikema üldise treeningaja tõttu (Lopez et al., 2020).

Lacio et al. (2021) tõid lihassuutlikkuse esile kui olulise tingimuse, et lihashüpertroofia saavutamiseks saaks väikeste raskuste kasutamine olla suurtega võrdselt mõjus. Samas kinnitasid metaanalüütilised andmed, et optimaalseks jõu juurdekasvuks on vajalik kõrge intensiivsus (Lacio et al., 2021).

Ühismeel on selles osas, et treenimine lihassuutlikkuseni ei ole treenituseta meeste puhul maksimaalse jõu arendamisel vajalik. Siit võib järeldada, et suutlikkuspiir ei ole maksimaalse jõu suurendamisel võtmetegur. Selle hüpoteesi kinnituseks on täiendavalt vaja uuringuid treenitusega meeste seas (Lacio et al., 2021).

On mõeldav, et madala intensiivsusega jõutreening, mida sooritatakse lihassuutlikkuseni, annab tulemuseks pikema aja pinge all, mis omakorda põhjustab ulatuslikumat metaboolset stressi. Kaasuv ilming on väsimuse poolt põhjustatud liigutuste aeglustumine, mis võib suurendada

mehaanilist pinget. Tulemuseks on muutused anaboolsete signaalomadustega metaboliitides, võimaldades sellega pikas perspektiivis lihashüpertroofia tekke (Lacio et al., 2021).

Refalo ja kaasautorite (2023) olulisimate leidude kohaselt puuduvad tõendid, et jõutreeningu sooritamine lihassuutlikkuseni oleks hüpertroofiaga saavutamise seisukohalt mõjusam kui treening ilma suutlikkuspiirini jõudmata. Uuringu tulemused kajastavad suutlikkuspiiri läheduse ning lihashüpertroofia mittelineaarset suhet (Refalo et al., 2023).

Santanielo ja kaasautorite (2020) uuringu eesmärk oli võrrelda treenitud indiviidide puhul lihassuutlikkust ja jõule avalduvat mõju kui jõutreening viidi läbi kuni lihassuutlikkuseni (JT-S) ja ilma seda saavutamata (JT-MS). Katsealustele määrati ühele alajäsemele treeningprogramm, mille juures oli ettekirjutuseks suutlikkuseni jõudmine ning vastasjäsemele sarnane programm, kuid ilma suutlikkuseni jõudmiseta.

Mõlemat jalga treeniti kahel päeval nädalas 10 nädala jooksul. *Vastus lateralise* lihase ristlâbilõike pindala, pikitelje nurka (PA), lihaskimbu pikkust (FL) ning ühe korduse maksimumi (1KM) hinnati treeningute eelselt ning pärast 20. treeningsessiooni. Tulemuste saamiseks kasutati EMG signaaledastust. Märkimisväärset ja võrreldavat kasvu täheldati mõlema treeninggrupi puhul nii CSA, PA kui FL parameetrites.

Uuring näitab, et jõutreening lihassuutlikkuseni või ilma selleni jõudmata on treenitusega indiviidide puhul sarnaselt efektiivne soodustamaks juurdekasvu lihashüpertroofias, jõus, lihase pikitelje nurgas ning lihaskimbu pikkuses (Santanielo et al., 2020).

Currier' ja kaasautorite (2023) metaanalüüsis hõlmas jõu arendamise moodul 178 uurimust (osalejaid 5097, neist naisi 45%), hüpertroofia moodulis vaadeldi 119 uurimust (osalejaid 3364, neist naisi 47%). Tulemustest nähtus, et kõrge intensiivsusega (>80% ühe korduse maksimumist) treeningprogrammid olid parimad jõu arendamiseks, samas kui kõik treeningprogrammid soodustasid võrreldaval määral lihashüpertroofiat. Jõu arendamisel sisaldas optimaalne muutujate kombinatsioon kõrget intensiivsust, hulkseeriaid ning treeningsagedust kolm korda nädalas. Hüpertroofia arendamisel osutus optimaalseks koosluseks kõrge intensiivsus, mitmed seeriad ja treeningsagedus kaks korda nädalas (Currier et al., 2023).

Lopezi ja kaasautorite (2020) metaanalüüsi uuringutes osales 747 tervet meest ja naist keskmise vanusega  $23,4 \pm 3$ a. Seitseteist uurimust võrdlesid madala ja kõrge intensiivsusega treeningut.

Neli uurimust võrdlesid madala ja keskmise intensiivsusega treeningut, viis uurimust võrdlesid keskmise ja kõrge intensiivsusega treeningut ning kaks uurimust kõrvutasid madala, keskmise ja kõrge intensiivsusega treeninguid. Enamuses uurimustest olid kaasatud mehed (67,9%) ning treenimata inimesed (75%).

Keskmine treeningperioodi aeg oli  $8,9 \pm 2,1$  nädalat, mille jooksul viidi läbi keskmiselt  $24,6 \pm 7,5$  treeningsessiooni. 15 uurimust hindas hüpertroofilisi muutusi alajäsemetes, 8 uurimust muutusi ülajäsemetes. 5 uurimust hindas hüpertroofiat kogu kehas.

Alakeha lihasjõudu hinnati 20 uurimuses, ülakeha oma kaheteistkümnes. Seda tehti 1KM testiga.

Erinevatel treeningu intensiivsustel ei ole uuringute põhjal hüpertroofiat silmas pidades tulemustes olulisi erinevusi (Lopez et al., 2020).

Jõu hindamisel kasutati 1KM testi. Tulemused näitavad, et kõrge ja keskmine intensiivsus annavad lihasjõus suuremat mõju kui treening madalal intensiivsusel. Kõrge ja keskmise intensiivsuse võrdlus oli mitteoluliselt kõrge kasuks (Lopez et al., 2020).

## **6. Vabade raskustega ja jõumasinatel treenimise võrdlus**

Hästivarustatud treeningsaalides võib märgata laia amplituuga inventari, mis pakuvad treenijale võimalusi välise vastupanu ülatamiseks. Laias laastus võib need jagada kaheks – vabad raskused (tõstekang, kettad, hantlid, sangpomm jms) ning teisalt erinevatele lihasgruppidele suunatud jõumasinad.

Kui palju ja millises vahekorras treenija neid oma programmi elluviimisel kasutab taandub suures osas treenija enda maitse-eelistustele (Haugen et al., 2023). Siiski on hea teada millised potentsiaalsed suhtelised hüved (või ebasoodsatel asjaoludel – kahju) ühe või teise valikuga kaasneda võivad. Samuti huvitab meid kas valik võib viia erinevusteni hüpertroofias ja lihasjõus.

Vabade raskustega treenimise üks eksistentsiaalne eelis on see, et nendega treeningut läbi viies saame me lähedasemalt jäljendada erinevaid liigutusi nõ päris elust. Paindlike kasutusvõimaluste tõttu on treenimine vabade raskustega probleemideta teostatav kõikide kehatüüpidega inimestele (Iversen et al., 2021).

Treenija oskuste taset silmas pidades toob *American College of Sports Medicine* välja, et jõumasinal treenimine võib olla vabadest raskustest ohutum (Haugen et al., 2023).

Teatud spordialade esindajatel on treenimine vabade raskustega vältimatu. Tiptasemel tõstesportlased peavad spordiala olemusest lähtuvalt treenima vabade raskustega. Kulturistid või harrastussportlased võivad aga kasutada nii mõlemat viisi eraldivõetuna kui ka koos (Haugen et al., 2023).

Vabade raskuste ja jõumasinatega treenimise võrdluses võib olla teatud erinevus nende hormonaalses mõjus. Schwanbeck et al. (2020) uurimuses osales 46 katsealust, kellest 20 olid mehed. Treening ühes grupis vabade raskustega ja teises jõumasinaltel toimus 8 nädala vältel. Meestel, kes treenisid vabade raskuste grupis oli teiste gruppidega võrreldes suurim juurdekasv vabas testosteroonis treeningsessioonide lõppedes. Vaba kortisooli tasemes gruppidevahelisi erinevusi ei tuvastatud (Schwanbeck et al., 2020).

Schwanbeck et al. (2020) ega ka Haugen et al. (2023) ei tuvastanud lihasjõudu ning hüpertroofiat silmas pidades vabade raskustega ja jõumasinaltel treenimisel mingisuguseid märkimisväärseid eeliseid üksteise suhtes.

## 7. Adaptatsioon. Organismi vastus jõutreeningule

Muutused skeletilihase sees vastusena jõutreeningule on oluline ja ilmselt suurim adaptatsioon. Tahtlik jõusooritus ei ole aga määratud mitte ainult hõlmatud lihasmassi hulga ja kvaliteedi poolest, vaid samuti ka lihasmassi aktiveerimise määraga. On võimalik, et jõutreening põhjustab närvisüsteemis muutusi, mis võimaldavad treenijal kindlates liigutustes täielikumalt aktiveerida lihaseid ning tõhusamini koordineerida kõigi relevantsete lihaste aktiveerimist, avaldades selliselt suuremat üldist jõudu kavatsetud liigutuse suunal (Sale, 1988).

Muutused närvisüsteemis võivad samuti võimaldada jõudu avaldada kiiremini ning säilitada maksimaalset jõudu pikema aja vältel.

Adaptatsiooni jõutreeningule on üldiselt märgata juba pärast 8-12 nädalat. Mõned uuringud aga näitavad juurdekasvu lihasjõus ja lihase ristlääbilõike pindalas juba pärast 2-4 treeningnädalat. Varajane juurdekasv jõus on tõenäoliselt põhjustatud neuromuskulaarsest ja sidekoe adaptatsioonist. Varane juurdekasv ristlääbilõike pindalas võib aga viidata ajutisele tursele (Hughes et al., 2018).

Arvatakse, et esialgsed jõutreeningust tingitud muutused on seotud neuraalse adaptatsiooniga. Sellele arusaamale annavad kinnitust tõendid, mis näitlikustavad jõutreeningu järgset motoorsete ühikute adaptatsiooni (Škarabot et al., 2021).

Jõutreeningu tsükli järgselt kasvab tavaliselt skeletilihase maksimaalse jõu genereerimise võimekus.

Kui pikaajase jõutreeninguga kaasnevad morfoloogilised muutused lihases, siis esialgne (< 2-4 nädalat) kasv jõu genereerimise võimekuses on peamiselt omistatav neuraalsele adaptatsioonile (Škarabot et al., 2021).

Kuigi erinevad treeningprogrammid võivad soosida kas jõudu või hüpertroofiat, ei ole tulemused binaarsed. Teisisõnu ei saavutata ainuüksi lihaste kasvu või lihasjõu kasvu. Jõule suunatud treening annab positiivseid tulemusi nii jõus kui ka rasvavaba massi osakaalus. Samuti ei kasvata hüpertroofiale suunatud treening mitte ainult lihaseid, vaid ka lihasjõudu (Oliver et al., 2025).

Jõusooritus ei sõltu mitte ainult liigutustesse hõlmatud lihaste kvantideedist ja kvaliteedist, vaid ka närvisüsteemi võimest neid lihaseid korralikult aktiveerida. Jõutreening võib närvisüsteemis esile kutsuda adaptatiivseid muutusi, mis võimaldab treenijal konkreetsetes liigutustes aktiveerida põhiliikureid ning koordineerida paremini kõigi relevantsete lihaste aktiveerimist, rakendades suurema arvu kiudude aktiivsust soovitud liigutuse suunal (Sale, 1988).

Võistlusspordi maailmas võib paljude alade sportlaste juures täheldada kõrget lihashüpertroofiat. Näitena võib tuua tõstespordi või kergejõustikualadest kuulitõuke, kettaheite või vasaraheite. Kõik need spordialad nõuavad spetsiifilist treeningut, mille eesmärgiks on lihasvõimekuse tõstmine jõu ja plahvatuslikkuse näitajates. Treeningvahendiks on jõuharjutused, mille käigus toimuvad korduvad lihaskontraktsioonid vastupanu või raskuse ületamiseks. Sedalaadi treening viib märkimisväärse lihashüpertroofiani. Esmapilgul järgitakse sarnaseid treeningu põhimõtteid ka kulturismis. Kulturistideks treenivad sportlased arendavad läbi spetsiaalse treeningprogrammi kõrgelt hüpertrofeerunud lihased. Kui me võrdleme kulturisti ning tõstesportlast, siis palja silmaga võime nende kehaehituses täheldada nii erinevusi kui sarnasusi. Mõlemal on suur jäsemete ja keha lihasmass, mis heitealade sportlastel ning jõutõstjatel on sageli kaetud nahaaluse rasvaga, sellal kui kulturistidel eemaldab massi kogumise ja kaalu langetamise kombineerimine kogu tarbetu rasva, mis muudab lihased hästi nähtavaks. Heitealade sportlastel on sageli täheldatav mõningane parema ja vasaku poole jäsemete asümmeetria, mida ei esine kunagi kulturistidel. Kui me seejärel aga määrame kontraktiilset võimekust, mõõtes näiteks maksimaalset tahtelist kontraktsiooni (MVC), siis tõenäoliselt avastame, et treenitud heitjate tulemus on kulturistide omast kõrgem. Niisiis, kui treenereilt küsida treeningmetoodika kohta, mida järgivad kulturist ja jõutõstja, siis vastus saab olema, et see on väga erinev (Reggiani, Schiaffino, 2020).

Mõlemal puhul sooritavad sportlased mitmeid lihaskontraktsioonide seeriaid raskustega. Seejuures aga kohandatakse lõppeesmärgist lähtuvalt mahtu (treeningsessioonide arv nädalas või seeriade arv sessioonis või korduste arv seerias), intensiivsust (raskuse või vastupanu suurus) ning ajastust (ajavahemikud seeriade või treeningsessioonide vahel) (Reggiani, Schiaffino, 2020).

See tähendab, et kui eesmärgiks on hüpertroofia või jõu maksimeerimine, siis on vajalik ka vastavalt optimaalsetest treeningmeetoditest kinnipidamine. Sama küsimuse püstitus ehk siis seose määramine lihasmassi kasvatamise ning jõunäitajate parandamise vahel on lihaste bioloogias ja füsioloogias olnud aktuaalne juba palju aastaid (Reggiani, Schiaffino, 2020).

1955a avaldatud Raschi teedrajavas töös küsiti otse, et kas hüpertroofia ja jõu juurdekasvu vahel eksisteerib mingi seos? Samas pakuti vastuseks, et on vähetõenäoline, et nende vahel oleks olemas lihtne ja otsene korrelatsioon. Võtmetähtsusega arenguks selles vallas oli jõutreeningu kahe faasi tuvastamine. Esimeses faasis põhineb jõu juurdekasv neruraalsel teguritel ning teises faasis muutub lihasjõu kasvul domineerivaks asjaoluks hüpertroofia. Hilisemal ajal on siiski hüpertroofia ning kontraktiilse jõu kasvu seos kriitiliselt üle vaadatud mitmete autorite poolt. Vaidlusaluseks teemaks on see, et kas hüpertroofia on jõu kasvuks hädavajalik ning veelgi üldisem küsimus on see, et kas lihasmassi kasv on alati seotud kasvuga kontraktiilses sooritusvõimes (Reggiani, Schiaffino, 2020).

Lopez et al. (2020) uuringutes korrelatsiooni kohta treeningu intensiivsuse ning hüpertroofia ja lihasjõu kasvu vahel ilmnis kaks olulist leidu. Esiteks, treenimata ja vähese treenitusega inimestel (mitte jõusportlastel) on kasv lihashüpertroofias tõenäoliselt sarnane erinevate treeningu intensiivsuste korral kui suhteliselt lühikese treeningperioodi vältel sooritatakse harjutusi suutlikkuseni.

Kahaneva tulu adaptatsiooni printsiibi kohaselt ilmutavad treenimata inimesed suuremat edasiminekut hüpertroofias võrreldes ka nendega, kel on vaid tagasihoidlik eelnev treeningkogemus.

Teiseks, mõju lihasjõule on sõltuv intensiivsusest. Võrdlemisi lühikese treeningperioodi vältel annab kõrgem intensiivsus suuremat juurdekasvu lihasjõus (Lopez et al., 2020).

Paistab nii, et suurema jõutreeningu kogemusega (2-7 aastat) inimesed, kes siiski ei ole veel väga treenitud, vajavad kahaneva tulu printsiibist lähtuvalt sama või suurema hüpertroofilise adaptatsiooni saavutamiseks kõrgemat treeningmahtu (Lopez et al., 2020).

Treenimata harjutajad sooritavad üldjuhul jõuharjutusi madalama koordineeritusega. Sellest nähtub, et madalal intensiivsusel jõutreening võib olla piisav neuuraalsete adaptatsioonide esilekutsumiseks ning võimaldada efektiivsemat ülesandepõhist lihaste kontrolli, suurendades seeläbi maksimaalset jõudu. Peab aga märkima, et jõu genereerimise võimekus on neuuraalsete faktorite, lihasmassi ning intensiivsuse spetsiifilisuse kombineerimise tulem.

Siit tulenevalt ei ole võimalik mööda vaadata sellest, et treenimine suuremate raskustega muutub maksimaalse jõu arendamisel seda olulisemaks, mida kõrgemaks muutub inimese treenitus. Rääkides siinkohal pikast perspektiivist, võib kõrge intensiivsus olla efektiivsem

motoorsete ühikute rekruteerimise laiendamiseks ning agonistide-antagonistide kaasaktiveerimise tõhustamiseks (Lacio et al., 2021).

Mehaanilise ja metaboolse stressi kombineerimine on mõjuv stiimul lihashüpertroofia ja jõu kasvu esilekutsumiseks. On välja toodud, et kõrge mahu, keskmise kuni kõrge intensiivsusega ning lühikeste puhkeintervallidega treening on eelkõige suunatud lihashüpertroofiale. Teisalt on kõrge intensiivsuse, madala mahu ning pikkade puhkepausidega treening suunatud eelkõige jõu kasvule.

Siiski eksisteerib hüpotees, et lihashüpertroofia võib aset leida erinevaid intensiivsusi ja mahte kombineerides (Mangine et al., 2015)

Üks kitsaskohtadest on see, et enamik uuringuid keskendub hüpertroofiliste adaptatsiooni selgitamisele treenimata või mõõduka treenitusega inimeste seas. Treenimata inimesed reageerivad aktiivselt paljudele treeningstiimulitele. Hoopis vähem on võrreldud jõutreenitud inimeste seas läbi viidud kõrge intensiivsusega ja teisalt kõrge mahuga treeningprogramme. Need sooritatud uuringud on näidanud, et kõrge intensiivsusega treening on tulemuslikum jõunäitajate kasvatamisel, kõrge mahuga treening aga hüpertroofia arendamisel (Mangine et al., 2015).

Mangine et al. (2015) uurimuse peamiseks tulemuseks on see, et 8-nädalane kõrge intensiivsusega ja madala mahuga jõutreening, mida sooritatakse lühikeste puhkepausidega, annab jõutreenitud meeste puhul 1KM rinnalt surumisel ning käe rasvavaba massi kasvatamisel märgatavalt paremaid tulemusi kui seda teeb keskmise intensiivsusega ja kõrge mahuga treeningprogramm, mille juures on kasutusel lühikesed puhkepausid.

Kõrge intensiivsusega treening võib anda treenitud meeste puhul suurema stiimuli lihashüpertroofia tekkeks (Mangine et al, 2015).

Üha kasvav tõendite kogum viitab sellele, et kui madalama intensiivsusega treeningut (madalam kui 50% 1KM-ist) sooritatakse lähedaselt kontsentrilisele suutlikkusele, siis on see tõhus alternatiiv traditsioonilisele kõrge intensiivsusega (raskused suuremad kui 70% 1KM-ist) treeningule ning paljudel juhtudel võib see esile kutsuda võrreldavat või isegi suuremat füsioloogilist adaptatsiooni (Weakley et al., 2023).

Tavapärase meetodi madala intensiivsusega treeningu mõju uurimisel on kuni 30% 1KM-ist tasemel intensiivsuse rakendamine ning korduste sooritamine kuni suutlikkuseni. Uurimised on harilikult sooritanud kolm kuni neli seeriat sessioonis 8-12-nädalase ajaperioodi jooksul. Seejuures on aga tuntavaid muutusi jõus ning jalgade rasvavabas massis märgitud juba kahe nädala möödudes. Kui on võrreldud tavapärasemat kõrge intensiivsusega (80-90% KM-ist) ja madala intensiivsusega (umbes 30% KM-ist) treeningut, siis on täheldatud sarnaseid treeningust põhjustatud paranemisi keha koostises ning mõnedes neuromuskulaarse võimekuse näitajates, vaatamata märkimisväärsetele erinevustele tõstetud raskustes. Lisaks sarnasustele muutustes rasvavabas massis ning jõunäitajates, viitavad uuringud ka võrreldavatele paranemistele nii tüüp I kui tüüp II lihaskiudude ristlõike pindalal, lihaskiudude nurgas pikitelje suhtes, jõu arendamise kiiruses ning satelliitrakkude aktiivsuses. Täiendavalt kaasneb madala intensiivsusega treeninguga suurem juurdekasv kindlates mitokondrite valkudes (Weakley et al., 2023).

Arvestades madalama intensiivsusega treeninguga kaasneva lihasmassi kasvu võimalikkust, on uuritud laia spektrit molekulaarseid mehhanisme, mis toetavad skeetilihase adaptatsiooni. Müofibrillaarne vastuse kestus pikemas ajavahemikus (tinglikult 24-72 tundi) võib olla pigem määratud sooritatud harjutuste mahu kui intensiivsuse poolt. Kõrgema treenitusega inimeste puhul on vastus treeningule suurem 30% 1KM-ist juures võrreldes intensiivsusega 90% 1KM-ist kui harjutused on sooritatud kontsentrialse suutlikkuseni. Samuti tuleb märkida, et madalam intensiivsus suurema absoluutse mahu juures kutsub esile püsivat sarkoplasmaatilist valgusünteesi 24 tundi harjutuse järgselt. See leid viitab sellele, et madalama intensiivsusega treenimine võib tulemuseks anda kõrgema oksüdatiivse võimekuse ning hüpertroofia (Weakley et al., 2023).

## 8. Kokkuvõte

Uuringute tulemusel on välja kujunenud seisukoht, et kui mingil põhjusel peaks valima vaid ühe füüsilise aktiivsuse ja treeningu liigi, siis langeks valik jõutreeningule. Põhjuseks ei ole mitte üksnes võimalik juurdekasv lihasmassis ja jõus, vaid ka jõutreeningu poolt avaldatav kompleksne positiivne mõju inimese tervisele. Jõutreening soodustab hormonaalset tasakaalu, aitab aeglustada või peatada vananemisega seotud negatiivseid ilminguid inimese organismis (luuhõrenemine jms) ning on tõhus meede ka kehakaalu mõjutamisel soovitud suunas.

Mis puudutab jõu ja lihasmassi juurdekasvu, siis treeningu poolt avaldatav mõju sõltub oluliselt ka sellest, milline on inimese treenituse tase ja kui palju on ta varasemalt jõutreeninguga kokku puutunud. Kui jõutreeninguga alles alustatakse, veel õpitakse optimaalset liigutustegevust, siis sel etapil on peamised muutused seotud närvisüsteemiga, inimesel kasvab võimekus lülitada töösse rohkem motoorseid ühikuid. Selles faasis toimub närvi- ja skeletilihaskoe tegevuse kooskõlastamine. Inimene õpib sel perioodil võimalikult ulatuslikult rakendama neid ressursse, mis tal juba olemas on.

Stardipositsiooni määratlevad teatavas ulatuses geneetilised tegurid, peamiselt lihaskoe kiulise kompositsiooni näol, mis võib indiviiditi oluliselt varieeruda. Inimese skeletilihase puhul on kiutüüpse koosseisu määramisest kõneldes veel hiljutisel ajal toimunud nihkeid, mille tulemusel on inimese puhul kiired–glükolüütilised kiud klassifitseeritud IIX tüübi alla.

Skeletilihaskude on väga plastiline, võimeline erinevateks adaptatsioonideks. Need ei ole pelgalt sõltuvad kiutüübsest kompositsioonist. Teisisõnu, igal inimesel on olemas kõik võimalused oma organismi positiivseks mõjustamiseks jõutreeningu abil.

Töös on jõutreeningu meetodika all välja toodud olulisemad treeningu parameetrid ning iseloomustatud nende interaktsiooni. Kui suuri raskusi ja kui palju kordi peab tõstma soovitud tulemuste saavutamiseks?

Jõunäitajate paranemine ja lihasmassi kasv on kindlasti omavahel seotud. See side ei ole aga üksühene. Treeningu muutujaid kohandades saame me prioritseerida kas lihase kontraktilsete omaduste parandamist ja koos sellega jõu kasvu või siis lihaste mõõtmete suurenemist.

Nagu eelpool mainitud, on jätkuvalt uusi leide lihaskoe struktuursel tasandil. Niisamuti laekub uusi teaduslikke andmeid selle kohta, kuidas on võimalik oma treeningu meetodikat peenhäälestada.

Käesolevas töös on autor uurinud võimalusi skeletilihase arendamise tõhustamiseks nii struktuursel kui ka funktsionaalsel tasapinnal.

## 9. Kasutatud kirjandus

1. Androulakis-Korakakis, P.; Fisher, J. P.; Steele J. The Minimum Effective Training Dose Required to Increase 1RM Strength in Resistance-Trained Men: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2020, 50(4): 751-765
2. Benvenuti, J.; De Camargo, B.; Brigatto, F. A.; Zaroni, R. S.; Trindade, T. B.; Germano, M. D.; Tavares Junior, A. C.; De Oliveira, T. B.; Marchetti, P. H.; Prestes, J.; Lopes C. R. Manipulating Resistance Training Variables to Induce Muscle Strength and Hypertrophy: A Brief Narrative Review. *International Journal of Exercise Science*. 2022, 15(4): 910-933
3. Bernárdez-Vázquez, R.; Raya-González, J.; Castillo, D.; Beato, M. Resistance Training Variables for Optimization of Muscle Hypertrophy: An Umbrella Review. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2022, 4: <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.949021>
4. Currier, B. S.; Mcleod, J. C.; Banfield, L.; Beyene, J.; Welton, N. J.; D'Souza, A. C.; Keogh, J. A. J.; Lin, L.; Coletta, G.; Yang, A.; Colenso- Semple, L.; Lau, K. J.; Verboom, A.; Phillips, S. M. Resistance training prescription for muscle strength and hypertrophy in healthy adults: a systematic review and Bayesian network meta- analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2023, 57: 1211-1220
5. Edman, S.; Flockhart, M.; Larsen, F. J.; Apró, W. Need for speed: Human fast-twitch mitochondria favor power over efficiency. *Molecular Metabolism*. 2024, 79: <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2023.101854>
6. Faulkner, J. A.; Davis, C. S.; Mendias, C. L.; Brooks, S. V. The aging of elite male athletes: age-related changes in performance and skeletal muscle structure and function. *Clinical Journal of Sports Medicine*. 2008, 18(6): 501–507
7. Franchi, M. V.; Longo, S; Mallinson, J; Quinlan, J. I.; Taylor, T.; Greenhaff, P. L.; Narici, M. V. Muscle thickness correlates to muscle cross- sectional area in the assessment of strength training- induced hypertrophy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2018, 28: 846–853

8. Furrer, R.; Hawley, J. A.; Handschin, C. The Molecular Athlete: Exercise Physiology From Mechanisms To Medals. *Physiological Reviews*. 2023, 103: 1693–1787
9. Han Dong; Shih-Yin Tsai Mitochondrial Properties in Skeletal Muscle Fiber. *Cells*. 2023, 12(17): 2183. <https://doi.org/10.3390/cells12172183>
10. Haugen, M. E.; Vårvik, F. T.; Larsen, S.; Haugen, A. S.; van den Tillaar, R.; Bjørnsen, T. Effect of free-weight vs. machine-based strength training on maximal strength, hypertrophy and jump performance – a systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2023, 15: 103. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00713-4>
11. Hughes, D. C.; Ellefsen, S.; Baar, K. Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*. 2018, 8:a029769. DOI: 10.1101/cshperspect.a029769
12. Iversen, V. M.; Norum, M.; Schoenfeld, B. J.; Fimland, M. S. No Time to Lift? Designing Time- Efficient Training Programs for Strength and Hypertrophy: A Narrative Review. *Sports Medicine*. 2021, 51: 2079–2095
13. Lacio, M.; Vieira, J. G.; Trybulski, R.; Campos, Y.; Santana, D.; Filho, J. E.; Novaes, J.; Vianna, J.; Wilk, M. Effects of Resistance Training Performed with Different Loads in Untrained and Trained Male Adult Individuals on Maximal Strength and Muscle Hypertrophy: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021, 18(21): 11237
14. Lasevicius, T.; Schoenfeld, B. J.; Silva-Batista, C.; de Souza Barros, T.; Yui Aihara, A.; Brendon, H.; Longo, A. R.; Tricoli, V.; de Almeida Peres, B.; Luiz Teixeira, E. Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019, 36(2): 346–351
15. Létocart, A. J.; Mabesoone, F.; Charleux, F.; Couppé, C.; Svensson, R. B.; Marin, F.; Magnusson, S. P.; Grosset, J.-F. Muscles adaptation to aging and training: architectural changes– a randomised trial. *BMC Geriatrics*. 2021, 21:48. <https://doi.org/10.1186/s12877-020-02000-0>

16. Lopez, P.; Radaelli, R.; Taaffe, D. R.; Newton, R. U.; Galvão, D. A.; Trajano, G. S.; Teodoro, J. L.; Kraemer, W. J.; Häkkinen, K.; Pinto, R. S. Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic Review and Network Meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2021, 53(6): 1206-1216
17. Lopez, P. ; Taaffe D. R.; Galvao D. A.; Newton, R. U.; Nonemacher, E. R.; Wendt W. M.; Bassanesi, R. N.; Turella, D. J. P. ; Rech, A. Resistance training effectiveness on body composition and body weight outcomes in individuals with overweight and obesity across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*. 2022, 23(5): e13428. DOI: 10.1111/obr.13428
18. Mangine, J. T.; Hoffman, J. R.; Gonzalez, A. M.; Townsend, J. R.; Wells, A. J.; Jajtner, A. R.; Beyer, K. S.; Boone, C. H.; Miramonti, A. A.; Wang, R.; LaMonica, M. B.; Fukuda, D. H.; Ratamess, N. A.; Stout, J. R. The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men. *Physiological Reports*. 2015, 3(8): e12472. DOI: 10.14814/phy2.12472
19. Marcotte, G. R.; West, D. W. D.; Baar, K. The Molecular Basis for Load-Induced Skeletal Muscle Hypertrophy. *Calcified Tissue International*. 2015, 96(3): 196–210
20. Mukund, K.; Subramaniam, S. Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine. 2020, 12(1). DOI: 10.1002/wsbm.1462
21. Oliver, C.; Climstein, M.; Rosic, N.; Bony-Westphal, A.; Tinsley, G.; Myers, S. Fat-Free Mass: Friend or Foe to Metabolic Health?. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2025, 16: e13714. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13714>
22. Rahmati, M.; McCarthy, J. J.; Malakoutinia, F. Myonuclear permanence in skeletal muscle memory:a systematic review and meta-analysis of human and animal studies. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2022, 13: 2276–2297

23. Refalo, M. C.; Helms, E. R.; Trexler, E. T.; Hamilton, D. L.; Fyfe, J. J. Influence of Resistance Training Proximity-to-Failure on Skeletal Muscle Hypertrophy: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine*. 2023, 53: 649–665
24. Reggiani, C.; Schiaffino, S. Muscle hypertrophy and muscle strength: dependent or independent variables? A provocative review. *European Journal of Translational Myology*. 2020, 30(3): 9311. DOI: 10.4081/ejtm.2020.9311
25. Sale, D. G. Neural Adaptation to Strength Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1988, 20(5): 135-145
26. Santaniello, N.; Nóbrega, S. R.; Scarpelli, M. C.; Alvarez, I. F.; Otoboni, G. B.; Pintanel, L.; Libardi, C. A. Effect of resistance training to muscle failure vs non-failure on strength, hypertrophy and muscle architecture in trained individuals. *Biology of Sport*. 2020, 37(4): 333-341
27. Sartori, R.; Romanello, V.; Sandri, M. Mechanisms of muscle atrophy and hypertrophy: implications in health and disease. *Nature Communications*. 2021, 12: 330. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20123-1>
28. Schiaffino, S.; Reggiani, C.; Akimoto, T.; Blaauw, B. Molecular Mechanisms of Skeletal Muscle Hypertrophy. *Journal of Neuromuscular Diseases*. 2021, 8: 169–183
29. Schoenfeld, B. J.; Contreras, B.; Krieger, J.; Grgic, J.; Delcastillo, K.; Belliard, R.; Alto, A. Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2019, 51(1): 94-103
30. Schwanbeck, S. R.; Cornish, S. M.; Barss, T.; Chilibeck, P. D. Effects of Training With Free Weights Versus Machines on Muscle Mass, Strength, Free Testosterone, and Free Cortisol Levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2020, 34(7): 1851–1859
31. Škarabot, J.; Brownstein, C. G.; Casolo, A.; Del Vecchio, A.; Ansdell, P. The knowns and unknowns of neural adaptations to resistance training. *European Journal of Applied Physiology*. 2021, 121: 675-685

32. Talbot, J.; Maves, L. Skeletal muscle fiber type: using insights from muscle developmental biology to dissect targets for susceptibility and resistance to muscle disease. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology*. 2016, 5(4): 518–534
33. Vainshtein, A.; Sandri, M. Signaling Pathways That Control Muscle Mass. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020, 21(13): 4759. <https://doi.org/10.3390/ijms21134759>
34. Vann, C. V.; Sexton, C. L.; Osburn, S. C.; Smith, M. A.; Haun, C. T.; Rumbley, M. N.; Mumford, P. W.; Montgomery, N. T.; Ruple, B. A; McKendry, J.; Mcleod, J.; Bashir, A.; Beyers, R. J.; Brook, M. S.; Smith, K; Atherton, P. J.; Beck, D. T.; McDonald, J. R.; Young, K. C.; Phillips, S. M.; Roberts, M. D. Effects of High-Volume Versus High-Load Resistance Training on Skeletal Muscle Growth and Molecular Adaptations. *Frontiers in Physiology*. 2022, 13: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.857555>
35. Weakley, J.; Schoenfeld, B. J.; Ljungberg, J.; Halson, S. L.; Phillips, S. M. Physiological Responses and Adaptations to Lower Load Resistance Training: Implications for Health and Performance. *Sports Medicine*. 2023, 9(28). <https://doi.org/10.1186/s40798-023-00578-4>
36. Wilk, M.; Zajac, A.; Tufano, J. J. The Influence of Movement Tempo During Resistance Training on Muscular Strength and Hypertrophy Responses: A Review. *Sports Medicine*. 2021, 51: 1629–1650

## **The principles of resistance training in developing skeletal muscle hypertrophy and maximal strength**

### **Summary**

Scientific research has led to opinion that if in case of whatever reason one could only choose one type of physical exercise then resistance training would be the optimal choice. It would not only be about potential increase in muscle mass and strength, but also the positive complex impact that resistance training has on people's health and wellbeing. Resistance training promotes the hormonal balance, assists in slowing down or stopping the negative manifestations in human body that are associated with growing age (like osteoporosis etc).

Additionally, resistance training is an effective modality for controlling one's body weight.

As far as gains in strength and muscle mass are concerned, the overall training impact would to a great degree depend on individual's level of training, including her/his previous experience in strength training. If somebody is still very new to resistance training and still learning the optimal movements, then main changes are connected with the nervous system – an individual is acquiring the capability of recruiting greater number of motor units. In this phase the emphasis is on coordinating the nervous and skeletal muscle tissues. At this stage an individual is learning to deploy the resources she/he already has to the greatest possible extent.

Every individual's initial platform is to some degree determined by genetic factors, mostly in the form of muscle fiber type composition that may vary greatly from one person to another. Talking about determining the human muscle fiber type composition, even in recent times there have been some new relevant developments resulting in classifying the human fast-glycolytic fibers under the type IIx.

Human skeletal muscle tissue is capable of wide variety of adaptations. These are not barely dependent on muscle fiber type composition. In other words, every individual possesses all the necessary tools to impact their body in a positive desired way by means of resistance training. In the chapter on training methodology, the critical training variables and their interaction has been highlighted. How heavy weights and how many times should one lift to achieve the desired results?

Gains in strength and muscle mass are certainly connected. This tie is not absolute, though. By manipulating the training variables we are in position to prioritize either improving the muscle's contractile abilities and thus the gain in strength or increasing the size of muscle tissue.

As mentioned above, new findings have been coming in on muscle tissue's structural level. Similarly, new scientific data emerges about the ways of fine-tuning one's training methods. The author has investigated the ways of enhancing the properties of skeletal muscle on both structural and functional level.

## **Lihtlitsents bakalaureusetöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, KAIDO KÜLAOTS

Sündinud 28.02.1976

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu enda loodud teose „Jõutreeningu printsiibid skeletilihase hüpertroofia ja maksimaaljõu arendamisel“, mille juhendaja on Ando Pehme -

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.

Tartu, 05.05.2025