

TARTU ÜLIKOOL

Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

**Ott-Erik Kalmus**

**Treeningu ja toitumise mõju lihasvalgu sünteesile**  
**Impact of training and nutrition on muscle protein synthesis**

**Bakalaureusetöö**

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja:

Assistent, L. Medijainen (MSc)

Tartu, 2018

# SISUKORD

KASUTATUD LÜHENDID .....	3
SISSEJUHATUS .....	4
1. LIHASVALKUDE SÜNTEES JA LÕHUSTUMINE .....	5
1.1. Lihaskude sünteesi ja lõhustumise definitsioon.....	5
1.2. Meetodid lihaskude sünteesi mõõtmiseks .....	6
1.3. Lihaskude sünteesi mõjutavad signaalrajad.....	7
1.3.1. Imetajate rapamüsiiniisihthvalgu kompleks 1 .....	7
1.3.2. Aktiveeritud proteiinkinaas .....	8
1.3.3. Fosfoinositool-3-kinaas .....	8
2. TREENING JA LIHASVALGU SÜNTEES .....	10
3. TOITUMINE JA LIHASVALGU SÜNTEES .....	13
3.1. Valkude tarbimise üldised soovitusel .....	13
3.2. Asendamatu aminohapete saamine toidust .....	13
3.2.1. Leutsiin .....	14
3.2.2. Hargnenud ahelaga aminohapped.....	15
3.3. Energia saamine toidust .....	16
3.4. Insuliin .....	16
3.5. Valkude tarbimine ühel toidukorral .....	17
3.6. Treeningueelse ja -järgse tootumise mõju lihaskude sünteesile .....	19
3.7. Valkude kvaliteet .....	22
3.7.1. Valkude bioloogiline väärtus.....	22
3.7.2. Erinevate valkude seedimise kiirus ja mõju lihaskude sünteesile .....	23
KOKKUVÕTE .....	26
PRAKTILISED NÕUANDED SPORTLASTELE .....	27
KASUTATUD KIRJANUDS .....	28
SUMMARY .....	31
AUTORI LIHTLITSENTS .....	32

## KASUTATUD LÜHENDID

Akt – *protein kinase B* – proteiinkinaas B

AMPK – *activated protein kinase* – aktiveeritud proteiinkinaas

ATP – adenosintrifosfaat

BCAA – *branched chain amino acids* – hargnenud ahelaga aminohapped

DNA – desoksüribonukleiinhape

eIF – *eukaryotic initiation factor* – eukaürootne algataja faktor

MPB – *muscle protein breakdown* – lihasvalgu lõhustumine

MPS – *muscle protein synthesis* – lihasvalgu süntees

mTORC1 – *mammalian target of rapamycin complex 1* – imetajate rapamütsiinisihivalk kompleks 1

NBAL – *net muscle protein balance* – lihasvalgu tasakaal

PDCAAS – *protein digestibility corrected amino acid score* – valkude seedimise ja nendes valkudes sisalduva aminohapete väärtus

PI3K – *phosphoinositol-3-kinase* – fosfoinositool-3-kinaas

RNA – ribonukleiinhape

S6K1 – *ribosomal protein S6 kinase 1* – ribosoomne S6 kinaas 1

4E-BP1 – eukaürootne initsiatsioonifaktor 4E siduv valk 1

## SISSEJUHATUS

Skeletilihase on oluline kude, mille ülesandeks on liigutustegevuste sooritamine. Lisaks osalevad lihased valkude ainevahetuses ning nad on aminohapete ja glükogeenivarude reservuaar. Lihaskudedes toimub mitmeid protsesse, millest üheks on lihasvalgu süntees. Lihaskude süntees mõjutab peamiselt valkude hulka lihaskudedes ning meie lihaskude suurust. Sõltuvalt skeletilihase seisundist, vastutavad need inimese tervise ja heaolu eest. Et püsida terve ning füüsiliselt heas vormis, tuleb hoolitseda lihaste arengu ja ehitusliku terviklikkuse eest.

Lihaskude sünteesiprotsessi saame reguleerida teadlikult treenides ning toitudes. Ka siis, kui lihaskude ei ole eesmärgiks, tuleb teada, kuidas varustada organismi energiaga ning piisavas koguses kvaliteetse valguga, et säilitada lihaskude. Lihaskude kadu on probleemiks haiguste esinemisel, inaktiivsuse ning vananemise ajal. Lihaskude säilitamine või juurdekasv on head indikaatorid, et saame toidust vajalikus koguses energiat ning kvaliteetset valku. Enim on uuritud valkude ning aminohapete mõju lihasvalgu sünteesile ning on leitud, et just valkudest saadavad aminohapped stimuleerivad lihasvalgu sünteesi kõige laiaulatuslikumalt, seega on oluline teada, kui suurtes kogustes peaks valku tarbima.

Tänapäeval saab leida ajakirjandusest palju soovitusi treeningu ja toitumise kohta. Antud soovitusel on tihti liiga üldistatud ning need ei pruugi tagada sportlastele ammendavaid, tõendus põhiseid vastuseid. Käesoleva uurimustöö peaesmärgiks on koostada ülevaade lihasvalgu sünteesist ning selle protsessi mõjust skeletilihaste valgutasakaalule. Uurimustöös otsin vastust küsimusele, kuidas treeningu ja toitumisega saavutada optimaalne lihasvalgu süntees. Uurimustöö erinevad peatükid käsitlevad lihasvalgu sünteesi regulatsiooni, treeningu, toidukordade ajastamise ja toidust saadavate valkude mõju lihasvalgu sünteesile. Uurimustöö on koostatud teaduslikest andmebaasidest leitud teemakohaste teadusartiklite põhjal. Autorile teadaolevalt ei ole eesti keeles avaldatud põhjalikku ülevaadet lihasvalgu sünteesi regulatsioonist, mistõttu võib käesolev uurimustöö olla heaks allikaks sportlastele, treeneritele kui ka teistele tervislikust eluviisist lugupidavatele inimestele. Töös leitud tulemustest saaksid kasu nii treenijad, tipp sportlaste treenerid ning personaaltreenerid terviseklubides, kes oskaksid anda soovitusi lähtudes teaduspõhistest uuringutest.

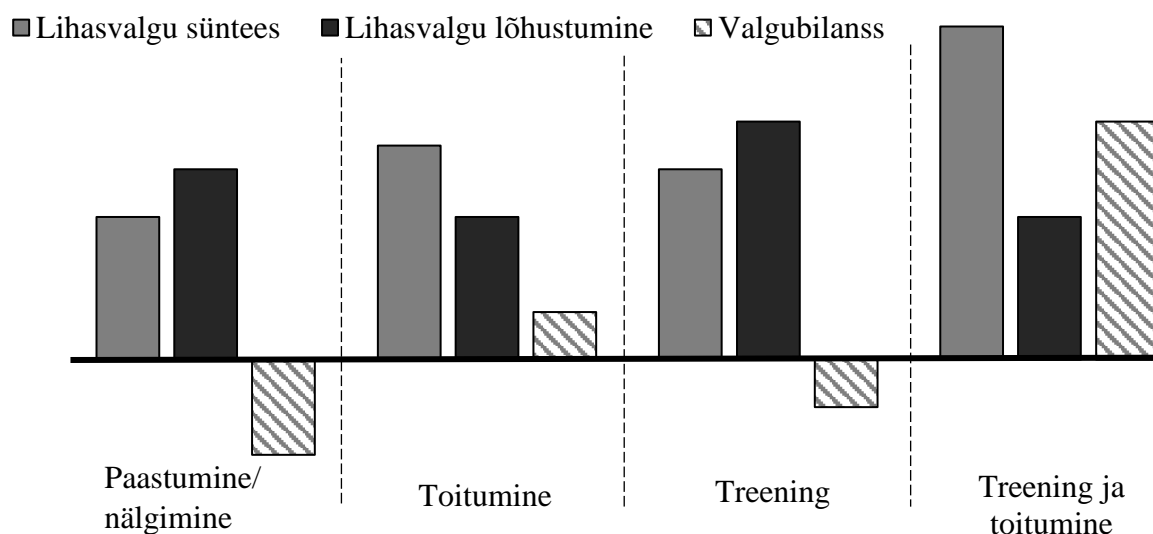
Märksõnad: lihasvalgu süntees, aminohapped, toiduvalgud, treening, valgukvaliteet.

*Keywords: muscle protein synthesis, amino acids, dietary proteins, training, protein quality.*

# 1. LIHASVALKUDE SÜNTEES JA LÕHUSTUMINE

## 1.1. Lihaskude sünteesi ja lõhustumise definitsioon

Valgusüntees on protsess, kus sünteesitakse DNA põhjal uusi valgumolekule ning milles osalevad RNA, vastavad ensüümid, ribosoomid ning aminohapped. Selle protsessi käigus toimub lihasmassi säilitamine ja/või kasvatamine (Churchward-Venne *et al.*, 2012). Valkude lõhustumine on protsess, kus toimub lihaskude lõhustumine või ümberehitamine ning selle käigus on võimalus organismil uusi valke juurde sünteesida (Tipton *et al.*, 2018). Organismile piisavat stiimulit andev kehaline aktiivsus ning toitumine mõjutavad lihaskoes toimuvaid igasuguste valkude sünteesi ja lõhustumise protsesse (Wolfe, 2006; Wu, 2016). Lihaskude all peetakse käesolevas töös silmas lihase struktuurvalke (kontraktiliseid valke), kui pole täpsustatud teisiti. Lihaskude süntees (MPS, ingl.k. *muscle protein synthesis*) ja lõhustumine (MPB, ingl.k. *muscle protein breakdown*) on vastassuunalised ja dünaamilised protsessid, mida reguleerivad nii treeningul tekkiv mehhaaniline stress kui toiduga saadud toitained (Atherton & Smith, 2012) (Joonis 1).



**Joonis 1.** Skemaatiline joonis lihaskude sünteesi, lõhustumise ja valgubilansi muutustest erinevatel perioodidel. Paastumise/nälgimise (ingl.k. *fasted state*) ehk söömata oleku perioodil ning treeningu ajal ja järgselt on organismis valgu negatiivne bilans. Seetõttu on lihaskude lõhustumine intensiivsem kui on sünteesiprotsess. Toidukorra järgselt (ingl.k. *fed state*) ning treeningu ja toitumise koosmõjul tekib organismis valgu positiivne bilans. Lihaskude süntees on intensiivsem kui lõhustumise protsess. (Autori joonis)

Skeletilihastes muutub pidevalt erinevate lihasvalkude osakaal, kus toimub konstantne lihasvalkude juurde süntees ning samaaegselt teiste valkude lõhustumine. Nende kahe protsessi omavaheline bilans näitab, kas organismis on kataboolne või anaboolne seisund. Valdavalt määrab lihasvalkude osakaalu muutusi MPS, kuna treeningu ja toitumise mõju sünteesiprotsessile on suurem võrreldes lõhustumise protsessiga (Morton *et al.*, 2015). Lihaskoe tasandil nimetatakse kataboolseks seisundiks olukorda, kus lihasvalkude lõhustumise intensiivsus on suurem võrreldes sünteesiga (Wolfe, 2017). Anaboolne seisund ilmneb siis, kui lihasvalgu sünteesiprotsess on ülekaalus (Weinert, 2009; Wolfe, 2017). Lihasmassi säilitamisel ja suurendamisel on seega oluline, et anaboolne seisund oleks võimalikult pikaajaline ning dominantne. Lihaste struktuurvalkude tasakaalu ehk NBAL (ingl.k. *net muscle protein balance*) muutus näitab, kas lihasmass antud perioodil suureneb või väheneb. Treeningu ja toitumise koosmõjul on võimalik saavutada nende kahe protsessi vahel lihasvalgu positiivne bilanss (Kumar *et al.*, 2009). Lihavalgu positiivse bilansi kestus ning ulatus iseloomustab, kui suurel määral suudab organism lihasmassi üles ehitada (Tipton, 2011). Lihasmassi juurdekasv toimub läbi struktuursete lihasvalkude sünteesi (Tipton, 2011). Muutuste esilekutsumiseks skeletilihastes peab olema ka lõhustumise tase periooditi intensiivistunud, kuna see annab eelduse vananenud ning kahjustunud lihasvalkude lõhustumiseks ning ümberehitamiseks ning skeletilihaste parandamiseks (Tipton *et al.*, 2018). Seega on lihasvalgu lõhustumine oluline säilitamiseks rakusisest aminohapete taset ning skeletilihaste valkude kvaliteeti (Churchward-Venne *et al.*, 2012). Toidukorra järgselt pidurdub MPB, kuna siis on suurenenud aminohapete ja insuliini kontsentratsioon veres, kuid ebavajalike valkude lõhustumine toimub sellegipoolest edasi (Tipton *et al.*, 2018).

## **1.2. Meetodid lihasvalgu sünteesi mõõtmiseks**

Mitmed teadlased on oma uuringutes kasutanud erinevaid meetodeid, et saada vastust küsimusele, kuidas erinevad toitumisstrateegiad ja treening lihasvalgu sünteesi ja lõhustumise protsesse mõjutavad. Tegemaks kindlaks, kumb protsess on antud ajaperioodil ülekaalus, on tehtud uuringuid nii inimeste kui ka rottidega.

Stabiilsete isotoopide meetodil (ingl.k. *stable isotope methodology*) saab määrata lihaskoes toimuvaid valkude uuenemise (ingl.k. *muscle protein turnover*) dünaamilisi muutusi (Atherton & Smith, 2012). Isotoobid on mitte-radioaktiivsed, looduslikult esinevad rasked aatomid, mis on sarnased tavalistele selle aine aatomitele, kuid neid saab eristada massi järgi. Need on omakorda sisestatud aminohapetesse, mis võimaldab jälgida lihasvalgu sünteesi lihasbiopsia teel võetud proovides (Atherton & Smith, 2012). Erinevates uuringutes on

kasutatud nii [1, 2-<sup>13</sup>C<sup>2</sup>]leutsiini, [D<sup>5</sup>], [<sup>13</sup>C<sup>6</sup>]fenüülalaniini (Atherton *et al.*, 2010b) ning d l- [<sup>2</sup>H<sub>5</sub>]fenüülalaniini (Norton *et al.*, 2009) märgistusega aminohappeid. See võimaldab mõõta nende massi kasutades mass-spektromeetriat (ingl.k. *mass spectrometric techniques*). Paraku nõuab see meetod pidevat aminohapete manustamist ning mõõta saab ainult akuutset (muutusi tundide vältel) MPS-i ning seda kontrollitud laboratoorsetes tingimustes (Atherton & Smith, 2012). Selle meetodi abil arvutatakse skeletilihastes fraktsionaalse sünteesi tase (FSR, ingl.k. *fractional synthetic rate*), mida väljendatakse protsentides tunnis (%/h). Selleks võetakse lihasbiopsia pärast märgistatud aminohapete manustamist. Seejärel määratakse tase, kui kiirelt ja suurel määral toimub skeletilihastes valkude süntees. Selle meetodiga saab mõõta kõikide lihasvalkude sünteesi taset (ingl.k. *mixed muscle proteins*) ning samas saab mõõta ka spetsiifiliste valkude sünteesi (müofibrillaarsete valkude sünteesi ja mitokondriaalsete valkude sünteesi). See meetod annab võimaluse hinnata erinevate toiduainete ning toidukoguste mõju valgusünteesile. Lisaks võimaldab nimetatud meetod välja selgitada toitumisstrateegia, mis kindlustab organismi anaboolse seisundi. Teisalt ei saa selle meetodiga mõõta valgubilanssi, kuna selleks on vaja mõõta ka valkude lõhustumise taset skeletilihastes (Wolfe, 2006).

Valgubilansi leidmiseks on uuringud kasutanud arteriaalse-venoosse vere aminohapete kontsentratsiooni mõõtmise meetodit (ingl.k. *two pool arteriovenous technique*) (Tipton *et al.*, 2018). Sünteesi ja lõhustumise taseme arvutamiseks määratakse stabiilsete isotoopidega märgistatud aminohapete kogus arteriaalsest veres, mis liigub lihastesse ning lihastest eralduv aminohapete kogus, mis liigub venoosesse verre. Kui venoosse vere aminohapete sisaldus on kõrgem, on valgubilanss negatiivne ja vastupidi (Atherton & Smith, 2012). Nimetatud meetodit kasutades saab mõõta nii valgusünteesi kui ka lõhustumist. Samas on ka sellel meetodil omad puudused. Esiteks, see meetod alahindab tõelist valkude lõhustumise taset, kuna selle meetodiga ei uurita, mis toimub lihasrakus. Selle puuduse likvideerimiseks kasutatakse ka kolme ruumi meetodit (ingl.k. *three pool arteriovenous technique*), kus võetakse lihasbiopsia, et näha, mis protsess toimub aminohapetega lihasrakus (Tipton *et al.*, 2018). Minu arvates, on need kaks meetodid parimad hindamaks treeningu ja toitumise mõju skeletilihaste ainevahetusele.

### **1.3. Lihasvalgu sünteesi mõjutavad signaalrajad**

#### **1.3.1. Imetajate rapamütsiinisihthvalgu kompleks 1**

Valgusünteesi ja lõhustumise protsesse reguleeritakse organismis läbi rakusiseste signaalradade (Aragon & Schoenfeld, 2013). Lihasvalgu sünteesi protsess saab alguse mRNA tekkimisest (Weinert, 2009). See tuleneb transkriptsiooni mehhanismist, mille käigus

sünteesitakse DNA molekulist kindla nukleotiidse järjestusega mRNA molekul. Järgmiseks etapiks on mRNA translatsioon. Signaalrajad reguleerivad mRNA translatsiooni initsiatsiooni ning elongatsiooni faasi (ingl.k. *initiation and elongation phases*) (Atherton *et al.*, 2010b; Atherton & Smith, 2012). Peamiseks signaalrajaks on imetajate rapamüsiinisihtvalgu kompleks 1 (mTORC1, ingl.k. *mammalian target of rapamycin complex 1*), mis käivitab mRNA translatsiooni (Atherton & Smith, 2012). mTORC1 indutseerib lihasvalgu sünteesi läbi mitme initsiatsioonifaktor valgu, milledeks on ribosoomne S6 proteiinkinaas 1 (S6K1, ingl.k. *ribosomal protein S6 kinase 1*), eukariootne initsiatsioonifaktor (eIF, ingl.k. *eukaryotic initiation factor*), eukariootne initsiatsioonifaktor 4 siduv valk 1 (4E-BP1, ingl.k. *4E binding protein-1*) (Norton *et al.*, 2009; Churchward-Venne *et al.*, 2012). mTORC1 aktiveerimisel fosforüülitakse S6K1 ning eIF4B (4E-BP1), mis viimase protsessi käigus inaktiveerub ja võimaldab eIF4E ja eIF4G valkudel seonduda ning moodustub initsiatsioonikompleks eIF4F (Anthony *et al.*, 2002). eIF4B fosforüülimise tõttu saab jätkuda translatsiooni käivitamise faas ning lihasvalgu süntees (Stark *et al.*, 2012). S6K1 fosforüülimise käigus tõuseb spetsiifiliste eukariootsete initsiatsioonifaktorite valkude süntees, mis osalevad lihasvalgu sünteesis (Stark *et al.*, 2012). Erinevate uuringutega on leitud kolm peamist komponenti, mis reguleerivad otse või läbi teiste signaalradade mTORC1 aktiivsust ning lihasvalgu sünteesi (Atherton *et al.*, 2010b). Nendeks on: 1) energia olemasolu rakus 2) insuliini hulk veres 3) asendamatu aminohape– leutsiin (Stark *et al.*, 2012; Weinert, 2009) (Joonis 2).

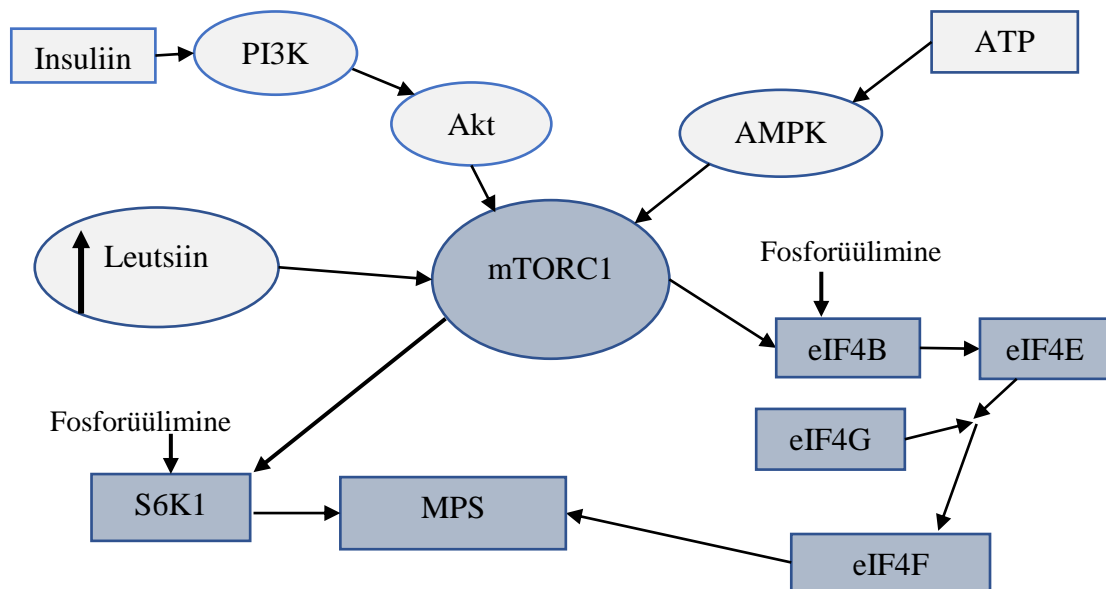
### **1.3.2. Aktiveeritud proteiinkinaas**

Glükogeen on skeletilihaste energiavaru ning selle piisav olemasolu reguleerib ühte signaalrada (Weinert, 2009). Aktiveeritud proteiinkinaas (AMPK, ingl.k. *activated protein kinase*) on raku energia sensor ning reguleerib rakkudes olevat energia kasutamist (Aragon & Schoenfeld, 2013). AMPK on negatiivne regulaator mTORC1-le. Kui rakus on piisavalt energiat, siis suurenenud ATP süntees blokeerib AMPK mõju mTORc1-le ning mTORC1 on aktiivne. Vastupidiselt, kui rakkudes on energia puudujääk, siis AMPK aktiivsus tõuseb ning mõju mTORC1-le suureneb (Weinert, 2009). Tuleb märkida, et translatsioon on energiat kulutav protsess, mis vajab neli ATP molekuli ühe aminohappe lisamiseks moodustavasse polüpeptiidahelasse (Tipton, 2011; Weinert, 2009).

### **1.3.3. Fosfoinositool-3-kinaas**

Süsivesikute manustamisel tõuseb vere insuliinisisaldus ning on täheldatud, et insuliinil on kaudne roll lihasvalgu sünteesile (Weinert, 2009). Insuliin aktiveerib fosfoinositool-3-

kinaasi (PI3K, ingl.k. *phosphoinositol-3-kinase*), mille tõttu pääseb glükoos verest lihasrakkudesse läbi glükoosi transporter 4 (GLUT4). PI3K aktiveerib omakorda proteiinkinaasi B (Akt), mis stimuleerib lihasvalgu sünteesi läbi mTORC1 (Weinert, 2009) (Joonis 2). Seetõttu võib insuliin potentsiaalselt mõjutada läbi mitmete signaalradade lihasvalgu sünteesi, kuid samaaegne asendamatute aminohapete olemasolu on endiselt vajalik (Anthony *et al.*, 2002; Weinert, 2009).



**Joonis 2.** Lihasvalgu sünteesi signaalrajad ning signaalradu mõjutavad faktorid. mTORC1 stimuleerivad leutsiin ning insuliini toimele PI3K ja Akt. AMPK stimuleerib/blokeerib mTORC1 olenevalt energia olemasolust rakus. mTORC1 aktiveerimisel fosforüülitakse S6K1 ja eIF4B, mis võimaldab eIF4E ja eIF4G seonduda ja moodustada kompleks eIF4F. Selle moodustumisel jätkub lihasvalgu süntees. (Autori joonis)

## 2. TREENING JA LIHASVALGU SÜNTEES

Eelnev peatükk on käsitlenud protsesse, mis on olulised lihasmassi suurenemisel või säilitamisel. Treening on üks peamisi regulaatoreid, mis võib iseseisvalt mõjutada lihasvalgu bilanssi (Atherton & Smith, 2012; Wilkinson *et al.*, 2008). Treeningu ajal ning treeningu järgselt toimuvad skeletilihastes valgubilansi muutused (Kumar *et al.*, 2009; Wu, 2016). Treening peab andma organismile piisava stiimuli, mistõttu hakkavad lihased koormusega kohanema (Phillips *et al.*, 2012). Valgusünteesi intensiivsuse tase sõltub treeningu mahust, intensiivsusest ning treeningu tüübist (Atherton & Smith, 2012). Valides õige treeningu mahu ja intensiivsuse, on võimalik skeletilihaste struktuurvalkude sünteesi efektiivsemalt mõjutada.

Treeningu ajal väheneb organismi lihasvalgu sünteesi tase, mistõttu tekib organismis, sh. skeletilihastes, lihasvalgu negatiivne bilanss (Kumar *et al.*, 2009; Wu, 2016). See tuleneb mTORC1 aktiivsuses vähenemisest, mis pidurdab mRNA translatsiooni protsesse. Kuna treeningu käigus väheneb lihastes ATP tase ehk treeningul kulutatakse energiat, siis AMPK aktiivsus on üks võimalik põhjus, miks mTORC1 aktiivsus väheneb (Kumar *et al.*, 2009). Mida pikemaajalisem ja suurema intensiivsusega on treening, seda rohkem organism sel perioodil energiat kulutab ning organismi valgubilanss on negatiivne.

Treeningujärgselt intensiivistuvad (kuni 48 tundi) lihastes nii lõhustumis- kui sünteesiprotsessid olenemata sellest, kas organismis on piisavalt toitaineid või mitte (ingl.k. *fed vs fasted state*) (Atherton & Smith, 2012; Churchward-Venne *et al.*, 2012; Kumar *et al.*, 2009; Tipton, 2011). Kui organismis on jätkuv toitainete puudus, siis on skeletilihaste üldine valgubilanss negatiivne. Treeningujärgselt tõuseb lihasvalgu sünteesi tase kõrgemale lõhustumisest juhul, kui organismis on tekitatud asendamatute aminohapete manustamisega positiivne valgubilanss (Wolfe, 2006). Treeningu ning 30 grammi asendamatute aminohapete juurde tarbimisel päeva jooksul võib fraktsionaalse sünteesi tase skeletilihastes 24 tunni perioodil olla ligi 40% kõrgem võrreldes olukorraga, kus 24 tunni jooksul ei tehta jõusuunitlusega treeningut ning ei manustada lisaks aminohappeid (Tipton *et al.*, 2003).

Treeningud jagunevad vastupidavus- (ingl.k. *endurance training*) ning jõutreeninguks (ingl.k. *resistance training*), millel on erinev mõju lihasvalgu sünteesile (Kumar *et al.*, 2009). Organism peab kohanema kindla suunitlusega kroonilise treeninguga ning seetõttu organism sünteesib juurde valikuliselt kindlaid lihasvalke. See tuleneb fenotüübilisest spetsiifilisest vastusest, mida treening organismile põhjustab (Wilkinson *et al.*, 2008). Jõutreening mõjutab peamiselt müofibrillaarset valgusünteesi ning taastumisperioodil (piisava koguse energia ja aminohapete olemasolul) suureneb jõud ja lihaskiudude ristlõike pindala (Tipton, 2011; Wilkinson *et al.*, 2008). Jõutreeningul peaks olema tagatud kolm mehhanismi, et tagada

lihasvalgu sünteesi intensiivistumine ning lihaskasv. Nendeks on mehaaniline pinge, lihaste kahjustamine ning metaboolne stress (Schoenfeld, 2010). Need mehhanismid saavutatakse, kui treeningul kasutatakse välist vastupanu, milleks on kasutusel spetsiaalsed vahendid (nt. hantlid, kettad, kangid). Lisaks on erinevad uuringud leidnud, et jõutreeningu intensiivsus (raskus), mida väljendatakse protsentides üks kordusmaksimumist, peaks olema vähemalt 60% (Atherton & Smith, 2012; Phillips *et al.*, 2012). Madala intensiivsusega treenides peaks olema sooritus maksimaalne, et tagada samasugune efekt jõutreeninguga. Jõutreeningu mahtu iseloomustatakse sellega, kui palju seeriaid ja kordusi tehakse kindla intensiivsusega. See tagab erinevate jõuliikide arengu. Lisaks peab treeningute maht kasvama progressiivselt ehk suurendama järk-järgult seeriade, korduste arvu ning raskust (Schoenfeld, 2010). See annab organismile pidevalt uut stiimulit, mida on vaja lihasvalgu sünteesi intensiivistumiseks. Käesoleva töö autori arvates võiksid jõutreeningutega alustavad sportlased teha vähemalt kaks jõutreeningut nädalas ning edasijõudnud vähemalt kolm jõutreeningut. Lisaks leian, et kõiki lihasgruppe võiks treenida kaks korda nädalas. Treeningul sooritada nii suure intensiivsusega harjutusi ning väikse intensiivsusega harjutusi, kuid need tuleks sooritada lihaste väsimusmurdumiseni. Samuti peab treening muutuma järk-järgult raskemaks, mis kutsuks esile muutusi skeletilihastes.

Vastupidavustreening, nagu näiteks rattasõit või jooksmine on pikaajaline ning monotoonne tegevus. Tihti kutsutakse vastupidavus treeningut ka aeroobseks treeninguks, kuna energiatootmise mehhanism toimub aeroobsel teel. Selle käigus intensiivistub mitokondriaalne valgusüntees ning toimub mitokondrite arvu suurenemine.

Valdavalt on tehtud uuringuid jõutreeningu ja vastupidavustreeningu mõjust valgusünteesile. Wilkinsoni ja kolleegide 2008. aasta uuringus võrreldi jõutreeningu ning aeroobse treeningu mõju lihasvalgu sünteesile. Katses osalejatele määrati treeningprotokoll, kus nad tegid ühele jalale jõusuunitlusega treeningut ning teisele jalale vastupidavustreeningut. Katse kestus oli 10 nädalat ning mõlemast reie nelipealihasest võeti lihasbiopsia ning määrati fraktsionaalse sünteesi tase, et leida, kuidas mõjutavad eri suunitlusega treeningud müofibrillaarset ning mitokondriaalset valgusünteesi. Uuringust selgus, et jõutreeningu järgselt olid sünteesiprotsessid suuremal määral intensiivistunud ning jõutreening mõjutas nii müofibrillaarset kui ka mitokondriaalset sünteesi protsessi. Vastupidavustreeningul müofibrillaarse valgusünteesi tõusu ei täheldatud. Lisaks leiti, et jõutreeningu järgselt oli S6K1 ning eIF4E valgusünteesi initsiatsioonifaktorite valkude aktivatsioon pikemaajalisem (Wilkinson *et al.*, 2008). Samale järeldusele jõudis ka teine uurimisrühm, et jõutreeningu suunitlusega treeningud mõjutavad skeletilihaste valgusünteesi suuremal määral võrreldes vastupidavus suunitlusega treeningutega, kuna sünteesi protsess on pikemaajalisem (Morton *et*

*al.*, 2015). Seetõttu on lihaskasvu potentsiaal suurem ning toidust saadavad aminohapped mõjutavad sünteesiprotsesse pikema perioodi vältel. Lisaks kiirendab treening verevoolu töötavates lihastes, mistõttu jõuavad toitained kiiremini skeletilihastesse (Wolfe, 2006). Teisalt nõuab pikemajalisem aeroobne treening suuremal hulgal energiat, mistõttu tõuseb AMPK tase ning pidurdub mTORC1 ning mRNA translatsioon (Wilkinson *et al.*, 2008). Lisaks on leitud, et ühe tunni keskmise tempoga jalgrattasõidul on suurenenud kogu organismi valkude lõhustumise protsess kuni 25% (Wu, 2016). Sellest tulenevalt on aeroobse treeningu järgselt sama oluline süüa valke ning energiavarude taastamiseks süsivesikuid ja rasvu. Kuigi aeroobse treeningu järgselt tõuseb lihasvalgu süntees, ei põhjusta sellise režiimiga treening lihaste hüpertroofiat. Lihasvalgu sünteesi taseme tõus skeletilihastes vastupidavustreeningu järgselt tuleneb nende valkude sünteesist, mis põhjustavad mitokondrite arvu suurenemist ning mitokondriaalsete ensüümide aktiivsuse tõusust (Kumar *et al.*, 2009).

### **3. TOITUMINE JA LIHASVALGU SÜNTEES**

#### **3.1. Valkude tarbimise üldised soovitused**

Toiduga saadud toitained on peamiseks lihasvalkude sünteesi ja lõhustumise protsesside regulaatoriks (Atherton & Smith, 2012). Lihasmass võib väheneda vale toitumise, inaktiivsuse, vananemise (sarkopeenia) ning mitmete haiguste mõjul. Nende protsesside tulemusena tekib lihaste atroofia ehk kõhetus (Phillips *et al.*, 2012). Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) poolt antud RDA (*Recommended Dietary Allowance*) soovitusete kohaselt peaks terve, vähese kehalise aktiivsusega inimene tarbima minimaalselt 0,8 grammi valku 1 kg kehakaalu kohta päevas (Wu, 2016). Tagamaks skeletilihaste funktsionaalse vajaduse ning arengu, on soovitatavad kogused mõnevõrra suuremad. Olenevalt inimeste füüsilisest aktiivsusest, peaksid väheaktiivsed inimesed tarbima valku 1 gramm, keskmise aktiivsusega 1,3 grammi ning aktiivsed 1,6 grammi 1 kg kehakaalu kohta (Wu, 2016). RDA soovitusete tagavad organismi lämmastiku tasakaalu kontrollitud energia saamisel toiduga ning selle meetodi arvutamise abil saab määrata optimaalse aminohapete vajaduse ilma, et organismis tekiks nende substraatide puudus (Layman *et al.*, 2015; Phillips *et al.*, 2012). Eesti Tervise Arengu Instituudi toitumissoovitusete kohaselt peaksid väheaktiivsed inimesed tarbima 0,8-1,5 grammi valku 1 kg kehakaalu kohta ning jõu- ja vastupidavusaladega tegelevad inimesed 1,2-1,8 grammi 1 kg kehakaalu kohta (Pitsi *et al.*, 2017). Lihaskasvu soovivad sportlased ning esteetiliste spordialade harrastajad võivad potentsiaalset kasu saada, kui tarbida vähemalt 1,6 grammi valku 1 kg kehakaalu kohta päevas (Morton *et al.*, 2015; Schoenfeld & Aragon, 2018).

#### **3.2. Asendamatute aminohapete saamine toidust**

Toidust omastatud asendamatud aminohapped on põhilised substraadid, mis intensiivistavad lihasvalgu sünteesiprotsesse ning annavad tõe lihasmassi säilitamiseks ning kasvuks (Atherton & Smith, 2012; Tipton, 2011; Wolfe, 2017). Toiduvalkude või aminohapete kohta on tehtud erinevaid uuringuid, et määrata lihasvalgu sünteesi tase (Atherton *et al.*, 2010a; Atherton *et al.*, 2010b). Aminohappeid, mida organism on suuteline ise sünteesima nimetatakse asendatavateks aminohapeteks ning need aminohapped ei mõjuta signaalradu ning seeläbi lihasvalgu sünteesi (Atherton *et al.*, 2010a). Seevastu on piisavas koguses asendamatute aminohapete olemasolu liharakus äärmiselt oluline, sest nende roll on varustada rakke substraatidega uute valkude sünteesiks ning stimuleerida lihaste sisemisi signaale. Seetõttu on oluline tarbida ööpäevas kõiki asendamatuid aminohappeid sisaldavaid toiduaineid (Phillips *et*

al., 2012). Kuna erinevate toiduainete valkude aminohappeline koostis on erinev, siis tuleks eelistada toite, mis sisaldaks suurel hulgal asendamatuid aminohappeid (Tabel 1).

**Tabel 1. Valgu, asendamatute aminohapete ning leutsiini sisaldus erinevates toiduainetes.**

Toiduaine	Valgusisaldus g/100 g tootes**	Asendamatute aminohapete sisaldus kogu valgust (%)*	Leutsiini sisaldus 100 g toitaines (%)*
Riis (kuivaine)	7,0	37,0	8,2
Oad (kuivaine)	14,0	39,0	8,4
Kaer (kuivaine)	14,0	36,0	7,7
Kartul (toores)	2,0	33,0	5,2
Piim	3,2	49,0	10,9
Liha	21,2	44,0	8,8
Muna	12,6	44,0	8,5
Vadakuvalgu pulber	82,0	52,0	13,6

\*Vliet *et al.*, 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption.

\*\*Myfitnesspal

### 3.2.1. Leutsiin

Erinevad uuringud on leidnud, et leutsiin, mis on üks kolmest hargnenud ahelaga aminohappest (BCAA, ingl.k. *branched chain amino acid*), on peamine mTORC1 mõjutav regulaator (Anthony *et al.*, 2002; Atherton *et al.*, 2010a; Norton *et al.*, 2009; Stark *et al.*, 2012). Leutsiin on unikaalne aminohape, mis suudab iseseisvalt stimuleerida lihasvalgu sünteesi läbi signaalraja aktiveerimise (Atherton *et al.*, 2010a). Juba kolme grammi leutsiini manustamisel suureneb lihasvalgu süntees (Morton *et al.*, 2015). Seevastu toidust saadud valgud, mis sisaldavad kõiki asendamatuid aminohappeid (sh. leutsiini) aktiveerivad mTORC1 sama ulatusega (Norton *et al.*, 2009). Rottidega tehtud eksperimentaaluurin näitas, et ainuüksi treeningujärgne suukaudne leutsiini manustamine suurendas valgusünteesi lähtetasemest kõrgemale 30-60 minuti jooksul ning see alanes lähtetasemele tagasi 120. minutiks (Anthony *et al.*, 2002). Kuigi leutsiini manustamisel tõusis lihasvalgu süntees kiiresti, peab kestva taseme säilitamiseks manustama koos leutsiiniga ka teisi asendamatuid aminohappeid, mis tagaksid piisava koguse substraate valkude sünteesiks (Anthony *et al.*, 2002; Wolfe, 2017). Norton ja kolleegide 2009. aastal rottidega läbiviidud uuringus leiti, et toidukord, kus kogu energiast moodustus vadakuvalk 20%, tõusis lihasvalgu süntees lähtetasemest kõrgemale 45. minutiks ning saavutas kõrgeima taseme 90. minutiks. Lihasvalgu süntees langes algtasemele tagasi 180.

minutiks. Seega süües toitu, kus 20% kogu toiduenergiast sisaldab kvaliteetset valku, on lihasvalgu sünteesi taseme tõus aeglasem, kuid kõrge tase püsib kauem, võrreldes leutsiini tarbimisega puhtal kujul. Hilisem lihasvalgu sünteesi tõus võib olla seotud teiste toitainete samaaegse tarbimisega ning organism peab aminohapete saamiseks toiduvalke lõhustama. Siiski on oluline, et leutsiin ning teised asendamatud aminohapped oleks toidukorras esindatud, et uute valkude süntees tagada (Wolfe, 2017). Uuringud on näidanud, et vadakuvalk võrreldes teraviljavalguga suurendab lihasvalgu sünteesi rohkem, sest vadakuvalgus on 10-11 grammi leutsiini 100 grammi kohta, kuid teraviljavalgus on leutsiini kogus 7 grammi 100 grammi kohta (Millward *et al.*, 2008; Norton *et al.*, 2009). Seetõttu on oluline süüa toite, kus leutsiini osakaal on suur või suurendada valku sisaldava toiduaine kogust, et saada toidust kolm grammi leutsiini (Tabel 1).

### **3.2.2. Hargnenud ahelaga aminohapped**

Tänapäeval on väga populaarseks toidulisandiks sportlaste seas saanud asendamatute aminohapete gruppi kuuluvad hargnenud ahelaga aminohapped. Isoleutsiin, leutsiin ja valiin moodustavad ligi 1/3 skeetilihaste aminohapetest (Atherton *et al.*, 2010a; Helms *et al.*, 2014). Nende tarbimise eesmärgiks on kiirendada anaboolseid protsesse, mis peaksid tagama lihaskasvu ning pidurdama lihasvalkude lõhustumist (Wolfe, 2017). Paraku pole uuringud tõestanud, et isoleutsiin ning valiin iseseisvalt mõjutaksid anaboolseid signaale ja seeläbi lihasvalgu sünteesi (Atherton *et al.*, 2010a; Wolfe, 2017). Vastupidiselt Atherton ja kolleegide ning Wolfe uuringule, leidsid Jackman ja kolleegid 2017. aasta uuringus, et BCAA manustamine stimuleeris lihasvalgu sünteesi ning mTROC1, kuid valgusünteesi taseme tõus oli väiksem, võrreldes kõikide asendamatute aminohapete manustamisega. Samas olid autorid ühel arvamusel, et manustades populaarseid BCAA sisaldavaid jooke ning toidulisandeid, kuid jättes tähelepanuta mitmekesise toitumise, ei pruugi nende lisamanustamisest nii laiaulatuslikku kasu olla. Kuna uute lihasvalkude sünteesiks on vaja kõiki asendamatuid aminohappeid, siis ainuüksi kolme aminohappe tarbimine ei võimalda uusi valke juurde sünteesida (Jackman *et al.*, 2017; Wolfe, 2017). Hargnenud ahelaga aminohapete manustamine võib pidurada lihasvalkude lõhustumist, mis on oluline lihasmassi hoidmiseks liiga madala kaloraažiga toitumisel, vananemisel või haiguste ajal (Jackman *et al.*, 2017). Paraku BCAA-d sisaldav taastusjook ei taga optimaalset aminohapete kogust, et lihasvalgu süntees oleks suurenenud ning toimuks ka samal ajal lihaste ülesehitus. Tavatoidust saadud kõik vajaminevad asendamatud aminohapped on efektiivsemad, kui eesmärgiks on tagada optimaalne lihasvalgu süntees ning lihasmassi juurdekasv pikema aja vältel. Samas sisaldavad BCAA toidulisandid suuremas koguses

leutsiini, mis on põhiline valgusünteesi aktivaator (Jackman *et al.*, 2017; Wolfe, 2017). Tarbides viis grammi BCAA-d koos kuue grammi vadakuvalguga intensiivistub lihasvalgu sünteesi võrdväärselt 25 grammi vadakuvalgu tarbimisega (Wolfe, 2017). Sellest lähtuvalt tagatakse mõlema strateegiaga kõikide asendamatute aminohapete olemasolu.

### **3.3. Energia saamine toidust**

Süsivesikud, rasvad ning asendatavad aminohapped valgusünteesi intensiivsust ei mõjuta, kuid on olulised energia saamise eesmärgil (Atherthon *et al.*, 2010; Phillips *et al.*, 2012). Olles madala energiasaldusega toitumisrežiimil, on lihasvalgu sünteesi peamine signaalrada energiapuuduse tõttu blokeeritud ning rakul pole piisavalt ATP-d uute valkude sünteesiks. Schoenfeld ja Aragon tõid välja oma 2018. aasta uuringus, et glükogeeni ebapiisava koguse tõttu lihasrakkudes häirub translatsioon ning pidurdub S6K1 aktiveerumine (Schoenfeld & Aragon, 2018). Seetõttu on piisava energia olemasolu hädavajalik, et läbi valgusünteesi saaks toimuda lihaskasv või lihasmassi säilitamine. Kuna valgusünteesi protsess on energiarikas, on selle edukaks toimimiseks vaja saada toiduga piisavalt süsivesikuid ja rasvu. Areta ja kolleegide 2014. aasta uuringus leiti, et viis päeva kestva madala kaloraažiga toidurežiim (30 kcal 1 kg rasvavaba massi kohta päevas) vähendas lihasvalgu sünteesi taset kolmandiku võrra võrreldes tasakaalustatud energiaga toitumisrežiimiga (45 kcal 1 kg rasvavaba massi kohta päevas). Kindlustamiseks positiivset ööpäevast skeletilihaste valgubilanssi, peab toidust saama energiat sama palju või isegi rohkem, kui on päevane energiakulu. Lisaks olid autorid arvamusel, et madala kaloraažiga toitumisrežiimil olles võiks päevane valgu kogus olla päeva lõikes suurem, kuna see võib paremini säilitada lihasmassi (Areta *et al.*, 2014). Helms ja kolleegide (2014) soovitude kohaselt tuleks tarbida energiadefitsiidis olles 2,3-3,1 grammi valku 1 kg kehakaalu kohta, mis kindlustab lihasmassi säilitamise, kui eesmärgiks on kaotada 0,5-1% kehakaalu nädalas.

### **3.4. Insuliin**

Trommelen ja kolleegide 2015. aasta süstemaatilisesest ülevaatest selgus, et insuliini kontsentratsiooni tõus veres intensiivistab lihasvalgu sünteesi (Trommelen *et al.*, 2015). See võib tuleneda aminohapete kiiremast transpordist verest rakkudesse. Siiski insuliinitaseme tõus iseseisvalt ei mõjuta valkude sünteesi ja lõhustumist, mistõttu ainult süsivesikute manustamisel otsene efekt puudub (Churchward-Venne *et al.*, 2012; Trommelen *et al.*, 2015). Lisaks pidurdab insuliin valkude lõhustumist, kuid mitte märkimisväärselt (Churchward-Venne *et al.*, 2012). See võib tekitada skeletilihastes lihasvalgu positiivse bilansi (Morton *et al.*, 2015). Seega on

peetud insuliini anti-kataboolseks hormooniks (Aragon & Schoenfeld, 2013). On leitud, et 45 grammi vadakuvalgu või puhtal kujul leutsiini manustamisel tõuseb insuliinitase piisavalt, et stimuleerida lihasvalgu sünteesi (Norton *et al.*, 2009; Schoenfeld & Aragon, 2018). Kui toidukorraga süüakse 25 grammi valku, siis süsivesikute lisamanustamisest põhjustatud insuliinitaseme tõus ei suurenda lihasvalgu sünteesi suuremal määral (Morton *et al.*, 2015). Võttes kokku erinevate uuringute seisukohad, on insuliini ja süsivesikute roll valgusünteesi regulatsiooni kontekstis pigem tagasihoidlik, küll aga on oluline tähtsus lihaste glükogeenivarude resünteesil, kuna glükogeeni vähesuse tõttu võib mTORC1 signaalraja intensiivsus väheneda (Churchward-Venne *et al.*, 2012; Morton *et al.*, 2015).

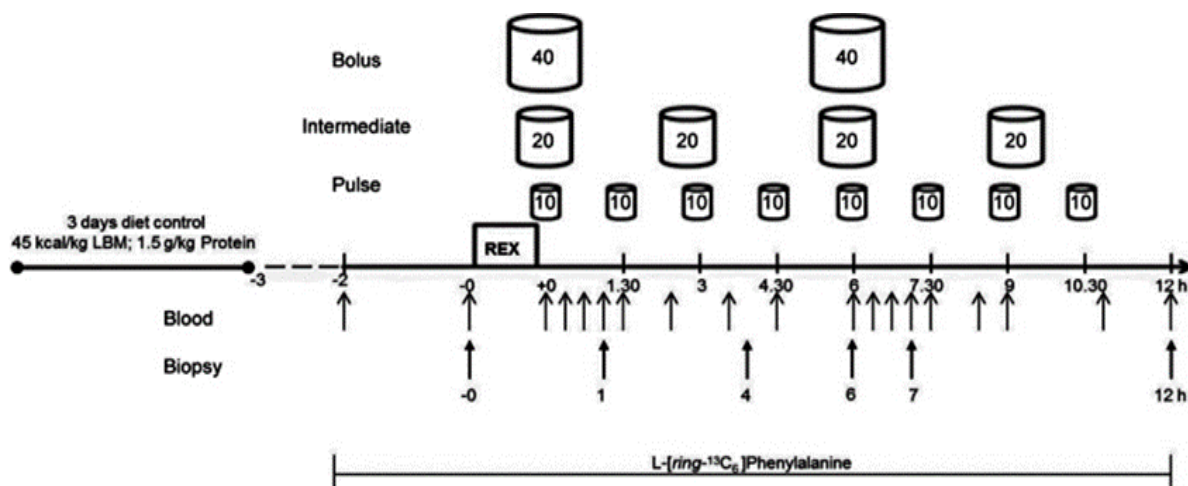
### **3.5. Valkude tarbimine ühel toidukorral**

Toidukordade õige ajastamine ning optimaalsete toidukoguste manustamine on populaarsed strateegiad, mida soovivad paljud toitumisnõustajad ning treenerid. Tipton tõdes oma 2011. aastal avaldatud ülevaatlikus uuringus, et valkude manustamise/tarbimise ajastamine on oluline, kuna toidukorra õige ajastamine treeningu suhtes võib mõjutada anaboolseid protsesse suuremal määral kui ainult treening. Iga valke sisaldav toidukord tõstab skeletilihaste lihasvalgu sünteesi taset (Anthony *et al.*, 2002). Juba kolme grammi asendamatute aminohapete tarbimine intensiivistab lihasvalgu sünteesi, kuid sünteesi taseme ulatus pole siiski piisav (Wolfe, 2006). Uuringud on leidnud, et maksimaalne lihasvalgu sünteesi taseme tõus saabub, kui manustada vähemalt 20 grammi kvaliteetset valku toidukorral (Tabel 2).

**Tabel 2. Valku kogus ning soovitatav toitumisstrateegia, mis tagab optimaalse lihasvalgu sünteesi (Autori kokkuvõtte allikatest).**

Valgu kogus	Soovitatav toitumisstrateegia	Allikas
20 g	Treeningueelne ning 1 h peale treeningut toidukord	Tipton <i>et al.</i> , 2007
20 g	Toidukord iga 3 h tagant	Areta <i>et al.</i> , 2013
0,40 g 1 kg kehakaalu kohta	Toidukord	Morton <i>et al.</i> , 2015
20-25 g	Toidukord	Tipton, 2011
30 g vadakuvalku 43 g kaseiini	Toidukord, leutsiini kogus võrdustatult	Boirie <i>et al.</i> , 1997
0,40-0,50 g 1 kg kehakaalu kohta	Üks toidukord, 3-6 toidukorda päevas	Helms <i>et al.</i> , 2014
40 g	Treeningujärgselt, kui treening hõlmab suuremas koguses lihasgruppe	Macnaughton <i>et al.</i> , 2016
0,40 g 1 kg kehakaalu kohta	Toidukord, 4 toidukorda päevas	Schoenfeld & Aragon, 2018

Lisakogus valku, mida toiduga omastatakse, oksüdeeritakse suurema tõenäosusega energia saamise eesmärgil või organism kasutab neid teistel eesmärkidel (Morton *et al.*, 2015; Schoenfeld & Aragon, 2018). Seda seletatakse uuringutes lahti nn. „*muscle full*“ efektina, kus suuremas koguses toidust saadud aminohapped ei stimuleeri lihasvalgu sünteesi (Atherton *et al.*, 2010b). Samas uuringus täheldati, et 48 grammi vadakuvalgu manustamisel tõusis lihasvalgu süntees 45-90 minutit pärast manustamist maksimaalsele tasemele ning seejärel langes 180. minutiks manustamiselele tasemele. Lihasrakkude sisene asendamatute aminohapete ning leutsiini tase oli jätkuvalt kõrge (Atherton *et al.*, 2010b). Kuna lihasvalgu süntees on kõrgendatud tasemel kuni kolm tundi peale söögikorda, siis väiksemas ajaraamis valkude manustamine lisakasu ei taga. Võttes arvesse erinevaid uuringuid, soovatakse tarbida 0,40-0,55 grammi valku ühe kilogrammi kehakaalu kohta toidukorral (Morton *et al.*, 2015, Schoenfeld & Aragon, 2018). Korrutades selle vähemalt nelja toidukorraga päevas, peaks 80 kg kaaluv mees saama toiduga valku 128-176 grammi päevas, et tagada maksimaalse lihasvalgu süntees. Areta ja kolleegide 2013. aasta uuringus leiti sama efekt, kui katseisikud manustasid iga kolme tunni järel 20 grammi valku (neli toidukorda) ning treeningujärgsel 12 tunnise perioodi vältel oli lihasvalgu süntees intensiivsem võrreldes teiste katseisikutega, kes manustasid vastavalt 8 x 10 grammi iga 1,5 tunni järel ning 2 x 40 grammi valku 6 tunni järel (Areta *et al.*, 2013) (Joonis 3).



**Joonis 3.** Toidust saadava valgu manustamise ajastamise mõju lihasvalgu sünteesile. *Bolus* = grupp, kes manustas 2 x 40 g valku koheselt peale jõutreeningut (REX) ning 6 h peale treeningut. *Intermediate* = grupp, kes manustas 4 x 20 g valku iga 3 h tagant. *Pulse* = grupp, kes manustas 8 x 10 g valku iga 1,5 h tagant. Lihasbiopsia võeti enne treeningut ning peale treeningut ühe, nelja, kuue, seitsme ja kaheteistkümmne tunni järel. (Allikas: Areta *et al.*, 2013)

Eksperimendi päevale eelnes kolme päevane toitumisrežiim, kus katses osalejad said toiduga 45 kcal 1 kg rasvavaba massi kohta energiat ning 1,5 grammi 1 kg kehakaalu kohta valku päevas. Uuringu päeval manustasid katses osalejad 12 tunni perioodil vaid vadakuvalku, mitte tavatoitu, kus on esindatud ka teised toitained (süsivesikud + rasvad). Uuringu puudusena võib välja tuua, et päevane valgukogus (80 grammi valku) on optimaalne vaid väheaktiivsetele, 70-80 kg kaaluvatele inimestele ning selline valgu kogus ei pruugi tagada lihasmassi juurdekasvu. Seetõttu ei saa anda sellest uuringust lähtuvaid kindlaid toitumissoovitusi, kuna igapäeva elurutiinis tarbitakse ka tavatoitu.

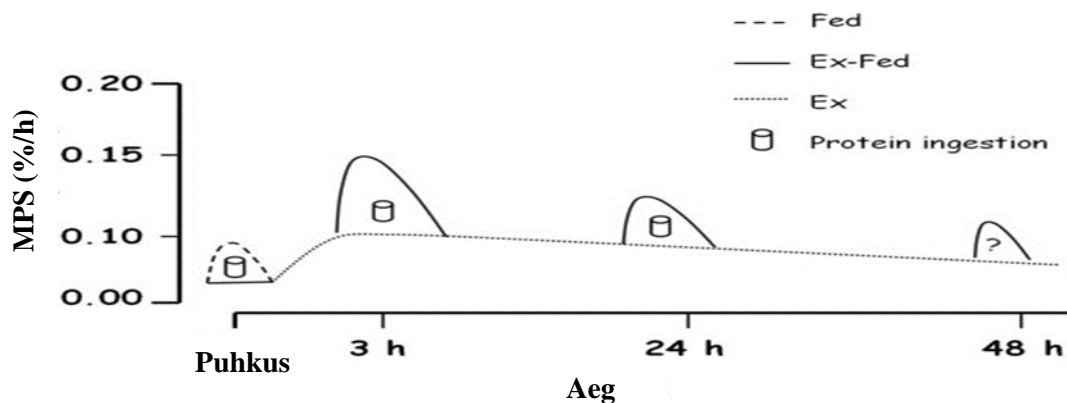
### 3.6. Treeningueelse ja -järgse toitumise mõju lihasvalgu sünteesile

Uurijad on palju tähelepanu pööranud treeningueelsele (viimane toidukord enne treeningut) ning -järgsele (esimene toidukord peale treeningut) toitumisele, kuna treeningujärgselt on nii valkude sünteesi kui lõhustumise protsessid intensiivistunud. Toidukorrad, mis on ajastatud vastavalt treeningule, võivad potentsiaalselt veelgi positiivsemalt mõjutada lihasvalgu bilanssi (Atherton & Smith, 2012). Käesoleva töö autori arvates on treeningueelne toitumine oluline, kuna see tagab parema sooritusvõime. Treeningjärgne toitumine aitab aga treeningul lõhutud struktuure taastada.

Aragon & Schoenfeldi 2013. aasta uuringus toodi välja kolm tegurit, miks peetakse treeningujärgset toitumist oluliseks. Esimeseks on glükogeeni varude taastamine. Jõusuunitlusega treeningul kasutatakse valdavalt organismis saada olevat glükoosi, mille reserv paikneb skeletilihastes ning maksas (Aragon & Schoenfeld, 2013). Teiseks, süsivesikute

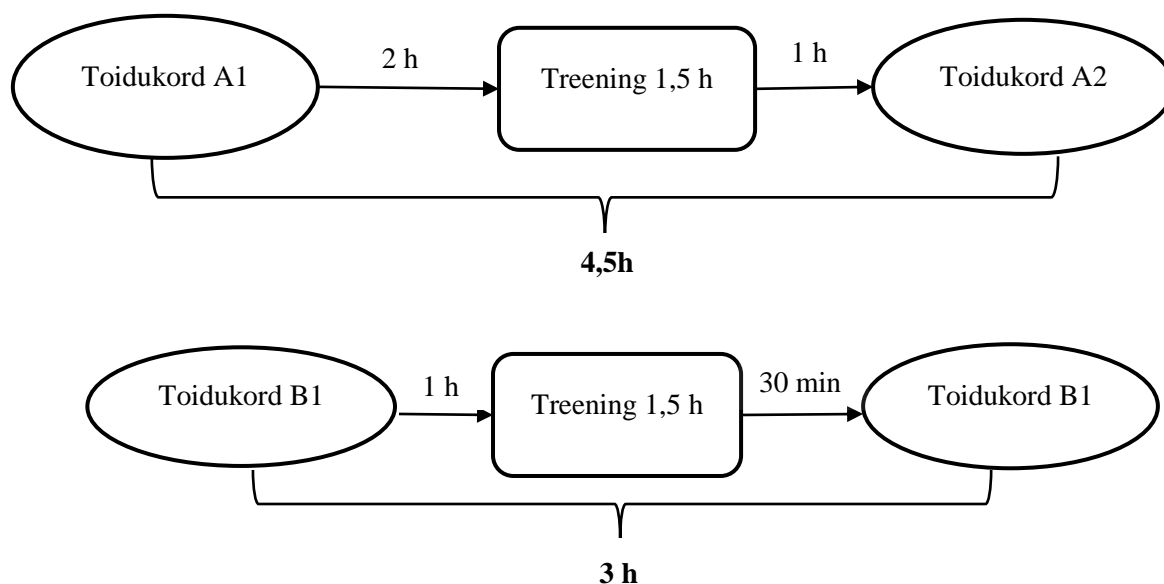
tarbimine treeningujärgselt pidurdab lihasvalkude lõhustumist. Seetõttu saab olla treeningujärgselt organismis seisund, kust lihasvalgu sünteesi protsess on intensiivsem kui lõhustumine (Aragon & Schoenfeld, 2013). Kui treeningujärgselt on lihasrakus vähe energiat, siis tõuseb AMPK aktiivsus ning mTORC1 signaalrada on blokeeritud (Weinert, 2009). Kuna treeningujärgne ajaperiood on periood treeningust järgneva treeninguni, siis autorid ei ole leidnud piisavalt tõendeid, et jõutreeningu järgselt annaks kohene süsivesikute manustamine märkimisväärset kasu (Aragon & Schoenfeld, 2013). Vastupidavustreeningutega tegelevatel sportlastel ning mitme treeninguga päevadel on kohene süsivesikute tarbimine olulisem. Täieliku glükogeenivarude resünteesi tagab ka piisavas koguses süsivesikute tarbimine 24-tunnisel perioodil (Aragon & Schoenfeld, 2013; Helms *et al.*, 2014).

Treeningujärgse toitumise kolmandaks teguriks on lihasvalgu sünteesiprotsessi intensiivistamine. Treeningujärgne kohene valgu tarbimine on sportlaste seas muutunud väga populaarseks strateegiaks (Aragon & Schoenfeld, 2013). On laialdaselt levinud arusaam, et kui treeningujärgselt ei manustata koheselt valku, siis treeningust saadav kasu on poolik või olematu. Selleks on tehtud palju uuringuid, et leida, kas on olemas selline lühiajaline „anaboolne aken“ (ingl.k. „*anabolic window*“). Paraku pole uuringud seda suutnud veel tõestada, et lühiajaline „anaboolne aken“ eksisteerib. Erinevad uuringud on leidnud, et kuni 48 tundi pärast treeningut on lihasvalgu süntees endiselt intensiivistunud (Helms *et al.*, 2014; Tipton, 2011; Wolfe, 2006; Wu, 2016). Kui „anaboolne aken“ eksisteerib, siis perioodi kestus on ligi 48 tundi ning sellel ajaperioodil on võimalik piisava koguse toidust saadud energiaga ning asendamatute aminohapetega mõjutada laiaulatuslikumalt lihasvalgu sünteesi (Churchward-Venne *et al.*, 2012). Mida varem süüakse valku sisaldav toidukord treeningujärgselt, seda suurema ulatusega võib lihasvalgu süntees siiski esineda (Joonis 4).



**Joonis 4.** Varasemalt sooritatud jõutreeningu järgselt valku sisaldavate toidukordade mõju lihasvalgu sünteesile. Valgu manustamine 3 h, 24 h ning 48 h peale jõutreeningut intensiivistab lihasvalgu sünteesi. Kõikidel perioodidel sai kasu lisamanustamisest, mistõttu „anaboolne aken“ võib ulatuda isegi 48 h peale treeningut. **Fed** = valgu manustamisest intensiivistunud MPS tase; **Ex-Fed** = treeningujärgselt valgu manustamisest intensiivistunud MPS tase; **Ex** = treeningu järgselt intensiivistunud MPS tase (Allikas: Churchward-Venne *et al.*, 2012 järgi)

Treeningueelne toidukord võib mõjutada ka treeningujärgset toidukorda. Erinevad uuringud on võrrelnud, kuidas mõjutab treeningueelne või -järgne valkude tarbimine lihasvalgu sünteesi. Tipton ja kolleegide 2007. aasta uuringus selgus, et statistilist erinevust lihasvalgu sünteesile ei leitud, kui võrreldi 20 grammi vadakuvalgu tarbimist treeningueelselt või üks tund treeningujärgselt. Seega tarbides treeningueelselt vähemalt 20 grammi vadakuvalku, on tagatud ka treeningujärgne lihasvalgu positiivne bilanss. Treeningujärgselt kohene valkude tarbimine ei ole oluline, kui treeningueelsel (üks kuni kaks tundi enne treeningut) toitumisel tagatakse valgusünteesi taseme tõus, mis erinevate uuringute põhjal püsib 120-180 minutit (Aragon & Schoenfeld, 2013; Norton *et al.*, 2009). Treeningujärgne toidukord võib jääda kahe tunni sisse pärast treeningut. Kui aga treeningut tehakse ilma valke sisaldava treeningueelse toidukorrata, siis tuleb koheselt pärast treeningut manustada 20-40 grammi valku. See hoiab valgusünteesi taseme lõhustumise tasemest kõrgemal. Kindlustamaks lihasvalgu sünteesi taseme tõusu treeningueelsel ja -järgsel perioodil, võiks treeningueelne ning -järgne toidukord sisaldada 20-40 grammi kvaliteetset valku olenevalt vanusest ning kaks toidukorda võiks jääda 3-4 tunni vahele (Joonis 4). Kui toidukord on võrdlemisi suur ning toidukorras on esindatud kõik makrotoitained, siis toidukordade vahe võib olla ka 4-5 tundi (Aragon & Schoenfeld, 2013) (Joonis 4).



**Joonis 4.** Toidukordade ajastamine sõltuvalt treeningust ning „muscle full“ efektist. Toidukorrad A1 ja A2 on suuremad toidukorrad, mistõttu treeningueelne ja -järgne toitumine võib olla treeningust ajaliselt kaugemal (4,5 h toidukordade vahe). Toidukorrad B1 ja B2 on väiksemad vahepalad, mistõttu on need treeningu suhtes ajastatud lähemale (3 h toidukordade vahe). Treeningu kestus on 1,5 h. (Autori joonis)

Eksisteerib ka seisukoht, et ühe toidukorraga saadava valgu vajadust mõjutab treeningu iseloom (maht, intensiivsus, terve keha vs kindlate lihasgruppide treening). Jõutreening, kus treenitakse suuri lihasgruppe (nii ülakeha kui alakeha lihased) mõjutab suuremal hulgal lihaseid. Kui treenitud on suuri lihasgruppe, tuleb lihasvalgu sünteesi tõstmiseks manustada treeningujärgselt valku 20 grammi asemel 40 grammi (Macnaughton *et al.*, 2016). Macnaughton ja kolleegide 2016. aasta eksperimentaaluuringus täheldati, et suurema lihasmassiga sportlased ei vaja suuremas koguses valku, et intensiivistada lihasvalgu sünteesi, vaid pigem määrab valguvajaduse treeningu iseloom. Samal arvamusel olid ka Phillips ja kolleegid, kes järeldasid, et valgu kogus ning lihasvalgu sünteesi intensiivsus sõltub treeningul kaasatud lihaskiudude arvust (Phillips *et al.*, 2012).

### 3.7. Valkude kvaliteet

#### 3.7.1. Valkude bioloogiline väärtus

Lisaks toidukordade ajastamisele ja tarbitud valgu kogustele on olulise tähtsusega erinevate valkude kvaliteet. Mitmed uuringud on kajastanud erineva kvaliteediga valkude mõju organismile (Stark *et al.*, 2012). Valkude kvaliteeti kirjeldatakse kui toidust saadud valkude omadust mõjutada erinevaid füsioloogilisi protsesse pärast nende seedimist (Hoffman & Falvo, 2004; Millward *et al.*, 2008). See tuleneb erinevate toiduvalkude aminohappelisest koostisest, valkude seedimise kiirusest ning valkude bioloogilisest väärtusest (Hoffman & Falvo, 2004).

Valdav enamus uuringuid on võrrelnud vadakuvalgu, kaseiini ning sojavalgu erinevusi. Need valgud sisaldavad kõiki asendamatuid aminohappeid ning seetõttu on need hea kvaliteediga valgud (Stark *et al.*, 2012). Paraku pole palju uuringuid, mis võrdleksid erinevate taimset päritolu ning loomset päritolu valke sisaldavate toiduainete mõju lihasvalgu sünteesile, mistõttu on hinnatud vaid valkude kvaliteeti. Neid tulemusi arvesse võttes, võivad eri tüüpi valgud potentsiaalselt ka lihasvalgu sünteesi erinevalt mõjutada (Millward *et al.*, 2008).

Valkude bioloogiline väärtus näitab, kui efektiivselt suudab organism kasutada toidust saadud valke (Stark *et al.*, 2012). Selleks hinnatakse toidu valkudest saadud lämmastikukogust ning seda kui palju jõuab sellest kogusest kudedesse. Loomset päritolu valgud (muna, piimatooted, liha, kala) on täisväärtuslikud, kuna need sisaldavad kõiki asendamatuid aminohappeid. Taimset päritolu valkudes on enamasti üks või mitu asendamatuid aminohappeid puudu (Hoffman & Falvo, 2004).

PDCAAS (ingl.k. *protein digestibility corrected amino acid score*) ehk valkude seedimise ja nendes sisalduvate aminohapete väärtuse skaala arvutamine on meetod, millega hinnatakse toiduaines sisalduva valgu mõju anaboolsetele protsessidele organismis. See meetod võtab arvesse aminohapete sisalduse ning seedimise biokineetika ning väljendatakse arvulise näitajana nullist üheni (Vliet *et al.*, 2015). Loomsetel toitudel on kõrge PDCAAS väärtus (0,9 kuni 1). Kõrgemad väärtused on munal, lihal, lehmapiimal. Lisaks on kõrge väärtus ka taimset päritolu sojal (0,91). Täistera nisu, kaera ning herne väärtus jääb 0,45-0,67 vahele, seetõttu on taimseid valke sisaldavad toiduained väiksema PDCAAS väärtusega (Vliet *et al.*, 2015).

### **3.7.2. Erinevate valkude seedimise kiirus ja mõju lihasvalgu sünteesile**

Valkude seedimist kirjeldatakse kui valkude lõhustumist aminohapeteks ning imendumist seedesüsteemist vereringesse (Vliet *et al.*, 2015). Mida suurem on erinevate toiduvalkude imendumise kiirus, seda olulisemal määral võib see mõjutada lihasvalgu sünteesi, valkude lõhustumist ning organismi varustamist aminohapetega (Bilsborough & Mann, 2006). Eriti oluline on see sportlastel, kelle eesmärk on võimalikult kiiresti tagada positiivne bilanss lihasvalgu sünteesi ja lõhustumise vahel. Eri valkude seedimise kiirus võib olla 1,3-10,0 grammi tunnis (Bilsborough & Mann, 2006). Näiteks on imendumise kiirus keedetud ja toorel munal erinev, vastavalt 2,9 g/h ning 1,4 g/h (Bilsborough & Mann, 2006). Erinev seedimise kiirus mõjutab plasma aminohapete kontsentratsiooni ning seeläbi lihasvalgu sünteesi (Boirie *et al.*, 1997; Vliet *et al.*, 2015). Näiteks lehmapiima valkudest moodustab 80% kaseiin ja 20% piimaseerumi- ehk vadakuvalgud. Vadak on juustu ja kohupiima valmistamise kõrvalproduktiks. Viimaste aastate trend on see, et varem peamiselt loomasöödaks läinud

vadakust võetakse välja valgud ning kasutatakse neid inimestele mõeldud toitude ja lisandite valmistamiseks (nt. valgukonsentraadid, ricotta-tüüpi kohupiim). Nii kaseiin kui vadakuvalk on väga kõrge bioloogilise väärtusega loomset päritolu valgud (Stark *et al.*, 2012). Boirie ja kolleegide 1997. aastal läbi viidud uuringus võrreldi kaseiini ja vadakuvalgu mõju lihasvalgu sünteesile. Uuringus kasutati märgistatud L-[1-<sup>13</sup>C]leutsiiniga tähistatud piimavalke (kaseiini ja vadakuvalku). Vadakuvalku peetakse kiiresti imenduvaks valguks, mille imendumise kiirus on umbes 10 grammi tunnis (Bilsborough & Mann, 2006). Seevastu kaseiin on aeglaselt imenduv valk, mille imendumine on kuus grammi tunnis (Bilsborough & Mann, 2006). Boirie uuringus tarbisid mõlemad katses osalenud grupid võrdses koguses valgust saadud leutsiini. Leutsiini kogus 100 grammi kohta on vadakuvalgus 11% ning kaseiinil 8%. Seega pidid kaseiini manustanud grupp tarbima 30 grammi asemel 43 grammi valku. Uuringust leiti, et vadakuvalku tarbinud grupil tõusis aminohapete kontsentratsioon plasmas maksimaalse tasemeni 100. minutil ning 300. minutiks oli langenud tagasi lähtetasemeni. Kaseiini manustanud katseisikutel oli aminohapete kontsentratsiooni tõus aeglasem ning ei ulatunud nii kõrge tasemeni (236% vs. 77% üle lähtejoone) võrreldes vadakuvalguga. Kaseiini manustanud grupil säilis kõrge taseme tase ka 300 minutit peale manustamist. Uuringust järeldati, et suurem valgukogus ei taganud kiiremat aminohapete kontsentratsiooni tõusu plasmas. Märkimisväärset vahet lihasvalgu sünteesile ei täheldatud (Boirie *et al.*, 1997). Imendumise kiirus võib erineda, kui tarbida valke koos rasvade või süsivesikutega, kuna sellisel juhul on seedimise aeg pikem. Peale kehalist koormust võiks tarbida vadakuvalku, kuna aminohapped jõuavad kiirema imendumise tõttu rakkudesse (Morton *et al.*, 2015). Vastupidiselt, kaseiini võiks tarbida perioodidel, kus ollakse mitmeid tunde söömata ning on vaja säilitada pikemaajalisem aminohapete olemasolu organismis (Morton *et al.*, 2015). Kaseiini tarbides tuleks suurendada kogust, kuna leutsiini tase on väiksem võrreldes vadakuvalguga, mille ebapiisav kogus võib vähendada kaseiini positiivseid mõjusid. Samal arvamusel olid Hoffman ja Falvo enda 2004. aasta uuringus, kes tõdesid, et vadakuvalgust saadud aminohapete kiirem seedimine tõstab kiiremini aminohapete kontsentratsiooni veres ja see omakorda käivitab lihasvalgu sünteesi. Vastupidiselt vadakuvalgul on kaseiini mõju lihasvalgu sünteesile aeglasem, kuid pikemaajalisem (Hoffman & Falvo, 2004). Morton ja kolleegide (2015) uuringus anti soovitus tarbida kaseiini 0,6 g 1 kg kehakaalu kohta toidukorral. Sellest tulenevalt on oluline manustada erinevates olukordades kindlaid valke sisaldavaid toiduaineid, mis tagaks meile optimaalse valgusünteesi protsessi ja anaboolse seisundi organismis.

Taimset päritolu valke sisaldavate toiduainete potentsiaal mõjutada skeletilihaste anaboolseid protsesse võib olla väiksem, kuna nende imendumine seedesüsteemist vereringesse on teistsugune (Vliet *et al.*, 2015). See võib tuleneda sellest, et esiteks puudub üks või mitu

asendamatu aminohape, teiseks on erinevate asendamatu aminohapete sisaldus taimset päritolu toiduainetes „ebatasakaalus“, mistõttu ei jõua väiksema kontsentratsiooniga aminohapped vereringesse (Schoenfeld & Aragon, 2018; Vliet *et al.*, 2015). Tujioka ja kolleegide 2011. aasta uuringus võrreldi kaseiini, nisu- ning munavalgu sisaldavat dieeti leidmaks erinevat päritolu valkude mõju urea sünteesile. Kümme päeva kestnud uuringus jagati rottid kolme gruppi ning grupid tarbisid vastavalt kaseiini-, munavalgu- ning nisuvalgupõhist aminohapete dieeti. Fraktsionaalse sünteesi taseme mõõtmisel kasutati isotoobiga märgistatud fenüülalaniini. Tulemustest selgus, et nisuvalgu dieedil olnud rottidel oli valgusüntees väiksem, urea süntees suurem ning katse lõpus oli nende kaalutõus väiksem võrreldes muna ja kaseiini tarbinud rottidel (Tujioka *et al.*, 2015). Suurem urea süntees võib viidata sellele, et vähem toidust saadud aminohappeid jõuab vereringest kudedesse ning valgusüntees intensiivsus on väiksem (Vliet *et al.*, 2015).

Lisaks on leitud, et 158 grammi väherasvast (4 g rasva 158 g kohta) liha, mis sisaldas 30 g valku tõstab MPS maksimaalsele tasemele kaks tundi peale söömist ning on viis tundi peale söömist endiselt kõrgemal lähtetasemest (Burd *et al.*, 2015). Samas uuringus leiti, et liha seedimise ja imendumise kiirus on võrreldes piimavalguga kiirem, kuna leutsiini ning aminohapete kontsentratsiooni tõus saabus varem. Statistiliselt olulist erinevust lihasvalgu sünteesile liha- ja piimavalgu vahel siiski ei leitud.

## KOKKUVÕTE

Eksperimentaaluuringute ning ülevaateartiklite tulemusi arvesse võttes tuli välja, et laiaulatusliku lihasvalgu sünteesi protsessi intensiivistumise tagab treeningu ja toitumise koosmõju. Käesolevas bakalaureusetööst selgus, et lihasvalgu sünteesi regulatsioon rakutasandil on keeruline protsess ning seda protsessi reguleerivad erinevad signaalrajad. Peamiseks signaalrajaks on mTORC1, mis indutseerib lihasvalgu sünteesi läbi mitme initsiatsiooni faktorvalkude. mTORC1 reguleerivad peamiselt toidust saadud asendamatud aminohapped ning kõige laiaulatuslikuma efekti tagab leutsiin. Lisaks on oluline energia saamine toiduga, kuna energiapuuduse tõttu on need signaalrajad blokeeritud ning uut valkude süntees ei saa toimuda. Seetõttu peab toidust saama piisavas koguses kõiki asendamatud aminohappeid, leutsiini ning energiat.

Lihavalgu sünteesi mõjutavad nii vastupidavus- kui ja jõutreening. Eeskätt mõjutab müofibrillaarsete valkude sünteesi jõutreening, mille tulemuseks on lihaskasv. Muutuste esilekutsumiseks skeetilihases peab jõutreeningul kasutama erinevaid raskusi ning suurendama treeningumahtu järk-järgult.

Valkude tarbimine on päeva lõikes oluline, kuna 48 tundi pärast treeningut on lihasvalgu süntees endiselt intensiivistunud. Kehaliselt aktiivsed inimesed võiksid tarbida päevas 1,2-1,8 grammi valku 1 kg kehakaalu kohta. Maksimaalse lihasvalgu sünteesi tagab toidukorraga saadav 20-40 grammi valku, kusjuures kõrgendatud tase püsib organismis kolm tundi. Toidukordade arv päevas oleneb peamiselt inimese igapäeva rutiinist, kuid 0,4 grammi 1 kg kehakaalu kohta valku sisaldavaid toidukordi võiks olla neli kuni kuus.

Liiga väikeses ajaraamis ning suurtes kogustes valkude tarbimine lihasvalgu sünteesile lisakasu ei too ning seda iseloomustatakse kui „*muscle full*“ efekti. Samuti ei anna kohene treeningujärgne valkude tarbimine lisaefekti, kui treeningueelne (kuni 2 tundi enne treeningut) toidukord sisaldas 20-40 grammi valku. Valkude kohesest treeningjärgsest manustamisest saab kasu sellisel juhul, kui treening toimub ilma treeningueelse toidukorrata.

Valkude kvaliteet on oluline aspekt, kui sooviks on tagada optimaalne ööpäevane lihasvalgu süntees. Eelistatumad on loomsed valgud, kuna nende bioloogiline väärtus, PDCAAS skoor ja leutsiini sisaldus on kõrgem võrreldes taimsete valkudega. Lisaks võib valgu seedimise kiirus mõjutada lihasvalgu sünteesi erinevalt.

## PRAKTILISED NÕUANDED SPORTLASTELE

- Soovitav on päevas süüa vähemalt 1,2-1,8 g 1 kg kehakaalu kohta valku, et kindlustada lihasvalgu positiivne bilanss.
- Madala kaloraažiga toitumisrežiimil võiks süüa 2,3-3,1 grammi valku 1 kg kehakaalu kohta.
- Päeva jooksul on soovitav süüa neli kuni viis valku sisaldavat toidukorda iga kolme kuni viie tunni järel.
- Optimaalne valgukogus toidukorral on 20-30 grammi või 0,40-0,55 g 1 kg kehakaalu kohta olenevalt vanusest, lihasmassi suuruselt ning treeningute suunitlusest.
- Suuremahuliste ja suuri lihasgruppe hõlmavate treeningute järgsel esimesel toidukorral tuleb tarbida 40 grammi valku.
- Treeningueelsest toidukorrast sõltub, millisel treeningujärgsel perioodil tuleb valku tarbida. Tarbides enne treeningut üks kuni kaks tundi 20-40 grammi valku, siis esimene treeningujärgne toidukord võib samuti toimuda ühe kuni kahe tunni pärast.
- BCAA manustamine ei anna lihasvalgu sünteesile lisakasut, kui on tagatud piisavas koguses kvaliteetsete valkude tarbimine päeva jooksul.
- Loomset valku sisaldavad toiduained mõjutavad lihasvalgu sünteesi enim, kuna nendes on leutsiini ning asendamatute aminohapete sisaldus suurem võrreldes taimset päritolu valguallikatega.
- Vadakuvalk on kiiresti imenduv valk, mistõttu on soovitav seda tarbida enne ja pärast treeningut.
- Tarbides taimsed valke, peaks taimsete valguallikate kogused olema suuremad või tarbima neid koos loomsete valkudega, et tagada optimaalne lihasvalgu süntees.

## KASUTATUD KIRJANUDS

1. Anthony JC, Lang CH, Crozier SJ, Anthony TG, MacLean DA, *et al.* Contribution of insulin to the translational control of protein synthesis in skeletal muscle by leucine. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 2002; 282:1092-1101.
2. Areta JL, Burke LM, Ross ML, Camera DM, West DW, *et al.* Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *The Journal of Physiology* 2013; 591:2319-2331.
3. Areta JL, Burke LM, Camera DM, West DW, Crawshay S, *et al.* Reduced resting skeletal muscle protein synthesis is rescued by resistance exercise and protein ingestion following short-term energy deficit. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 2014; 306:989-997.
4. Atherton PJ, Smith K. Muscle protein synthesis in response to nutrition and exercise. *The Journal of Physiology* 2012; 590:1049-1057.
5. Atherton PJ, Smith K, Etheridge T, Rankin D, Rennie MJ. Distinct anabolic signalling responses to amino acids in C2C12 skeletal muscle cells. *Amino Acids* 2010a; 38:1533-1539.
6. Atherton PJ, Etheridge T, Watt PW, Wilkinson D, Selby A, *et al.* Muscle full effect after oral protein: time-dependent concordance and discordance between human muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2010b; 92:1080-1088.
7. Aragon AA, Schoenfeld BJ. Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window? *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2013; 10:5.
8. Bilborough S, Mann N. A review of issues of dietary protein intake in humans. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2006; 16:129-152.
9. Boirie Y, Dangin M, Gachon P, Vasson MP, Maubois JL, *et al.* Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 1997; 94:14930-14935.
10. Burd NA, Gorissen SH, Vliet S, Snijders T, Loon LJ. Differences in postprandial protein handling after beef compared with milk ingestion during postexercise recovery: a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2015; 102:828-836.
11. Churchward-Venne TA, Burd NA, Phillips SM. Nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise: strategies to enhance anabolism. *Nutrition & Metabolism* 2012; 9:40.

12. Helms ER, Aragon AA, Fitschen PJ. Evidence-based recommendations for natural bodybuilding contest preparation: nutrition and supplementation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2014; 11:20.
13. Hoffman JR, Falvo MJ. Protein-Which is Best? *Journal of Sports Science and Medicine* 2004; 3:118-130.
14. Jackman SR, Witard OC, Philp A, Wallis GA, Baar K, *et al.* Branched-chain amino acid ingestion stimulates muscle myofibrillar protein synthesis following resistance exercise in humans. *Frontiers in Physiology* 2017; 8:390.
15. Kumar V, Atherton P, Smith K, Rennie MJ. Human muscle protein synthesis and breakdown during and after exercise. *Journal of Applied Physiology* 2009; 106:2026-2039.
16. Layman DK, Anthony TG, Rasmussen BB, Adams SH, Lynch CJ, *et al.* Defining meal requirements for protein to optimize metabolic roles of amino acids. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2015; 101:1330-1338.
17. Macnaughton LS, Wardle SL, Witard OC, McGlory C, Hamilton DL, *et al.* The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein. *Physiological Reports* 2016; 4:12893.
18. Millward DJ, Layman DK, Tomé D, Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2008; 87:1576-1581.
19. Morton RW, McGlory C, Phillips SM. Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy. *Frontiers in Physiology* 2015; 6:245.
20. Norton LE, Layman DK, Bunpo P, Anthony TG, Brana DV, *et al.* The leucine content of a complete meal directs peak activation but not duration of skeletal muscle protein synthesis and mammalian target of rapamycin signaling in rats. *The Journal of Nutrition* 2009; 139:1103-1109.
21. Pitsi T, Zilmer M, Vaask S, Ehala-Aleksejev K, *et al.* Eesti toitumis- ja liikumissoovitused 2015. Tervise Arengu Instituut. Tallinn, 2017.
22. Phillips BE, Hill DS, Atherton PJ. Regulation of muscle protein synthesis in humans. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 2012; 15:58-63.
23. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2010; 24:2857-2872.
24. Schoenfeld BJ, Aragon AA. How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2018; 15:10.

25. Stark M, Lukaszuk J, Prawitz A, Salacinski A. Protein timing and its effects on muscular hypertrophy and strength in individuals engaged in weight-training. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2012; 9:54.
26. Tipton KD. Efficacy and consequences of very-high-protein diets for athletes and exercisers. *The Proceedings of the Nutrition Society* 2011; 70:205-214.
27. Tipton KD, Hamilton DL, Gallagher IJ. Assessing the role of muscle protein breakdown in response to nutrition and exercise in humans. *Sports Medicine* 2018; 48:53-64.
28. Tipton KD, Borsheim E, Wolf SE, Sanford AP, Wolfe RR. Acute response of net muscle protein balance reflects 24-h balance after exercise and amino acid ingestion. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 2003; 284:76-89.
29. Tipton KD, Elliott TA, Cree MG, Aarsland AA, Sanford AP, *et al.* Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 2007; 292:71-76.
30. Trommelen J, Groen BB, Hamer HM, Groot LC, Loon LJ. MECHANISMS IN ENDOCRINOLOGY: Exogenous insulin does not increase muscle protein synthesis rate when administered systemically: a systematic review. *European Journal of Endocrinology* 2015; 173:25-34.
31. Tujioka K, Ohsumi M, Hayase K, Yokogoshi H. Effect of the quality of dietary amino acids composition on the urea synthesis in rats. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 2011; 57:48-55.
32. Wilkinson SB, Phillips SM, Atherton PJ, Patel R, Yarasheski KE, *et al.* Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *Journal of Physiology* 2008; 586:3701-3717.
33. Vliet S, Burd NA, Loon LJ. The skeletal muscle anabolic response to plant-versus animal-based protein consumption. *The Journal of Nutrition* 2015; 145:1981-1991.
34. Weinert DJ. Nutrition and muscle protein synthesis: a descriptive review. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association* 2009; 53:186-193.
35. Wolfe RR. Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: myth or reality? *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2017; 14:30.
36. Wolfe RR. Skeletal muscle protein metabolism and resistance exercise. *The Journal of Nutrition* 2006; 136:525-528.
37. Wu G. Dietary protein intake and human health. *Food & Function* 2016; 7:1251-1265.

## SUMMARY

Skeletal muscles are highly plastic tissues that adapt to cope with the increased locomotory and metabolic demands of exercise and nutrition. Skeletal muscle mass is regulated by the balance between muscle protein synthesis (MPS) and breakdown (MPB). Positive muscle protein balance is achieved when the rate of new muscle protein synthesis exceeds that of the muscle protein breakdown. These processes are mainly regulated by the nutrition and exercise. The objective of this literature-based study is to give an overview of muscle protein synthesis regulation and to describe the impact of training and nutrition to the muscle protein synthesis. This overview could be useful for athletes, coaches and personal trainers.

Endurance and resistance exercise stimulates skeletal muscle protein synthesis but only resistance training results in increases myofibrillar protein synthesis that is sustained for 48 h. It is well established that the mammalian target of rapamycin (mTORC1) is the main signalling pathway which regulates MPS. Amino acids, especially leucine activate anabolic signalling through mTORC1 and amino acids are the main regulatory substrates for muscle protein synthesis. Energy balance or calorie surplus are needed to activate mTORC1 and building actual tissue. Insulin and carbohydrates do not have a large impact on MPS process, but carbohydrates are needed for energy and for resynthesis of glycogen in muscle tissue. It has been proposed that muscle protein synthesis is maximized with an intake of 20 grams or 0.4 g per 1 kg bodyweight of a high-quality protein per meal, consistent with “muscle full” hypothesis. There is a scientific evidence, that 40 grams of protein might be beneficial in high volume training cycle as well as training where large muscle groups are involved. MPS is stimulated as long as 180-300 minutes, which depends on the size of a meal and consumption of other macronutrients. Additionally, MPS can remain elevated for 48 h post exercise, thus protein consumption at any point during this time can enhanced MPS. To summarize, for optimization of MPS, 0.4 gram of protein per 1 kg bodyweight and at least four meal per day is advisable in order to reach a 1.6 g/kg/d. Protein is available in a variety of dietary sources like animal based, plant based or supplemental. It is due to differences in protein digestion and amino acids absorption kinetics, and/or amino acids composition. Proteins which have high leucine content and the essential amino acid ratio have the biggest impact on MPS. On the other hand, plant based protein is incomplete and they are categorized to a low-quality proteins. In conclusion, there are many nutrient and training variables which are important to optimize MPS.

## AUTORI LIHTLITSENTS

Mina \_\_\_\_\_ Ott-Erik Kalmus \_\_\_\_\_

(autori nimi)

(sünnikuupäev: \_\_\_\_\_ 05.11.1994 \_\_\_\_\_)

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

**Treeningu ja toitumise mõju lihasvalgu sünteesile,**

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on \_\_\_\_\_ Luule Medijainen \_\_\_\_\_,

(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, 07.05.2018 (kuupäev)