

# **PROTEIININSAANNIN JA LIHASHYPERTROFIAN VÄLINEN YHTEYS**

Santtu Kütt

Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

## TIIVISTELMÄ

Kütt, S. 2024. Proteiininsaannin ja lihashypertrofian välinen yhteys. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma, 30 s.

Luurankolihas kudoksen ylläpito on välttämätöntä korkealle elämänlaadulle ja pitkälle elämälle. Sarkopenian (lihaskato) yleistyessä on tärkeää, että proteiininsaannin yhteydestä luurankolihas kudoksen ylläpitoon ja kehittymiseen saadaan luotettavaa tutkimusnäyttöä. Lisäksi lihashypertrofia on monen ajanvietetreenaajan tavoitteena, ja näin ollen yhdistyy useiden ihmisten terveyteen. Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden (kala-, kana- ja liharuoat) käyttötiheyden mahdollisia yhteyksiä lihaksen poikkipinta-alan muutoksiin ja tarkastella, selittävätkö erot yksilöiden pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheydessä, yksilöiden välisiä eroja harjoitusjakson aikana saavutetussa lihashypertrofiassa.

Tutkimus toteutettiin osana PreEx-tutkimusprojektia, jota varten kerättyä tutkimusdataa analysoitiin tässä tutkimuksessa tilastollisten analyysimenetelmien avulla. Tutkimus koostui 12 viikon voimaharjoittelujaksosta sekä alku- ja loppumittauksista. Tutkittavat ( $n = 170$ ) olivat iältään  $36,2 \pm 6,4$ -vuotiaita, eikä heillä ollut aiempaa kokemusta systemaattisesta voimaharjoittelusta. Tutkimuksessa mitattiin ulomman reisolihaksen poikkipinta-ala (VL CSA) ultraäänellä alku- ja loppumittauksissa. Tutkittavien pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyttä tarkasteltiin kyselyn avulla.

Tutkimuksessa ei löydetty tilastollisesti merkitsevää yhteyttä tutkittavien eläinproteiinin saannin ja harjoitusjakson aikana saavutetun lihashypertrofian välillä. Tutkittavien harjoitusjakson aikana saavuttama lihashypertrofia oli tilastollisesti erittäin merkitsevää ( $p < 0,001$ ). Lisäksi erot matalimman, keskimmäisen ja korkeimman eläinproteiinin käyttötiheyden ryhmien välisissä eläinproteiinin käyttötiheyksissä olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä ( $p < 0,001$ ). Tutkimuksen tulokset mukautuvat aiempaan tutkimustietoon harjoitusjakson aikana saavutetun hypertrofian suuruuden osalta. Tutkittavien pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja harjoitusjakson aikana saavutetun lihashypertrofian välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Tutkimus ei mukaudu aiempaan tutkimustietoon proteiininsaannin ja saavutetun lihashypertrofian yhteyden osalta. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja saavutetun lihashypertrofian välillä ei ole korrelaatiota.

Asiasanat: lihashypertrofia, proteiininsaanti, proteiinisynteesi, luurankolihas, voimaharjoittelu

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 LIHASHYPERTROFIA JA MTOR.....	3
3 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUS LIHASHYPERTROFIAAN .....	5
3.1 Voimaharjoittelun optimointi lihashypertrofian saavuttamiseksi .....	6
3.2 Lihashypertrofian mekanismit.....	7
4 PROTEIINIINSAANTI JA LIHASHYPERTROFIA .....	9
4.1 Proteiininsaannin määrä .....	9
4.2 Proteiininsaannin ajoitus ja proteiinin laatu .....	15
5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT .....	16
6 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	17
6.1 Mittaukset.....	17
6.2 Tilastolliset menetelmät.....	18
7 TULOKSET .....	19
8 POHDINTA.....	24
8.1 Tulosten tarkastelu.....	24
8.2 Tutkimuksen rajoitteet ja kriittinen tarkastelu.....	25
8.3 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	27
LÄHTEET .....	28

# 1 JOHDANTO

Luurankolihas kudoksella on merkittävä kyky saavuttaa hypertrofiaa, eli koon kasvua. Lihashypertrofiaa tapahtuu vasteena tietyn tyypiselle fyysiselle aktiivisuudelle, erityisesti voimaharjoittelulle, sekä tietyille hormoneille. Androgeeniset hormonit ovat vastuussa naisten ja miesten välisistä eroista lihaskudoksen määrässä. Lihashypertrofia on sen lisäksi, että se on kiinnostava, myös kliinisesti relevantti tutkimusalue. Lihaskudoksen vähentyminen ikääntyessä on riskitekijä kaatumisille, murtumille ja fyysiselle hauraudelle, minkä lisäksi se on yhdistetty laajaan kirjoon kroonisia sairauksia. (Schiaffino ym. 2021) Luurankolihas kudoksen ylläpito on välttämätöntä korkealle elämänlaadulle ja pitkälle elämälle (Miyazaki & Esser 2009).

Lihaskato eli sarkopenia on Ethgenin ym. (2017) mukaan merkittävä ja yleinen terveysongelma, joka on yhdistetty edellä mainittujen riskien lisäksi hoitokotiin ja/tai sairaalahoitoon joutumiseen, masennukseen sekä kuolemaan. Sarkopenian ennustetaan yleistyvän Euroopassa 72,4 prosentilla vuodesta 2016 vuoteen 2045 mennessä. Sarkopeniaa sairastavien määrän arviointi ei ole kuitenkaan yksiselitteistä, koska sen määritelmä ei ole täysin vakiintunut vaan vaihtelee. (Ethgen ym. 2017) Hanach ym. (2019) totesivat meta-analyysissä puutteellisen proteiininsaannin olevan sarkopenian riskitekijä. Ruokavalion täydentäminen proteiinilla parantaa lihaskudoksen anaboliaa ja toimintakykyä sekä nuoremmilla, että vanhemmilla aikuisilla (Hanach ym. 2019). Sarkopeniaa pystyy siis ehkäisemään, ja lihaskudoksen toimintakykyä ylläpitämään, syömällä riittävästi proteiinia.

Schoenfeld (2010) kertoo lihasmassan kasvatuksen olevan monen ajanvietetreenaajan tavoitteena ja se on näin ollen yhteydessä useiden ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin kuntosaliharjoittelun yleisyyden kautta. Voimaharjoittelu eli luurankolihas ten supistaminen ulkoista kuormaa vasten, lisää lihasmassaa sekä -voimaa, parantaa fyysistä suorituskykyä, tuottaa suuren määrän aineenvaihdunnallisia terveyshyötyjä ja vähentää kroonisten sairauksien riskiä (Currier ym. 2023). Voimaharjoittelun ja ravinnosta saatavan proteiinin lisäksi voimaharjoittelun adaptaatioihin vaikuttaa muun muassa genetiikka, edistyneisyys, ikä, sekä sukupuoli (Schoenfeld 2010).

Ravitsemuksesta saatavan proteiinin määrän ja ajoituksen optimoinnissa lihashypertrofian kannalta on kirjallisuudessa eriäviä näkemyksiä. Aikaisemmin on ajateltu 20 g annoksen korkealaatuista proteiinia maksimoivan proteiinisynteesin normaalikokoisilla miehillä (Moore

2019). Trommelenin ym. (2023) mukaan uskomukselta voimaharjoittelun jälkeisen ravitsemuksen lyhytaikaisesta vaikutuksesta anaboliseen vasteeseen ja proteiininsaannin kertaannoksen ylärajaan, jonka ylittävä määrä aminohappoja hapetetaan energiaksi, uupuu tieteellistä näyttöä. Amawi ym. (2024) esittivät, että lihashypertrofian maksimoimiseksi proteiinia tulee saada ennen, aikana ja jälkeen voimaharjoituksen. Kun taas Wirthin ym. (2020) mukaan kuitenkin proteiininsaannin ajoituksella ei ole löydetty olevan yhteyttä kehon rasvattomaan massaan.

Luurankoliyhaskudoksen hypertrofian säätelyä tapahtuu hormonien ja kasvutekijöiden toimiessa suoraan positiivisina säätelytekijöinä, taikka toissijaisesti negatiivisten säätelytekijöiden neutraloijina, ja voimaharjoittelun aiheuttamalla mekaanisilla signaaleilla (Schiaffino ym. 2021). Voimaharjoittelun aikaansaama luurankoliyhaskudoksen kasvu on sekä ulkoisten, että sisäisten muuttujien tuotos (Lim ym. 2022).

## 2 LIHASHYPERTROFIA JA MTOR

Lihashypertrofiaa (lihaskasvua) tapahtuu, kun lihasproteiinisynteesi (muscle protein synthesis, MPS) ylittää lihasproteiinien hajotuksen (muscle protein breakdown, MPB). MPS:sää kutsutaan myös anaboliaksi ja MPB:tä kataboliaksi. (Schoenfeld 2010) Voimaharjoittelun ja proteiinin saannin synergistinen vaikutus mahdollistaa tarvittavan anabolisen ympäristön lihashypertrofian saavuttamiseksi. Kehon rasvaton massa, sisältäen luurankolihas kudoksen, on jatkuvasti uudelleenmuodostuksen kohteena. Jatkuva ja yhtäaikainen proteiinisynteesi sekä proteiinien hajotus, joita kutsutaan myös proteiinien vaihtuvuudeksi, mahdollistaa vanhojen ja vioittuneiden proteiinien purkamisen ja uudelleenmuodostuksen. Purkamisen ja uudelleenmuodostuksen, katabolian ja anabolian, nettotasapaino määrittelee, tapahtuuko hypertrofiaa vai atrofiaa. Mikäli ravinnosta ei saada aminohappoja, katabolian ja anabolian nettotasapaino on negatiivinen. (Moore 2019)

Lihashypertrofiaa tapahtuu pääasiassa lihaksen supistuvissa elementeissä, myofibrilleissä. Myofibrilliin eli lihassäikeeseen lisätään sarkomeereja joko rinnakkain tai peräkkäin. Myofibrillit ovat toistensa lomassa ja kasvaessaan sekä leveyttä että pituutta, ne aiheuttavat lihaksen poikkipinta-alan kasvua. Lihashypertrofiaa voi tapahtua myös ei-supistuvissa elementeissä, jolloin lihaksen voimantuottokapasiteetti ei lisäänty. Tätä ilmiötä kutsutaan sarkoplasmiseksi lihashypertrofiaksi. Sarkoplasmisessa hypertrofiassa muun muassa lihaksen sidekudoksen (kollageenin) ja glykogeenivarastojen määrä lisääntyy. Sarkoplasmista hypertrofiaa tapahtuu kehonrakentajilla enemmän kuin voimanoistajilla. (Schoenfeld 2010) Harjoittelutyöliisi vaikuttaa saavutettuun lihashypertrofiaan.

MTOR (mammalian target of rapamycin) on lihaskoon pääasiallinen säätelytekijä ja se vaikuttaa säätelevän proteiinisynteesiä usealla tavalla. Näitä tapoja ovat muun muassa translaation kapasiteetti ja tehokkuus. (Zanchi & Lancha Jr 2008) MTORC1:sen (mammalian target of rapamycin complex 1) aktiivisuutta muuttavat puolestaan useat tekijät. Näitä tekijöitä ovat muun muassa kasvutekijät, stressi, energiatasapaino ja aminohapot. Aminohapot ovat tärkein mTORC1:sen aktiivisuuteen vaikuttava ympäristöllinen tekijä, mutta ei kuitenkaan täysin tiedetä, kuinka aminohappojen pitoisuutta veressä havaitaan, ja kuinka ne aktivoivat mTORC1:stä. MTORC1 kuitenkin yhdistää aminohappojen saatavuuden solukasvun ja autofagian (itsesyönnin) säätelyyn. (Jewell ym. 2013) MTORC1 on erityisen herkkä reagoimaan välttämättömien aminohappojen, sekä leusiinin määrien muutoksiin plasmassa

(Trommelen ym. 2023). Ravinnerikkaissa olosuhteissa mTOR edesauttaa solukasvua stimuloimalla biosynteettisiä reittejä, sisällyttäen proteiinisynteesin, ja inhiboimalla kataboliaa vähentämällä muun muassa solussa tapahtuvaa autofagiaa. Autofagia on katabolinen solureaktio, joka tuottaa ravintoaineita sekä energiaa välttämättömien solutoimintojen ylläpitämiseksi, kun ravintoaineita ei ole saatavilla verenkierrosta. (Jewell ym. 2013)

MTORC1:llä on keskeinen rooli sekä proteiinisynteesin että ribosomaalisen biogeneesin säätelyssä (Schiaffino ym. 2021). MTOR:in aktivoituttua se vaikuttaa kiihdyttävästi lähetti-RNA:n translaatioon, mikä johtaa taas proteiinisynteesin lihassolun sisällä myofibrillissä (Zanchi & Lancha Jr 2008). Lihashypertrofiaa ei siis pysty tapahtumaan ilman, että mTOR aktivoituu. Näin ollen mTOR:in aktivoitumiseen vaikuttavien seikkojen tutkiminen ja ymmärtäminen on oleellista lihaskudoksen ylläpidon ja uuden lihaskudoksen kasvatuksen kannalta.

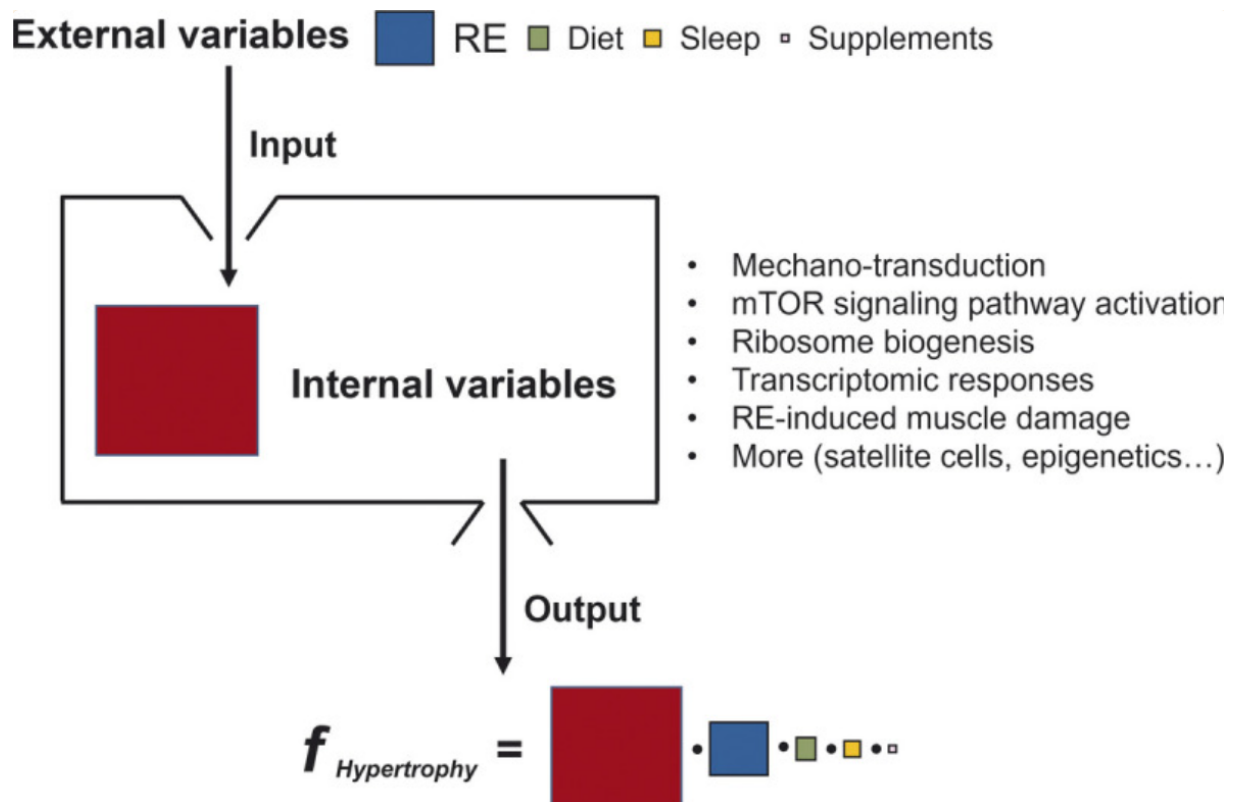
### 3 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUS LIHASHYPERTROFIAAN

Voimaharjoittelun on todettu lisäävän lihashypertrofiaa ja lihasvoimaa (Currier ym. 2023; Schoenfeld 2010). Lisääntynyt proteiinisynteesi harjoitetussa lihaksessa kestää jopa 48 tuntia harjoituksen jälkeen (Moore 2019). Voimaharjoittelu lisää lihaskudoksen määrää sekä ihmisillä että eläimillä, mutta ei tarkkaan tiedetä, kuinka voimaharjoittelun ja translaation sekä transkription välinen signalointiketju toimii. Mekanosensorit dystrofiini, integriini ja GPR56 (G protein-coupled receptor 56) kuitenkin tunnistavat lihasten supistumisen, sekä lihakseen kohdistuvan passiivisen venytyksen. Nämä mekanosensorit lisäävät mTORC1:n toimintaa, mikä puolestaan johtaa lihashypertrofiaan kyseisessä kudoksessa. (Schiaffino ym. 2021)

Lisääntynyt mTORC1 signaali, translaationaalisen kapasiteetin kasvu ribosomaalisen biogeneesin kautta, satelliittisolujen määrän lisääntyminen, lihassolujen tumien lisääntyminen sekä harjoituksen jälkeinen kohonnut proteiinisynteesin määrä ovat voimaharjoittelun aikaansaamia, lihashypertrofiaa edesauttavia, vasteita ihmiselimestössä (Roberts ym. 2023). Roberts ym. (2023) mukaan voimaharjoittelu säännöllisesti suoritettuna voi johtaa 8–16 viikon harjoitusjakson aikana 5–20 % kasvuun lihasmassassa nuorilla ja keski-ikäisillä aikuisilla.

Voimaharjoittelun aikaansaama luurankolihashudoksen kasvu on sekä ulkoisten että sisäisten muuttujien tuotos. Ulkoisia muuttujia ovat esimerkiksi voimaharjoittelun ohjelmointi, ruokavalio, uni sekä jotkin lisäravinteet. Sisäisiä muuttujia ovat esimerkiksi satelliittisolujen aktiivisuus, ribosomien toiminta, geenien ilmentyminen ja mekanotransduktio eli prosessi, jossa lihaskudokseen kohdistunut mekaaninen voima muuntuu biokemialliseksi signaaliksi. Voimaharjoittelu on kiistatta merkityksellisin ulkoinen vaikuttava tekijä lihashypertrofiaan vaikuttavien sisäisten muuttujien säätelyssä (kuva 1). (Lim ym. 2022)





KUVA 1. Luurankolihas kudoksen hypertrofiaan vaikuttavia ulkoisia ja sisäisiä tekijöitä. (RE = resistance exercise, voimaharjoittelu) (Lim ym. 2022)

### 3.1 Voimaharjoittelun optimointi lihashypertrofian saavuttamiseksi

Voimaharjoittelussa käytettävän kuorman, sarjojen määrän sekä harjoitusfrekvenssin vaikutuksia lihashypertrofian maksimoimiseksi on tutkittu suhteellisen laajasti. Voimaharjoittelun ohjelmoinnin eri muuttujat voivat vaikuttaa voimaharjoittelusta saataviin vasteisiin. Optimaalisen harjoitusohjelman muuttujien määristä eivät tutkijatkaan ole yksimielisiä. (Currier ym. 2023)

Currierin ym. (2023) tuoreen systemaattisen katsauksen perusteella voidaan todeta, että voimaharjoittelu korkeilla kuormilla, usealla sarjalla ja kahdesti viikossa tuotti parhaan lihaskasvullisen vasteen verrattuna voimaharjoittelemattomaan kontrolliryhmään. He havaitsivat myös, että kaikki meta-analyysiin sisällytetyt voimaharjoittelu ”reseptit”, eli volyymin, frekvenssin ja intensiteetin määrät, lisäsivät sekä lihashypertrofiaa, että -voimaa. Currierin ym. (2023) meta-analyysissä vertailtiin lihashypertrofian osalta 119 tutkimuksen tuloksia. Tutkittavia oli yhteensä 3364 ja heistä naisia oli 47 prosenttia. Meta-analyysiin

sisällytettiin ainoastaan, terveillä aikuisilla tehtyjä, satunnaistettuja kontrolloituja tutkimuksia. Meta-analyysiin sisällytyksen kriteerinä oli, että tutkimuksen kuorma, sarjat, viikoittainen frekvenssi sekä saavutetut tulokset lihashypertrofiassa ja voiman kehityksessä oli ilmoitettu. (Currier ym. 2023) Schoenfeld (2010) esitti lihashypertrofian kannalta optimaalisimmaksi toistoalueeksi 6–12 toistoa ja sarjapalautuksen kestoksi 60–90 sekuntia.

### **3.2 Lihashypertrofian mekanismit**

Schoenfeld (2010) esitti voimaharjoittelun aiheuttavan lihashypertrofiaa kolmen mekanismin kautta: mekaanisen kuormituksen, metabolisen stressin ja lihasvaurioiden. Nykyisin kuitenkin ymmärretään mekaanisen kuormituksen olevan pääasiallinen lihashypertrofian stimuloija, metabolinen stressi ja lihavauriot taas ovat lihashypertrofian näkökulmasta vähäpätöisiä tai jopa merkityksettömiä. (Lim ym. 2022)

*Mekaaninen kuormitus.* Mekaaniseksi kuormitukseksi määritellään sekä lihaksen voimantuoton että lihakseen kohdistuvan venytyksen aiheuttama ärsyke (Schoenfeld 2010). Mekaanisen kuormituksen lisääntyminen on voimakas ohjaaja lihashypertrofian ja proteiinisynteesin suuntaan (Zanchi & Lancha Jr 2008). Voimaharjoittelun aiheuttama mekaaninen kuormitus häiritsee lihassolun eheyttä aiheuttaen solu- ja molekyylitason vasteita myofibrilleissä sekä satelliittisoluisissa (Schoenfeld 2010). Mekaaninen kuormitus stimuloi suoraan mTOR:ia, joka stimuloi osaltaan proteiinisynteesiä (Hornberger ym. 2006). Signaalintiketju on kuitenkin monimutkainen, eikä sitä vielä täysin ymmärretä (Zanchi & Lancha Jr 2008). Vaikka mekaanisen kuormituksen uskotaankin yleisesti olevan tärkein hypertrofian aiheuttaja, sen kykyä yksinään aiheuttaa lihashypertrofiaa on kyseenalaistettu (Schoenfeld 2010). Lisäksi kaikki luurankolihas kudokset ei reagoi samalla tavalla mekaaniseen kuormitukseen (Zanchi & Lancha Jr 2008). Toiston epäonnistumiseen saakka harjoiteltaessa rekrytoidaan kaikki motoriset yksiköt, ja näin ollen saavutetaan suurin mekaaninen kuormitus (Schoenfeld 2010). Schoenfeld (2010) kertoo myös lihastyötavan vaikuttavan mekaanisen kuormituksen voimakkuuteen. Isometrisellä lihastyöllä ei olla saatu yhtä hyviä hypertrofisia vasteita aikaan kuin dynaamisella lihastyöllä. Eksentrisen lihastyönä näyttää aiheuttavan suurimman mekaanisen kuormituksen työskentelevään lihakseen. (Schoenfeld 2010) Tutkimuskirjallisuudesta löytyy siis eriäviä näkemyksiä mekaanisen kuormituksen osuudesta lihashypertrofian aiheuttajana.

*Metabolinen stressi.* Voimaharjoittelu säätelee solunsisäistä ja -ulkoista nestetasapainoa. Seuraukset lihassolun nestetasapainossa näyttävät olevan riippuvaisia harjoittelun tyypistä, sekä harjoittelun intensiteetistä. Maksimaalinen lihassolun turpoaminen saavutetaan voimaharjoittelulla, jonka pääasiallinen energiantuottotapa on anaerobinen glykolyysi. Matalan toistoalueen sarjat (1–5 toistoa) eivät aiheuta juurikaan metabolista stressiä, koska niissä käytetään välittömiä energianlähteitä. Kohtuullisen toistoalueen sarjat (6-12 toistoa) sekä pitkät sarjat (+15 toistoa) sen sijaan saavat aikaan suuren metabolisen kuormituksen. Toiston epäonnistumiseen saakka harjoittelu saattaa lisätä harjoittelun aiheuttamaa metabolista stressiä. Tämä tapahtuu erityisesti, kun uupumukseen saakka vieminen lisää sarjan kestoa. (Schoenfeld 2010) Lyhyemmät sarjapalautukset saavat aikaan voimakkaamman metaboliittien kertymisen lihaksiin ja täten suuremman metabolisen stressin (Henselmans & Schoenfeld 2014). Metabolista stressiä syntyy, kun lihakseen kertyy aineenvaihdunnan sivutuotteita. Voimaharjoittelun aikana lihassoluihin kertyy laktaattia, vetyioneja, epäorgaanista fosfaattia, sekä lisäksi fosfokreatiinin määrä vähenee. Aikaisemmin näiden aineenvaihduntatuotteiden ajateltiin aiheuttavan lihashypertrofiaa, mutta nykytietämyksen perusteella ne eivät yksinään lisää luurankolihasien hypertrofiaa ihmisissä. (Lim ym. 2022) Mikäli metabolinen stressi aiheuttaisi itsessään lihashypertrofiaa, voisi aiheuttamalla lihakseen hetkellisen hypoksian, saada hypertrofisia vasteita. Näin ei kuitenkaan ole, vaan hypoksian on todettu aiheuttavan lihashypertrofiaa vain yhdistettynä voimaharjoitteluun.

*Lihavauriot.* Harjoittelu saattaa aiheuttaa paikallisia vaurioita lihaskudokseen. Tietyissä olosuhteissa tämä teoriassa aiheuttaa lihashypertrofiaa. Lihavauriot voivat olla hyvinkin spesifejä, makromolekyylitasolla tapahtuneita muutoksia. Lihavauriot saattavat olla myös suurempia, vaurioittaen lihassolukalvoja, tyvikalvoja, sidekudosta, solun tukirankaa sekä supistuvia elementtejä. (Schoenfeld 2010) Schoenfeldin (2010) mukaan eksentrisen lihastyön aiheuttaa enemmän lihavaurioita verrattuna isometriseen tai konsentriseen lihastyöhön. Lihavauriot voivat merkittävästi lisätä lihaksen tulehdustilaa, sekä satelliittisolujen aktiivisuutta, vaikuttaen luurankolihasien uudistamisprosessiin kuormituksen jälkeen. Näistä seikoista huolimatta lihavauriot ovat huono lihashypertrofian mittari. Lihashypertrofia ja lihavauriot eivät ole toisistaan riippuvaisia, vaikka ne voivatkin esiintyä yhdessä. (Lim ym. 2022)

## 4 PROTEIININSAANTI JA LIHASHYPERTROFIA

Korkean proteiininsaannin tiedetään nopeuttavan palautumista voimaharjoittelusta. Yhteys paremman fyysisen suorituskyvyn ja korkean proteiininsaannin välillä on kiistaton. (Roberts ym. 2017; Baranauskas ym. 2023) Wirthin ym. (2020) meta-analyysin mukaan lisääntynyt proteiininsaanti parantaa tuloksia lihasmassan hankinnan osalta. He eivät kuitenkaan havainneet yhteyttä proteiininsaannin spesifin ajoituksen ja rasvattoman massan välillä, vaan oleellista oli proteiinin kokonaissaanti vuorokaudessa (Wirth ym. 2020).

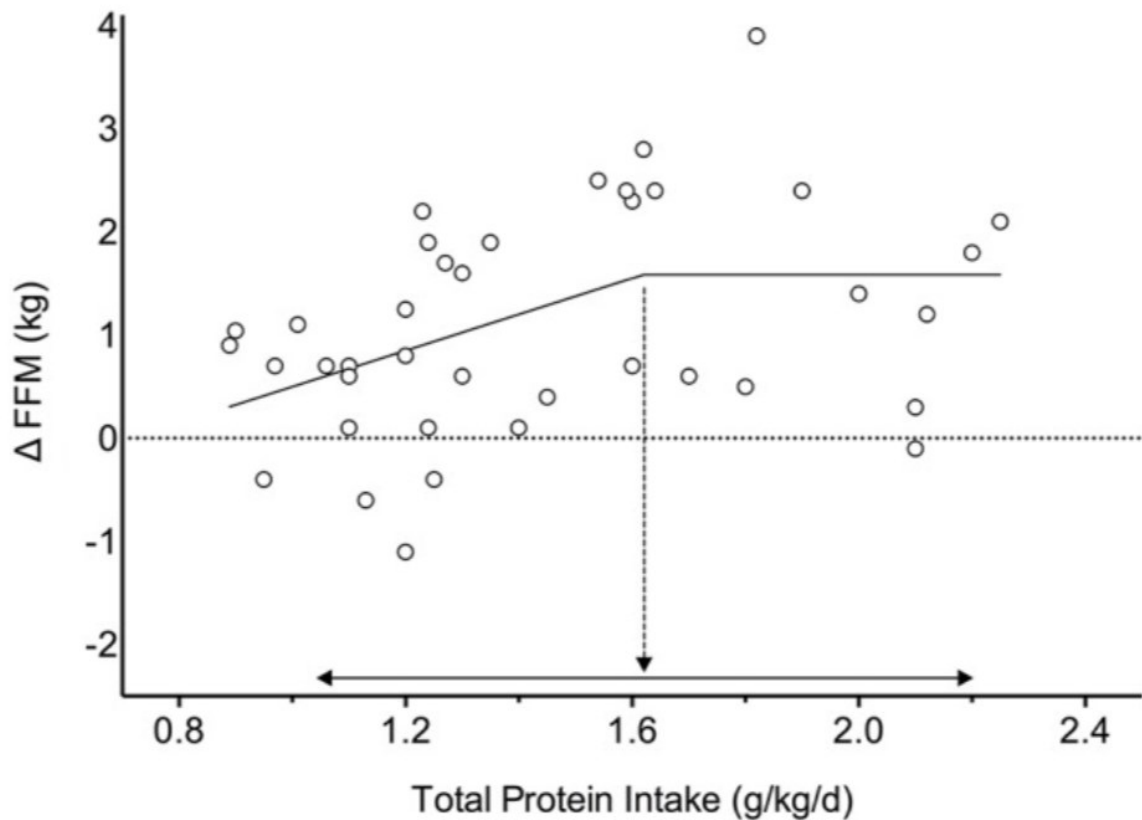
Voimaharjoituksen jälkeisen proteiinisynteesin näkökulmasta ravinnosta saatavat aminohapot ovat suurin yksittäinen vaikuttava tekijä ravitsemuksessa. Kun eksogeenisiä aminohappoja ei ole saatavilla, lihasproteiinin hajotuksen määrä ylittää aina lihasproteiinisynteesin määrän. Voimaharjoituksen jälkeisen proteiinisynteesin tason ja harjoittelun avulla saavutetun lihashypertrofian välillä on todettu yhteys. (Moore 2019) Molekyyli-tason proteiinisynteesin ja -hajotuksen nettotasapainon säätely on monimutkainen kokonaisuus. Vielä ei täysin tiedetäkään, kuinka se tapahtuu, vaan tiede edelleen pyrkii selvittämään, kuinka proteiinisynteesiä ja -hajotusta säädellään. (Lim ym. 2022) Proteiinin lähteen anaboliseen vasteeseen vaikuttavat sen aminohappojen määrä, välttämättömien aminohappojen määrä sekä haaraketjuisten aminohappojen määrä (Amawi ym. 2024).

### 4.1 Proteiininsaannin määrä

Phillipsin ja Van Loon (2011) mukaan proteiinisynteesi maksimoidaan saamalla 1,3–1,8 g/kg proteiinia vuorokaudessa, jaettuna 3–4 annokseen. Harjoittelun korkean intensiteetin tai volyymin jaksoina sekä energiavajeessa, proteiinintarve on urheilijoilla kuitenkin suurentunut (Phillips & Van Loon 2011).

Mortonin ym. (2018) meta-analyysissä koottiin yhteen 49 satunnaistetun kontrolloidun tutkimuksen tulokset. Meta-analyysiin valittujen tutkimusten vähimmäiskesto oli 6 viikkoa ja tutkittavien tuli harjoitella vähintään kahdesti viikossa. Koehenkilöitä valituissa tutkimuksissa oli yhteensä 1863, ja heidän tuli olla terveitä eikä energiansaanti saanut olla rajoitettua. Mortonin ym. (2018) mukaan proteiininsaanti lisäsi tilastollisesti merkitsevästi niin muutoksia yhden toiston maksimissa, lihaksen poikkipinta-alassa kuin rasvattomassa massassa

voimaharjoittelujakson aikana. Kun proteiinin saanti päivässä oli 1,62 g/kg (kuva 2), ei lisäproteiinista ollut enää tilastollisesti merkitsevästi hyötyä. Korkeamman proteiinin saannin vaikutus muutoksiin rasvattomassa massassa oli suurempi voimaharjoitelleilla henkilöillä. Lisäksi vaikutus korkeammalla proteiinin saannilla pieneni tutkittavien iän lisääntyessä. (Morton ym. 2018)

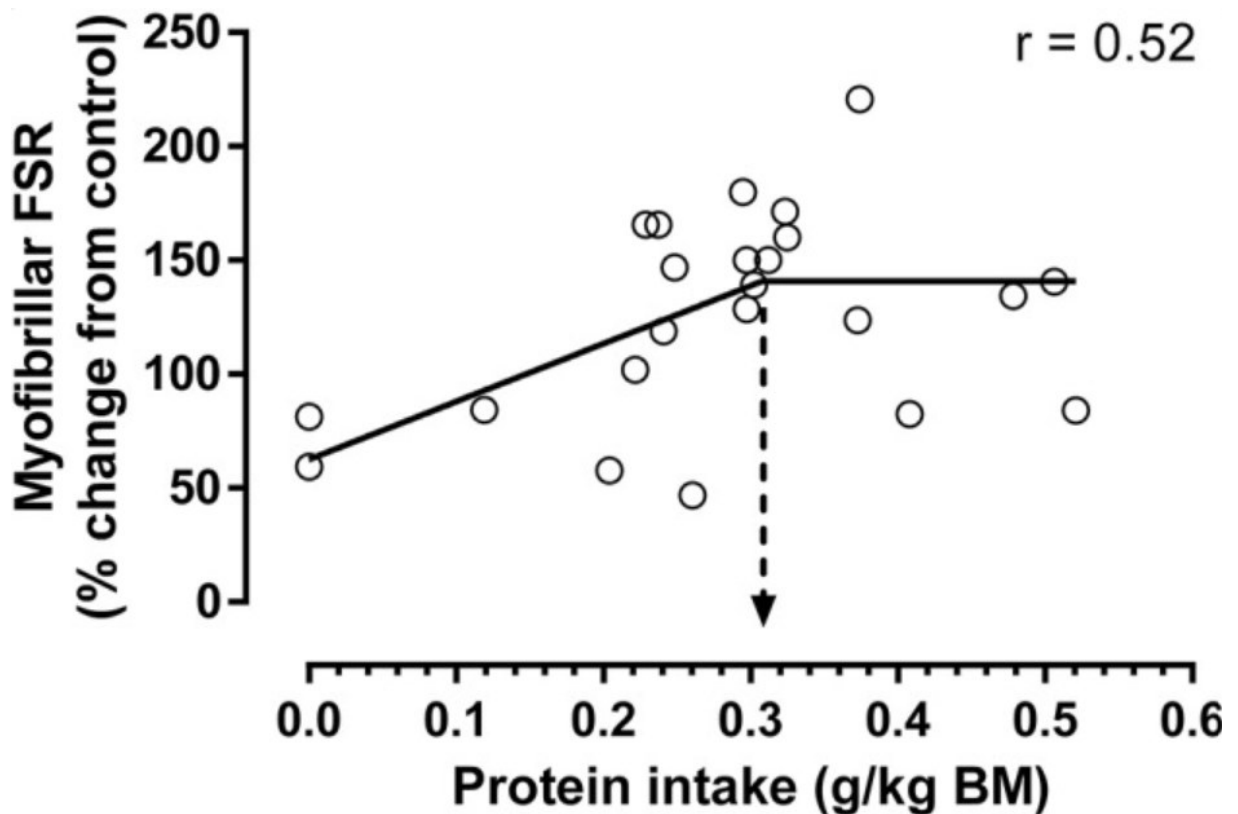


KUVA 2. Yhteys suhteellisen kokonaisproteiinin saannin ja rasvattoman massan muutoksen välillä mitattuna kaksienenergisestä röntgensäteestä absorptiometrialla (DXA-mittaus). Ympyrät kuvaavat yksittäistä ryhmää tutkimuksesta. Vaakasuuntaisella nuolella on merkitty 95 % luottamusväli (1,03–2,20 g/kg/vrk). (FFM = fat free mass) (Morton ym. 2018)

Roberts ym. (2017) havaitsivat korkeaproteiinista ruokavaliota noudattavien (2,9 g/kg/vrk) ylläpitävän alakropan voimantuottoa tilastollisesti merkitsevästi paremmin verrattuna matalamman proteiinin saannin ryhmään (1,8 g/kg/vrk). Tässä tutkimuksessa tulee ottaa huomioon, että myös matalamman proteiinin saannin ryhmä söi proteiinia huomattavasti ravitsemussuosituksia enemmän, vaikkakin kyseisessä tutkimuksessa matalamman proteiinin saannin ryhmää kuvailtiin ”moderate protein intake” -ryhmäksi. Roberts ym. (2017) tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä lihasarkuudessa eikä

TNF-alfa (tuumorinekroositekijä, tulehdusreaktion syntyyn vaikuttava välittäjäaine eli sytokiini) tasoissa.

Mooren (2019) mukaan annos-vaste -tutkimuksissa normaalikokoisilla miehillä maksimaalinen proteiinisynteesi saavutetaan keskimäärin 20 g annoksella korkealaatuista ja nopeasti imeytyvää proteiinia. Hänen mukaansa on kuitenkin epäselvää voiko proteiiniannoksia yleistää ”yksi koko sopii kaikille” -tyyppiseksi ratkaisuksi. Moore (2019) myös esittää, että nuorilla aikuisilla noin 0,31 g/kg kerta-annos korkealaatuista ja nopeasti imeytyvää proteiinia (kuva 3) tulisi olla suositus henkilöille, joilla on normaali kehonkoostumus ja tavoitteena maksimoida harjoituksen jälkeinen myofibrillaarinen proteiinisynteesi. Tällä annoksella hänen mukaansa saadaan maksimoitua myofibrillaarinen proteiinisynteesi ilman, että nautitusta proteiinista saatuja aminohappoja aletaan hapettamaan elimistössä, mitä tapahtuu nautittaessa suuria määriä proteiinia kerralla. Hän kuitenkin lisää, että maksimoidakseen koko kehon anabolian yhtäaikaaisesti, proteiiniannoksen tulee olla yli 0,5 g/kg. Koko kehon tasolla tarkasteltuna, suurempia kerta-annoksia proteiinia saadaan hyödynnettyä, verrattuna yksittäisen lihaksen proteiinisynteesin tason tarkasteluun. Sukupuolella, samanaikaisella hiilihydraattien nauttimisella, eikä lihasmassan määrällä ole merkittävää vaikutusta proteiinisuosituksiin. Tutkimusta epäoptimaalisen aminohappokoostumuksen omaavilla proteiininlähteillä (kasviproteiinit), sekä hitaasti imeytyvillä optimaalisilla proteiininlähteillä, ei ole tarpeeksi suositusten soveltamiseen näihin ryhmiin. Lisäksi proteiinin kerta-annoksen saantisuosituksiin vaikuttaa henkilön ikä, ylipaino, negatiivinen energiatasapaino sekä muun fyysisen kuormituksen määrä. Edellä mainittujen vaikutuksista proteiinin saantisuosituksiin tarvitaan lisää tutkimusta. (Moore 2019)



KUVA 3. Harjoituksen jälkeisen myofibrillaarisen proteiinisynteesin lisääntyminen suhteutettuna harjoituksen jälkeen nautitun, korkealaatuisen ja nopeasti imeytyvän, proteiinin suhteelliseen määrään. (Moore 2019)

Eliitti miesurheilijoilla tehdyssä poikkileikkaustutkimuksessa (Baranauskas ym. 2023) havaittiin, että keskiarvillisesti 1,8 g proteiinia/kg/vrk oli anabolisin määrä sekä aerobisten että anaerobisten lajien miesurheilijoille. Tutkimuksessa havaittiin myös mahdollinen positiivinen yhteys vielä korkeamman proteiinsaannin ja suuremman lihasmassan määrän välillä anaerobisten lajien urheilijoilla. Kyseisessä tutkimuksessa seurattiin urheilijoiden ruoanvalintaa kolmelta erilliseltä seurantapäivältä ruokapäiväkirjan avulla, minkä lisäksi jokaiselle urheilijalle tehtiin bioimpedanssi kehonkoostumusmittaus. (Baranauskas ym. 2023) Mikäli tavoitteena on siis maksimaalinen lihashypertrofia, yli 1,8 g/kg annokset vuorokaudessa voivat olla perusteltuja.

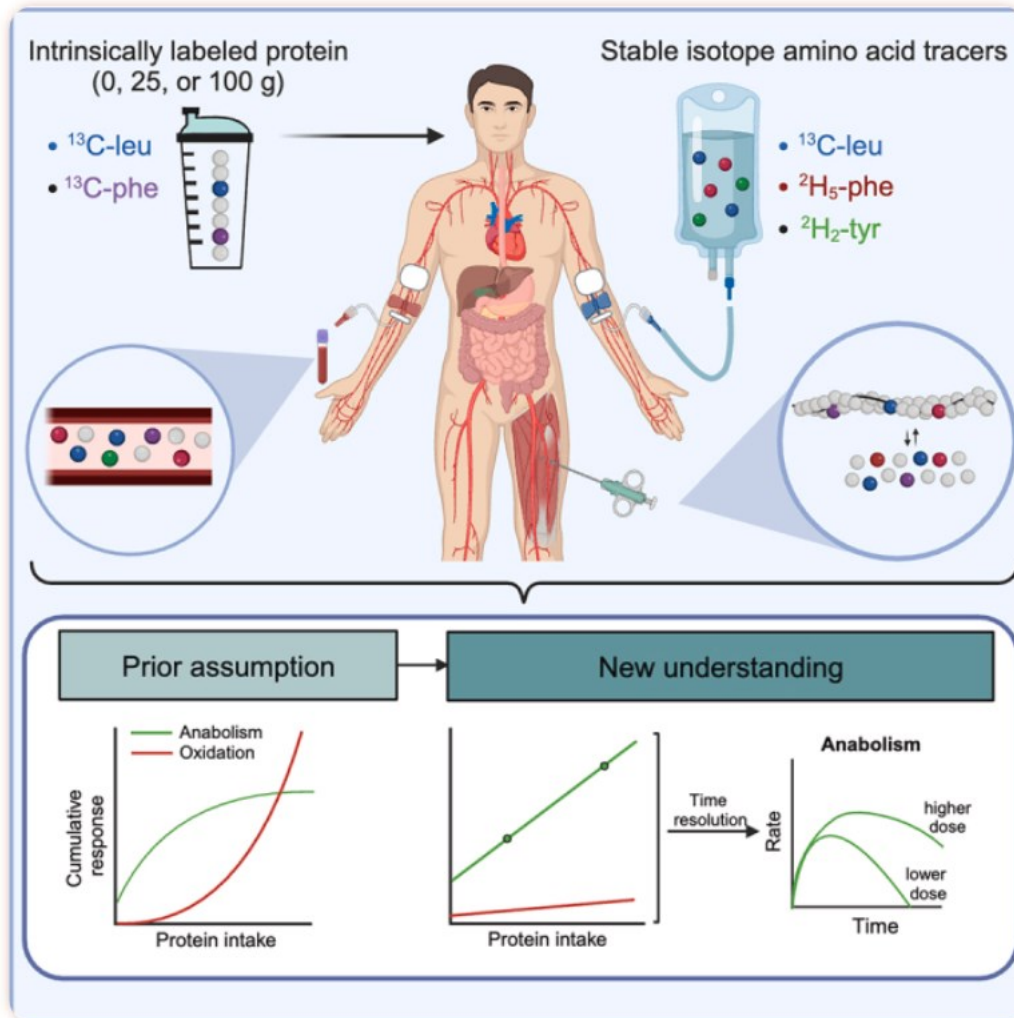
Trommelenin ym. (2023) mukaan uskomus voimaharjoittelun jälkeisen ravitsemuksen lyhytaikaisesta vaikutuksesta anaboliseen vasteeseen ja proteiinsaannin kerta-annoksen ylärajaan, jonka ylittävä määrä aminohappoja hapetetaan energiaksi, on vailla tieteellistä näyttöä. Trommelen ym. (2023) tutkivat onko voimaharjoituksen jälkeen nautittavalla proteiinin määrällä ”yläraja”, jonka jälkeen suurempi määrä nautittua proteiinia ei enää

stimuloi proteiinisynteesiä enempää. Tutkimuksessa annettiin koehenkilöille (n=36) voimaharjoituksen jälkeen joko 0 g, 25 g, tai 100 g, maitoproteiinia (20 % hera, 80 % kaseiini) ja seurattiin proteiinisynteesin sekä aminohappojen hapetuksen tasoa tutkittavien elimistössä. Tutkittavat olivat nuoria ja terveitä miehiä. Tutkimuksessa havaittiin, että 100 g kerta-annos proteiinia stimuloi proteiinisynteesiä tilastollisesti merkitsevästi enemmän kuin 25 g kerta-annos. Proteiinisynteesin suurempi määrä ja kesto saavutettiin suuremmalla annoksella, ja näin ollen voidaan sanoa että 100 g kerta-annos maitoproteiinia voimaharjoituksen jälkeen on anabolisempi kuin 25 g kerta-annos. Suurimmat erot plasman aminohappopitoisuudessa, lihastason proteiinisynteesin määrässä, sekä koko kehon proteiinisynteesin määrässä nähtiin 4–12 tunnin kuluttua proteiinin nauttimisesta. (Trommelen ym. 2023)

Kyseinen tutkimus eroaa jonkin verran aikaisemmasta tutkimustiedosta. Tähän vaikuttavia tekijöitä on spekuloitu seuraavasti: voimaharjoitus stimuloi proteiinisynteesiä ja näin ollen voidaan nähdä mahdollisesti parempi vaste suureen kerta-annokseen proteiinia verrattuna tutkimusasetelmaan, jossa ei ole alla fyysistä kuormitusta. Maitoproteiini on myös hitaasti imeytyvää verrattuna heraproteiiniin, jota on runsaasti käytetty proteiinitutkimuksissa. Näin ollen hitaasti imeytyvä proteiini saattaa aiheuttaa pidemmän vasteen proteiinisynteesin määrässä suurella kerta-annoksella. Lisää tutkimusta kuitenkin tarvitaan tältä osin; voisiko vieläkin suuremmalla proteiiniannoksella saada paremmat vasteet proteiinisynteesin määrässä? Entä kuinka 50 g kerta-annos vertautuisi 100 g kerta-annokseen proteiinisynteesin määrän suhteen? Joka tapauksessa Trommelenin ym. (2023) tutkimuksessa 100 g kerta-annos maitoproteiinia voimaharjoituksen jälkeen aiheutti suuremman proteiinisynteesin verrattuna 25 g kerta-annokseen. Trommelen ym. (2023) esittivät mahdolliseksi teoriaksi, miksi aiemmissa annos-vaste -tutkimuksissa ei olla saatu vastaavia tuloksia, että niissä proteiinisynteesin määrää mitattu aika on ollut liian lyhyt. Näin ollen aminohapot eivät olisi ehtineet ruoansulatuselimistöstä verenkiertoon ja perifeerisiin kudoksiin. Tällöin on päädytty olettamukseen, että loput nautitut aminohapot ovat päätyneet hapetettavaksi, eivätkä ne ole lisänneet proteiinisynteesin määrää elimistössä. Trommelen ym. (2023) seurasivat proteiinisynteesin tasoa ja aminohappojen oksidaation määrää 12 tunnin ajan proteiiniannoksen nauttimisesta, kun taas aiemmissa tutkimuksissa näitä muuttujia on seurattu enintään 6 tunnin ajan (Trommelen ym. 2023). Kuten kuvasta 4 näkee, proteiinisynteesi oli korkeampaa ja kesti kauemmin suuremmalla annoksella. Urheilijan voikin siis olla hyödyllistä nauttia jopa näin suuri kerta-annos maksimaalisen palautumisen ja harjoitusvasteen saavuttamiseksi harjoituksen jälkeen. Trommelen ym. (2023) tutkimus ei kuitenkaan ota kantaa erityisemmin siihen, kuinka



paljon proteiinia tulisi saada vuorokaudessa, vaan kuinka suuren kerta-annoksen ihmiskeho pystyy hyödyntämään. Tämä vaikuttaa siihen, kuinka monta kertaa vuorokaudessa on tarpeellista syödä anabolian maksimoimiseksi.



KUVA 4. Visuaalinen tiivistelmä tutkimuksesta, jossa selvitettiin aiheuttaako 100 g annos maitoproteiinia suuremman anabolisen vasteen kuin 25 g. (Trommelen ym. 2023)

Helmsin ym. (2014) meta-analyysin mukaan proteiinin tarve energiavajeessa olevilla voimaharjoittelevilla henkilöillä nousee jopa 2,3–3,1 g/kg/FFM (fat free mass, rasvaton massa) lihasmassan ylläpitämisen maksimoimiseksi. Tähän vaikuttaa voimaharjoittelijoiden energian rajoittamisen määrä sekä kehon rasvattomuus (Helms ym. 2014).

## 4.2 Proteiinsaannin ajoitus ja proteiinin laatu

Tukeakseen luurankolihasien palautumista ja parantaakseen harjoituksen jälkeisiä voima- ja hypertrofiavasteita, tulee voimaharjoittelijan nauttia proteiinia ennen, aikana ja jälkeen voimaharjoittelun. Proteiinsaannilla näinä ajanjaksoina on positiivinen vaikutus proteiinisynteesiin. (Amawi ym 2024). Wirth ym. (2020) totesivat systemaattisessa katsauksessaan (n = 2907) kuitenkin, että proteiinsaannin ajoituksella ei ollut vaikutusta rasvattomaan massaan.

Amawin ym. (2024) mukaan proteiinin lähteet voidaan jakaa kahteen kategoriaan sen mukaan sisältävätkö ne kaikki välttämättömät aminohapot. Täydelliset proteiinin lähteet (complete protein sources) sisältävät kaikki ihmiselle välttämättömät aminohapot ja näitä ovat eläinperäiset proteiinin lähteet. Epätäydelliset proteiinin lähteet (incomplete protein sources) taas eivät sisällä kaikkia ihmiselle välttämättömiä aminohappoja. Kasvipäriset proteiinin lähteet ovat epätäydellisiä proteiinin lähteitä, eivätkä ne siis sisällä kaikkia ihmiselle välttämättömiä aminohappoja. Proteiinin lähteitä lajitellaan eri laatuiseksi niiden aminohappokoostumuksen lisäksi myös imeytyvyyden perusteella. Kaseiini, heraproteiini ja munista peräisin oleva proteiini saavat proteiinin lähteiden laatuoluokituksessa, jossa huomioidaan proteiinin lähteen aminohappokoostumus ja imeytyvyys, täydet pisteet (100 pistettä), kun taas punainen liha saa 92 pistettä. Kasvipäriset proteiinin lähteet sijoittuvat tyypillisesti välille 45–75 pistettä. Kasvipäriset proteiinin lähteet eivät siis tyypillisesti sisällä kaikkia välttämättömiä aminohappoja, eikä niiden sisältämä proteiini imeydy täysin ihmisen ruoansulatuskanavasta verenkiertoon. Yleisimpiä kasvipärisistä proteiinin lähteistä liian vähän saatavia välttämättömiä aminohappoja ovat metioniini ja lysiini. On tärkeää myös ymmärtää, että proteiineilla on vajavainen kyky toimia energianlähteenä liikunnan aikana. Hiilihydraatit sen sijaan toimivat pääasiallisena energianlähteenä. (Amawi ym. 2024)

## 5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

**Tutkimuskysymys 1:** Onko ravinnosta saadun eläinproteiinin käyttötiheydellä ja harjoitusjakson aikana saavutetulla ulomman reisilihaksen lihashypertrofiolla yhteyttä?

**Hypoteesi ja perustelut:** Kyllä. Wirthin ym. (2020) meta-analyysin mukaan lisääntynyt proteiininsaanti parantaa voimaharjoitteluadaptaatioita lihashypertrofian osalta. Amawin ym. (2024) mukaan eläinperäiset proteiinin lähteet sisältävät kaikki ihmiselle välttämättömät aminohapot, sekä kasviproteiineja enemmän haaraketjuisia aminohappoja, ja näin ollen ne ovat anabolisempia kuin kasviproteiini. Lisäksi eläinproteiini imeytyy paremmin ja stimuloi enemmän proteiinisynteesiä (Amawi ym. 2024). Mortonin ym. (2018) mukaan lisääntynyt proteiininsaanti lisää lihaksen poikkipinta-alan kehitystä voimaharjoitusjakson aikana, tilastollisesti merkitsevästi, 1,62 g/kg/vrk proteiininsaantiin saakka.

**Tutkimuskysymys 2:** Onko ravinnosta saadun eläinproteiinin käyttötiheydellä ja harjoitusjakson aikana saavutetulla ulomman reisilihaksen lihashypertrofiolla yhteyttä harvimmin, keskimääräisesti ja useimmin ravinnosta eläinproteiinia saavien ryhmien sisällä?

**Hypoteesi ja perustelut:** Ei. Eri ryhmien sisällä olevat erot eläinproteiinin saannissa eivät todennäköisesti vaikuta voimaharjoittelujakson aikana saavutettuun ulomman reisilihaksen lihashypertrofiaan, koska erot eläinproteiinin saannissa ryhmien sisällä ovat niin pienet. Kuten Lim ym. (2022) totesivat, voimaharjoittelun aikaansaamiin adaptaatioihin vaikuttavat useat tekijät. Ruokavalio on voimaharjoittelun vasteisiin vaikuttavista ulkoisista tekijöistä vain yksi ja proteiininsaanti on vain yksi ruokavalion osa-alue. Ruokavalion lisäksi voimaharjoittelun adaptaatioihin vaikuttaa muun muassa harjoitusohjelma, mekanotransduktio, geenien ilmentyminen, satelliittisolujen aktiivisuus ja ribosomit (Lim ym. 2022). Ruokavaliossa voimaharjoittelun adaptaatioihin vaikuttaa proteiininsaannin lisäksi myös kokonaisenergiansaanti, hiilihydraattien saanti, rasvan saanti sekä mikroravintoaineiden saanti (Amawi ym. 2024). Schoenfeldin (2010) mukaan voimaharjoittelun ja ravinnosta saatavan proteiinin lisäksi voimaharjoittelun adaptaatioihin vaikuttaa muun muassa genetiikka, edistyneisyys, ikä, sekä sukupuoli.

## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellisen tiedekunnan PreEx-tutkimusprojektista. Tutkimusprojektin datankeruu tapahtui touko- syyskuun 2023 aikana. Kaikki mittaukset toteutettiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen laboratoriossa Vivecalla. Tutkimusprojekti on saanut Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan hyväksynnän.

Tutkimukseen osallistui 170 tutkittavaa, 54 miestä ja 116 naista. Tutkittavien keski-ikä oli  $36,2 \pm 6,4$  vuotta ja BMI  $26,0 \pm 4,1$  kg/m<sup>2</sup>. Tutkittavat olivat ennestään voimaharjoittelemattomia, eivätkä he noudattaneet erityisruokavalioita tai yrittäneet vaikuttaa ruokavalion avulla kehonkoostumukseensa. Rekrytointi tapahtui sosiaalisen median ja lehti-ilmoitusten avulla. Tutkimukseen osallistuminen oli vapaaehtoista. Voimaharjoittelujakso kesti 12 viikkoa ja kunkin viikon aikana tutkittavat suorittivat kaksi ohjattua voimaharjoitusta. Nelipäistä reisilihasta kuormittavia liikkeitä tehtiin jokaisessa harjoituksessa kaksi liikettä, jalkaprässi ja polvenojennus laitteessa. Harjoitusohjelman liikkeitä tehtiin 4 sarjaa jokaisessa harjoituksessa, eli viikon aikana nelipäistä reisilihasta kuormittavia sarjoja tehtiin yhteensä 16. Lisäksi ylävartalolle tehtiin kolme liikettä kussakin harjoituksessa.

Tutkittavat (n = 170) jaettiin mahdollisimman samankokoisiin kolmeen ryhmään heidän täyttämänsä ruokavalioindeksi -kyselyn perusteella. Kyselystä otettiin huomioon heidän pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden, eli kala-, kana- ja liharuokien, käyttö viikossa kertoina. Tätä määrää kuvataan tutkimuksessa myös ”eläinproteiinin lähteet viikossa”, sekä ”eläinproteiinin saanti” -nimityksillä. Matalimman eläinproteiinin saannin ryhmään kuului 57 koehenkilöä, keskimmäisen eläinproteiinin saannin ryhmään kuului 56 henkilöä ja korkeimman eläinproteiinin saannin ryhmään kuului 57 henkilöä.

### 6.1 Mittaukset

Harjoitusjakson alussa teetetyt ruokavalioindeksi -kyselyn tulosten perusteella laskettiin, montako pääruokatyypistä eläinproteiinin lähteen sisältävää annosta kukin tutkittava söi viikossa. Tutkimuksessa ei otettu huomioon maitotuotteita, leikkeleitä tai makkararuokia, vaan ainoastaan liha-, kala- ja kanaruoat. Ruokavalioindeksi -kyselyyn tutkittavat ilmoittivat

kyseisten ruokien käytön määrän annoksina viikossa. Maitotuotteiden, makkararuokien sekä leikkeleiden pois jättämisen syynä oli niiden vaihteleva proteiinin määrä, ja/tai vähäinen proteiinin määrä yhdessä annoksessa. Vaihtelevien proteiinin määrien vuoksi maitotuotteiden, leikkeleiden sekä makkararuokien vertailu pääruokatyypisiin eläinproteiinin lähteen sisältäviin ruokiin olisi epäluotettavaa. Lisäksi näissä tuotteissa nautittava annoskoko on todennäköisesti pienempi, kuin pääruokatyypisissä eläinproteiinin lähteen sisältävissä ruoissa. Tutkittavia ohjeistettiin jatkamaan normaaleita ruokailutottumuksiaan tutkimuksen ajan.

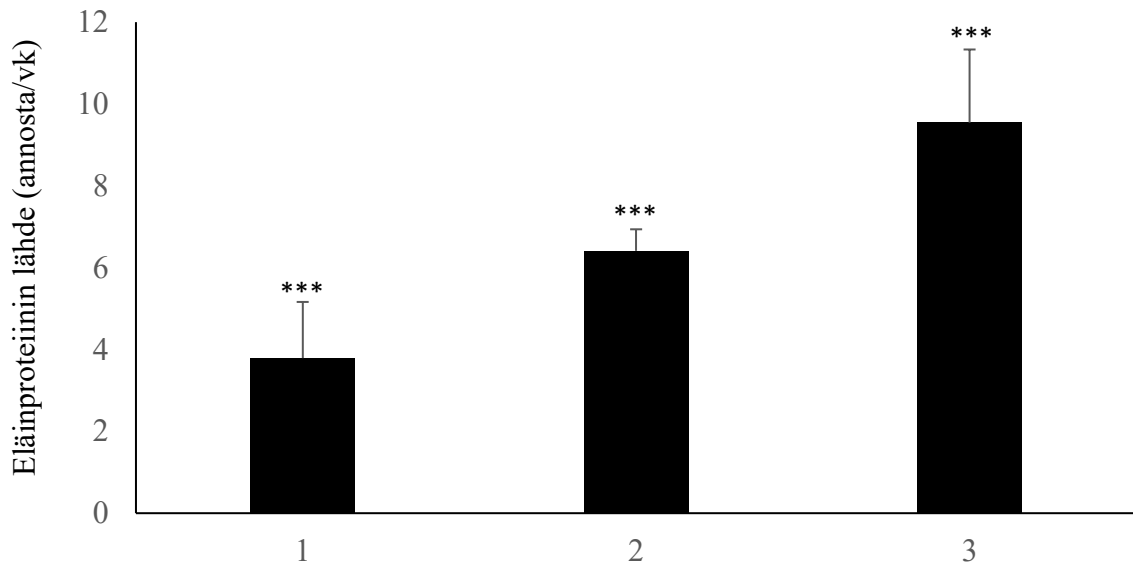
Tutkittavien lihashypertrofiaa mitattiin uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan (VL CSA, vastus lateralis cross-sectional area) kasvuna. Poikkipinta-ala mitattiin ultraäänellä ja kaikki mittaukset sekä analysoinnit toteutti sama tutkija. Uloimman reisilihaksen ultraäänikuvien analysointiin käytettiin ImageJ-ohjelmaa (National institute of health, Bethesda, Maryland, Yhdysvallat). Ultraäänikuvien ottamiseen käytettiin leveää äänipäätä 13 MHz taajuudella (SSD-a10, Aloka Co. Ltd, Tokio, Japani), laajennettua näkökentän tilaa, sekä hyödynnettiin heijastusintensiteettiä. Ultraäänikuvat otettiin kaikilta tutkittavilta oikeasta jalasta.

## **6.2 Tilastolliset menetelmät**

Tutkimuksessa saadut tulokset analysoitiin tilastollisen analyysiohjelmiston avulla. Ohjelmistona toimi IBM SPSS Statistics-ohjelma, versio 28.0.1.1 (15). Eri ryhmien väliseen vertailuun käytettiin yksisuuntaista varianssianalyysiä, sekä Bonferronin Post Hoc -testiä. Eläinproteiinin saannin ja lihashypertrofian välistä yhteyttä tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Yksisuuntaista varianssianalyysiä ja Pearsonin korrelaatiokerrointa käytettiin, vaikka aineistot eivät olleet normaalisti jakautuneet, tutkittavien suuresta määrästä johtuen. Lisäksi tutkittavien uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan ennen ja jälkeen arvojen analysointiin käytettiin parittaista t-testiä. Tilastollisen merkitsevyyden rajana tilastoanalyysissä käytettiin  $p < 0,05$ . Tulokset ovat ilmoitettu sekä keskiarvoina että -hajontoina.

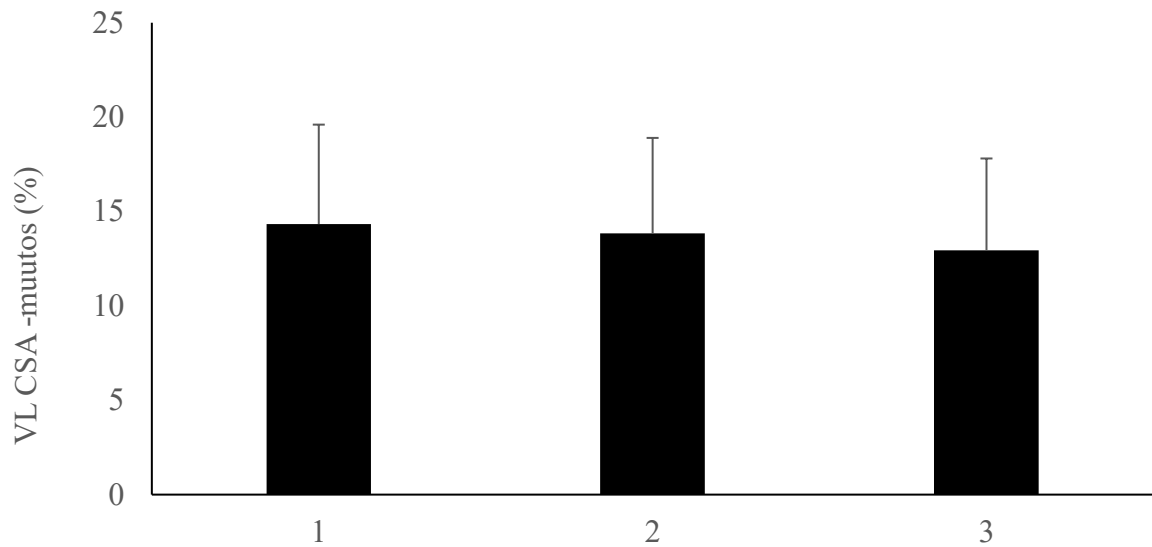
## 7 TULOKSET

Yksisuuntaisen varianssianalyysin mukaan kaikkien kolmen ryhmän välisissä pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyksissä oli tilastollisesti merkitsevät erot ( $p < 0,001$ ). Ryhmien eläinproteiinin lähteiden saannit viikossa on esitetty kuvassa 4.



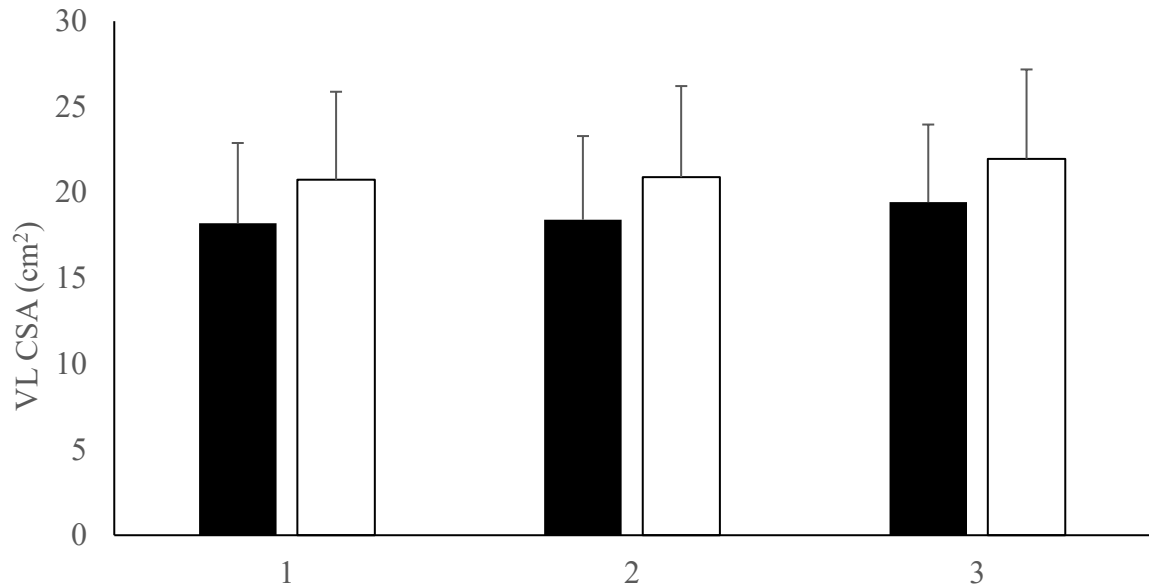
KUVA 4. Eri ryhmien eläinproteiinin lähteiden saanti viikossa esitettynä keskiarvoina. Hajontapylväät kuvaavat keskihajontaa. 1 = matalimman saannin ryhmä ( $n = 57$ ), 2 = keskimmäisen saannin ryhmä ( $n = 56$ ), 3 = korkeimman saannin ryhmä ( $n = 57$ ). \*\*\* tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ( $p < 0,001$ ) molempiin muihin ryhmiin verrattuna.

Eri eläinproteiinin saannin ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja uloimman reisilihaksen poikkileikkaus pinta-alan suhteellisessa muutoksessa harjoitusjakson aikana ( $p = 0,335$ ). Eri eläinproteiinin saannin ryhmien ulomman reisilihaksen poikkileikkaus pinta-alan suhteellinen muutos on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Eri ryhmien ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan prosentuaalinen muutos harjoitusjakson aikana esitettynä keskiarvoina. Hajontapylväät kuvaavat keskihajontaa. 1 = matalimman saannin ryhmä (n = 57), 2 = keskimmäisen saannin ryhmä (n = 56), 3 = korkeimman saannin ryhmä (n = 57). Ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa (p = 0,335).

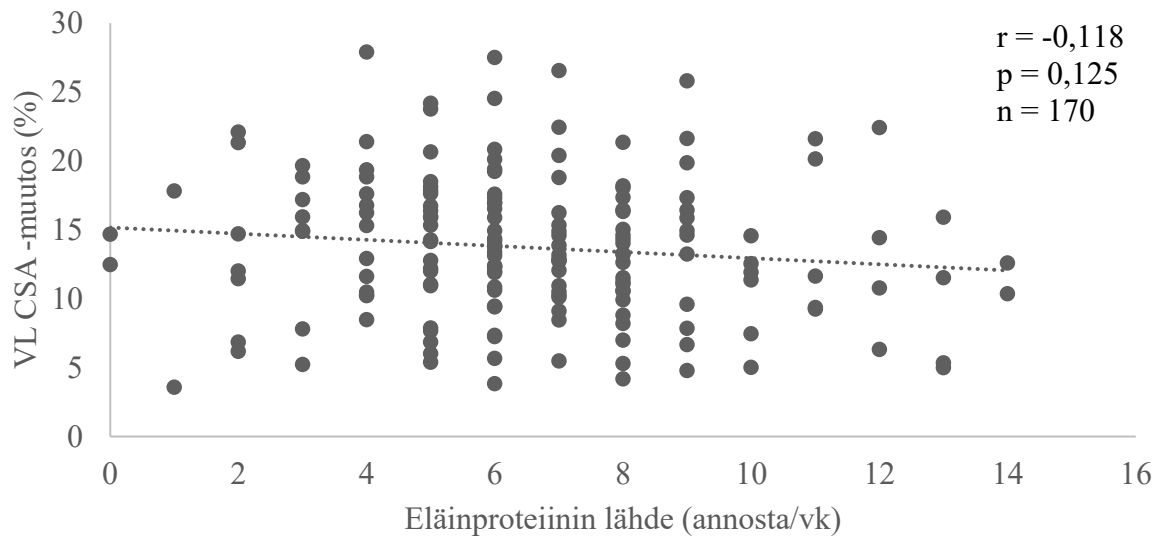
Kaikkien eläinproteiinin saannin ryhmien uloimman reisilihaksen poikkileikkauspinta-ala kasvoi harjoitusjakson aikana tilastollisesti merkitsevästi (p < 0,001). Kuvassa 6 on esitetty kunkin ryhmän keskiarvoinen ulomman reisilihaksen poikkileikkauspinta-alan muutos harjoitusjakson aikana.



KUVA 6. Eri ryhmien ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala ennen ja jälkeen harjoitusjakson keskiarvoina. Hajontapylväät kuvaavat keskihajontaa. Musta = pre, valkoinen = post. 1 = matalimman saannin ryhmä (n = 57), 2 = keskimmäisen saannin ryhmä (n = 56), 3 = korkeimman saannin ryhmä (n = 57). Kaikissa ryhmissä saavutettu poikkipinta-alan kasvu on tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0,001$ ).

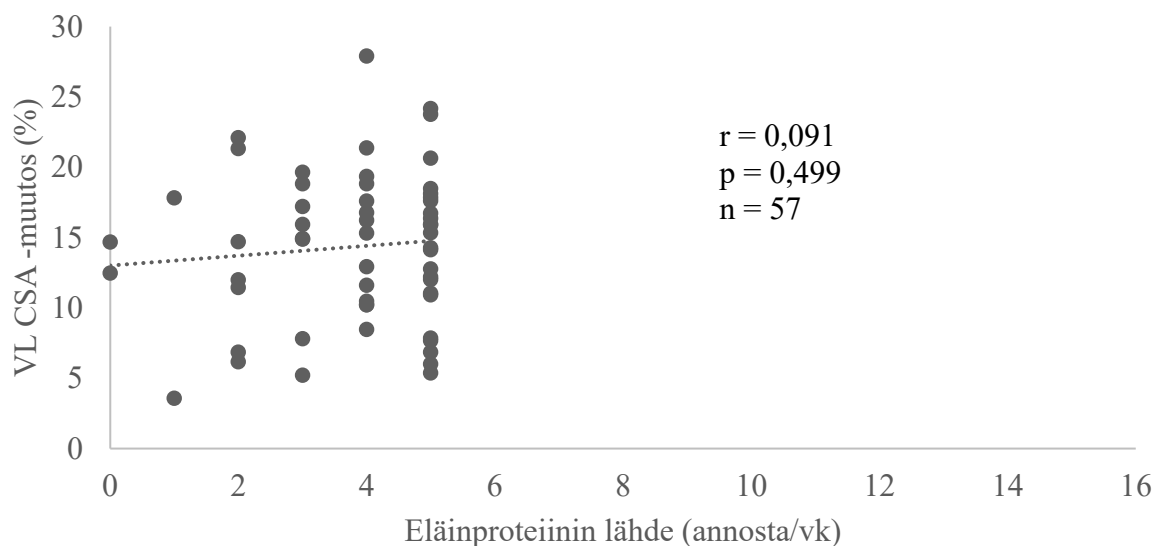
Pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan kehityksen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä ( $p = 0,125$ ,  $r = -0,118$ ). Kuvassa 7 on esitetty kaikkien tutkittavien ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan suhteellisen muutoksen sekä eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden välinen yhteys.



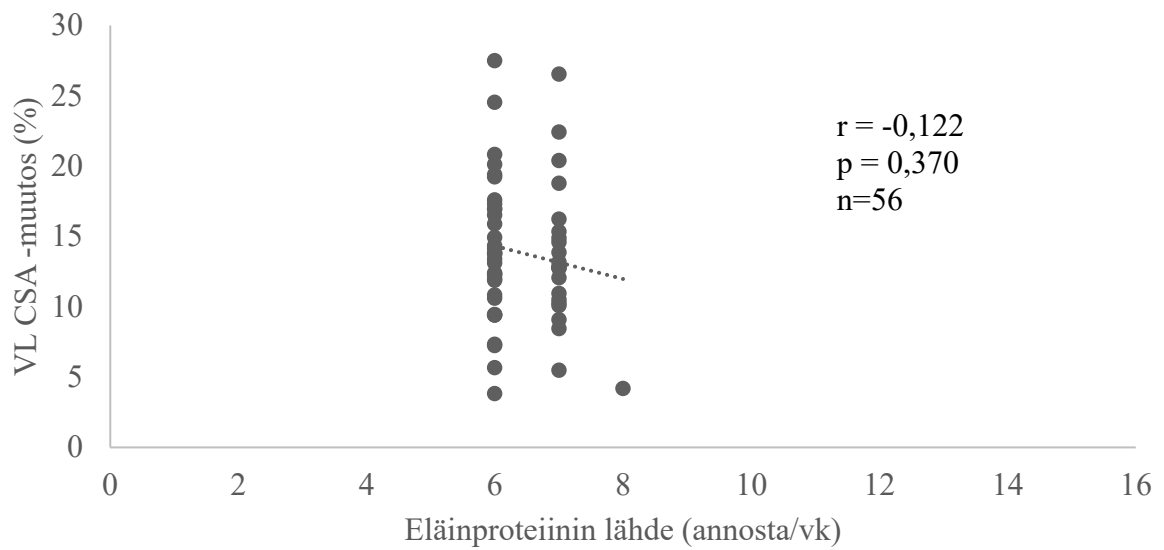


KUVA 7. Kaikkien tutkittavien eläinproteiinin saannin ja VL CSA % muutoksen välinen yhteys.

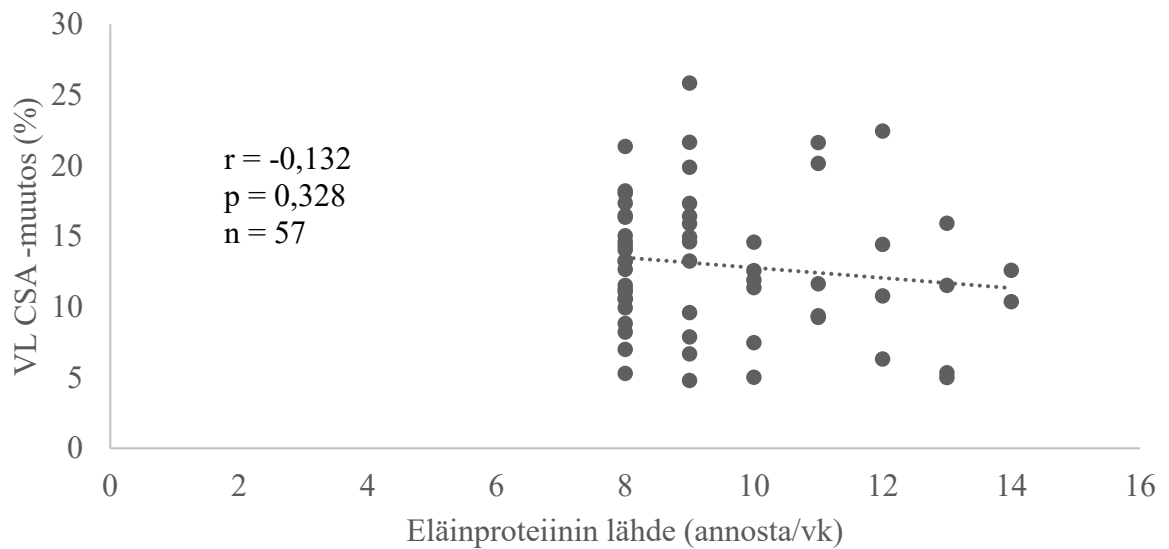
Myöskään ryhmien sisällä pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan kehityksen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä. Kuvassa 8 on esitetty matalimman eläinproteiinin saannin ryhmän tulokset, kuvassa 9 on esitetty keskimmäisen ryhmän tulokset ja kuvassa 10 on esitetty korkeimman eläinproteiinin saannin ryhmän tulokset.



KUVA 8. Matalimman eläinproteiinin saannin ryhmän eläinproteiinin saannin ja VL CSA % muutoksen välinen yhteys.



KUVA 9. Keskimmäisen eläinproteiinin saannin ryhmän eläinproteiinin saannin ja VL CSA % muutoksen välinen yhteys.



KUVA 10. Korkeimman eläinproteiinin saannin ryhmän eläinproteiinin saannin ja VL CSA % muutoksen välinen yhteys.

## 8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan muutoksen välillä yhteyttä 12 viikon voimaharjoittelujakson aikana harjoittelemattomilla aikuisilla. Kyseistä yhteyttä tutkittiin sekä kaikkien tutkittavien kesken että kolmen eri eläinproteiinin saannin ryhmän sisällä.

Tässä luvussa tutkimuksen tuloksia vertaillaan aikaisempaan tutkimustietoon ja pohditaan mahdollisia syitä tulosten taustalla. Lisäksi tutkimuksen luotettavuutta tarkastellaan kriittisesti, sekä pohditaan tutkimuksen validiteettia. Lopuksi tehdään yhteenveto tutkimuksesta ja johtopäätöksistä, sekä esitellään lisätutkimuksen tarvetta.

### 8.1 Tulosten tarkastelu

12 viikon voimaharjoitusjakson aikana uloimman reisilihaksen poikkipinta-ala (VL CSA) kasvoi tilastollisesti merkitsevästi. Jokaisella tutkittavalla havaittiin VL CSA kasvua. Keskiarvallisesti mitattuna tutkittavien VL CSA kasvoi harjoitusjakson aikana noin 14 %. Roberts ym. (2023) mukaan voimaharjoittelu säännöllisesti suoritettuna voi johtaa 8–16 viikon harjoitusjakson aikana 5–20 % kasvuun lihasmassassa nuorilla ja keski-ikäisillä aikuisilla. Näin ollen tämän tutkimuksen tulokset vastaavat aiempaa tutkimuskirjallisuutta saavutetun lihashypertrofian osalta.

Lishypertrofian ja pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä, hypoteesin vastaisesti. Myöskään eri eläinproteiinin saannin ryhmien sisällä, lihashypertrofian ja eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden välillä, ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä, hypoteesin mukaisesti.

Phillipsin ja Van Loon (2011) mukaan proteiinisynteesi maksimoidaan saamalla 1,3–1,8 g/kg proteiinia vuorokaudessa, jaettuna 3–4 annokseen. Mortonin ym. (2018) mukaan 1,62 g/kg/vrk ylittävä proteiininsaanti ei lisää tilastollisesti merkitsevästi lihashypertrofiaa. Lisäksi voimaharjoitelleet henkilöt hyötyvät korkeammista proteiininsaannin määristä, kuin voimaharjoittelemattomat (Morton ym. 2018). Näin ollen on mahdollista, että tässä

tutkimuksessa voimaharjoittelemattomat henkilöt saivat joka tapauksessa ravinnosta lihashypertrofian maksimoivan annoksen proteiinia päivittäin. Tällaisessa tilanteessa, aiemman tutkimuskirjallisuuden perusteella, pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheydellä ei olisi vaikutusta harjoitusjakson aikana saavutettuun lihashypertrofiaan.

## 8.2 Tutkimuksen rajoitteet ja kriittinen tarkastelu

Vaikka tutkimus tutkikin pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden (kala-, kana- ja liharuoat) yhteyttä uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan kasvuun, ei se anna vakuuttavaa kuvaa proteiinin saannin yhteydestä lihashypertrofiaan. Eläinperäiset proteiininlähteet ovat vain osa kokonaisproteiinin saannista. Lisäksi tässä tutkimuksessa otettiin huomioon vain osa eläinperäisistä proteiinin lähteistä. Kala-, kana- ja liharuoat voivat olla osalla ihmisistä merkittävin osuus käytettävistä eläinproteiinin lähteistä, mutta osalla ihmisistä maitotuotteet voivat esimerkiksi koostaa suurimman osa ruokavalion eläinproteiinin lähteistä. Maitotuotteiden lisäksi tässä tutkimuksessa ei otettu eläinproteiinin lähteistä huomioon leikkeletyypisiä ruokia, pikaruokia, eikä makkararuokia.

Ruokavalioideksi -kysely ei mittaa tutkittavien kokonaisproteiinin saantia, eikä edes tutkittavien pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttömääriä. Tutkimus perustuu ainoastaan pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden keskimääräiseen käyttötiheyteen viikon aikana. Näin ollen on mahdollista, että henkilöt, jotka ovat tässä tutkimuksessa jaoteltu matalimman eläinproteiinin saannin ryhmään, voivat tosiasiallisesti saada ruokavaliostaan enemmän proteiinia kokonaisuudessaan, sekä jopa enemmän eläinproteiinia, kuin korkeimpaan eläinproteiinin saannin ryhmään jaotellut henkilöt. Tällainen tilanne olisi mahdollinen esimerkiksi, jos matalimman proteiinin saannin ryhmässä oleva henkilö käyttää ruokavaliossaan runsaasti maitotuotteita ja leikkeleitä, tai syö pääruokatyypistä eläinproteiinin lähdettä hyvin suuren annoksen kerralla. Korkeimman proteiinin saannin ryhmään on saattanut päätyä matalan kokonaisproteiinin saannin omaava tutkittava, mikäli hän ei saa kasvipäisiä proteiinin lähteitä ruokavaliostaan lähes lainkaan ja eläinperäisten proteiinin lähteiden annoskoot ovat hyvin pieniä, eikä käytössä ole lainkaan esimerkiksi maitotuotteita. Ottaen huomioon edellä luetellut seikat, tämä tutkimus ei kerro kokonaisproteiinin saannin ja lihashypertrofian välisistä yhteyksistä, vaan ainoastaan pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja lihashypertrofian välisistä yhteyksistä.

Wirthin ym. (2020) mukaan proteiinin saannin ajoituksella ja rasvattomalla massalla ei ole keskenään yhteyttä. Näin ollen eläinproteiinin lähteiden käyttötiheydellä ei itsessään olisi merkittävää vaikutusta lihashypertrofiaan, vaan kokonaisproteiinin saanti ja eläinproteiinin saanti ovat lihashypertrofian kannalta merkityksellisempiä tekijöitä. Trommelenin ym. (2023) mukaan harjoituksen jälkeen kerta-annoksena nautittu 100 g proteiinia stimuloi proteiinisynteesiä huomattavasti enemmän kuin 25 g kerta-annos. Samassa tutkimuksessa havaittiin myös proteiinisynteesin kestävän pidempään, vähintään 12 tunnin ajan. Trommelenin ym. (2023) tutkimuksen perusteella siis proteiininlähteiden käyttötiheys ei ole välttämättä merkittävä vaikuttava tekijä lihashypertrofian kannalta. Päivän aikana syötävän proteiinin määrän voi syödä jopa yhdellä tai kahdella annoksella, ilman että merkittävä osuus saaduista aminohapoista hapetettaisiin.

Osa tutkimuksen koehenkilöistä käytti lisäravinteita, joilla saattaa olla vaikutusta lihashypertrofiaan. Lisäravinteita, joita osalla tutkittavista oli käytössä, olivat muun muassa kreatiini ja proteiinilisät. Erityisesti proteiinilisät ovat sekoittava tekijä, kun jaetaan tutkittavia ravinnosta saatavan proteiinin määrän perusteella ryhmiin. Mikäli tutkittavien proteiinin saantia tarkastellaan grammamäärinä, on lisäravinteista saatu proteiini helppo sisällyttää mukaan. Tässä tutkimuksessa se kuitenkin on sekoittava tekijä, sillä proteiinia ei tarkastella grammamäärinä, vaan pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheytenä viikon aikana.

Tutkimuksessa käytetyn voimaharjoittelujakson ollessa 12 viikon mittainen, ei voida tietää olisivatko tulokset eronneet pidemmän, esimerkiksi 24 viikon, harjoitusjakson jälkeen. Lisäksi tutkimuksessa ei ole otettu huomioon tutkittavien sukupuolia. Schoenfeldin (2010) mukaan sukupuoli on lihashypertrofiaan vaikuttava tekijä. Näin ollen naisten ja miesten tarkasteleminen erillisinä tutkittavien ryhminä olisi saattanut johtaa eri lopputuloksiin.

Yksi tutkimuksen rajoite on, että tieto eläinproteiinin lähteiden käyttötiheydestä kerättiin kyselytutkimuksella. Kyselytutkimuksella kerätty tieto ei välttämättä ole tarkka. Osa tutkittavista on esimerkiksi voinut unohtaa osan tavallisesti syömistään pääruokatyypisen eläinproteiinin lähteen sisältävistä aterioista. Tässäkin mielessä satunnaistettu kontrolloitu tutkimus samasta aiheesta antaisi varmempaa tietoa pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja lihashypertrofian välisistä yhteyksistä.

### 8.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimus osoittaa, että pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheydellä ja harjoitusjakson aikana saavutetulla lihashypertrofiolla ei ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä. Tutkimus ei kuitenkaan kerro luotettavasti kokonaisproteiinin saannin, ja/tai eläinproteiinin saannin, sekä lihashypertrofian välisistä yhteyksistä.

Proteiininsaannin ja lihashypertrofian välisen yhteyden ollessa tutkimuskirjallisuuden mukaan selvä tiettyyn kokonaisproteiinin saannin määrään saakka (Roberts ym. 2017; Wirth ym. 2020), voidaan olettaa, että tutkimuksen koehenkilöt saivat kaikki riittävästi proteiinia merkittävän lihashypertrofian aikaansaamiseksi. Näin ollen tutkittavien pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheydellä ja lihashypertrofiolla ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä.

Vaikka tutkimus ei kerrokaan kokonaisproteiinin saannin ja lihashypertrofian välisestä yhteydestä, se kertoo luotettavasti pääruokatyypisten eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja lihashypertrofian välisestä yhteydestä. Tutkimus kertoo juuri tästä yhteydestä luotettavasti, sillä tutkittavien määrä oli suuri ( $n = 170$ ), he kaikki noudattivat samaa voimaharjoitusohjelmaa sekä vastasivat samaan ruokavalioideksi -kyselyyn.

Kokonaisproteiinin saannin ja lihashypertrofian välistä yhteyttä on aiemmassa tutkimuskirjallisuudessa pohdittu laajasti ja aiheesta on tehty useita meta-analyysejä (Morton ym. 2018). Tämän tutkimuksen kaltaisia tietyn ruokaryhmän ja lihashypertrofian välistä yhteyttä tutkivia tutkimuksia ei kuitenkaan ole tehty paljoa. Seuraavaksi tämän tutkimusalueen tutkimukseksi voisi suositella satunnaistettua kontrolloitua tutkimusta eläinproteiinin lähteiden käyttötiheyden ja lihashypertrofian välisestä yhteydestä. Satunnaistettu kontrolloitu tutkimus antaisi luotettavampaa tietoa käyttötiheyden ja lihashypertrofian yhteydestä, sillä absoluuttinen tutkittavasta ruokaryhmästä saatava proteiinin määrä voitaisiin pitää vakioituna. Sama määrä proteiinia voitaisiin jakaa esimerkiksi 5 ja 1–2 annokseen vuorokaudessa tutkittavien kesken.

## LÄHTEET

- Amawi, A., AlKasasbeh, W., Jaradat, M., Almasri, A., Alobaidi, S., Hammad, A. A., Bishtawi, T., Fataftah, B., Turk, N., Saoud, H. A., Jarrar, A. & Ghazzawi, H. (2024). Athletes' nutritional demands: a narrative review of nutritional requirements. *Frontiers in Nutrition* 10, 1331854. doi:10.3389/fnut.2023.1331854.
- Baranauskas, M., Kupčiūnaitė, I. & Stukas, R. (2023). Dietary Intake of Protein and Essential Amino Acids for Sustainable Muscle Development in Elite Male Athletes. *Nutrients* 15 (18), 4003. doi:10.3390/nu15184003.
- 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. (2023). Resistance training prescription for muscle strength and hypertrophy in healthy adults: a systematic review and Bayesian network meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 57 (18), 1211–1220. doi:10.1136/bjsports-2023-106807.
- Ethgen, O., Beaudart, C., Buckinx, F., Bruyère, O. & Reginster, J. Y. (2017). The Future Prevalence of Sarcopenia in Europe: A Claim for Public Health Action. *Calcified Tissue International* 100 (3), 229–234. doi:10.1007/s00223-016-0220-9.
- Hanach, N. I., McCullough, F. & Avery, A. (2019). The Impact of Dairy Protein Intake on Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance in Middle-Aged to Older Adults with or without Existing Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Advances in Nutrition (Bethesda, Md.)* 10 (1), 59–69. doi:10.1093/advances/nmy065.
- Helms, E. R., Zinn, C., Rowlands, D. S. & Brown, S. R. (2014). A systematic review of dietary protein during caloric restriction in resistance trained lean athletes: a case for higher intakes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 24 (2), 127–138. doi:10.1123/ijsnem.2013-0054.
- Henselmans, M. & Schoenfeld, B. J. (2014). The effect of inter-set rest intervals on resistance exercise-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 44 (12), 1635–1643. doi:10.1007/s40279-014-0228-0.
- Hornberger, T. A., Chu, W. K., Mak, Y. W., Hsiung, J. W., Huang, S. A. & Chien, S. (2006). The role of phospholipase D and phosphatidic acid in the mechanical activation of mTOR signaling in skeletal muscle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (12), 4741–4746. doi:10.1073/pnas.0600678103.

- Jewell, J. L., Russell, R. C. & Guan, K.-L. (2013). Amino acid signalling upstream of mTOR. *Nature Reviews. Molecular Cell Biology* 14 (3), 133–139. doi:10.1038/nrm3522.
- Lim, C., Nunes, E. A., Currier, B. S., McLeod, J. C., Thomas, A. C. Q. & Phillips, S. M. (2022). An Evidence-Based Narrative Review of Mechanisms of Resistance Exercise-Induced Human Skeletal Muscle Hypertrophy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 54 (9), 1546–1559. doi:10.1249/MSS.0000000000002929.
- Miyazaki, M. & Esser, K. A. (2009). Cellular mechanisms regulating protein synthesis and skeletal muscle hypertrophy in animals. *Journal of Applied Physiology* 106 (4), 1367–1373.
- Moore, D. R. (2019). Maximizing Post-exercise Anabolism: The Case for Relative Protein Intakes. *Frontiers in Nutrition* 6, 147. doi:10.3389/fnut.2019.00147.
- Morton, R. W., Murphy, K. T., McKellar, S. R., Schoenfeld, B. J., Henselmans, M., Helms, E., Aragon, A. A., Devries, M. C., Banfield, L., Krieger, J. W. & Phillips, S. M. (2018). A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *British Journal of Sports Medicine* 52 (6), 376–384. doi:10.1136/bjsports-2017-097608.
- Phillips, S. M. & Van Loon, L. J. C. (2011). Dietary protein for athletes: from requirements to optimum adaptation. *Journal of Sports Sciences* 29 Suppl 1, S29-38. doi:10.1080/02640414.2011.619204.
- Roberts, J., Zinchenko, A., Suckling, C., Smith, L., Johnstone, J. & Henselmans, M. (2017). The short-term effect of high versus moderate protein intake on recovery after strength training in resistance-trained individuals. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 14, 44. doi:10.1186/s12970-017-0201-z.
- Roberts, M. D., McCarthy, J. J., Hornberger, T. A., Phillips, S. M., Mackey, A. L., Nader, G. A., Boppart, M. D., Kavazis, A. N., Reidy, P. T., Ogasawara, R., Libardi, C. A., Ugrinowitsch, C., Booth, F. W. & Esser, K. A. (2023). Mechanisms of mechanical overload-induced skeletal muscle hypertrophy: current understanding and future directions. *Physiological Reviews* 103 (4), 2679–2757. doi:10.1152/physrev.00039.2022.
- Schiaffino, S., Reggiani, C., Akimoto, T. & Blaauw, B. (2021). Molecular Mechanisms of Skeletal Muscle Hypertrophy. *Journal of Neuromuscular Diseases* 8 (2), 169–183. doi:10.3233/JND-200568.



- Schoenfeld, B. J. (2010). The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. *Journal of Strength & Conditioning Research* 24 (10), 2857–2872.
- Trommelen, J., van Lieshout, G. A. A., Nyakayiru, J., Holwerda, A. M., Smeets, J. S. J., Hendriks, F. K., van Kranenburg, J. M. X., Zorenc, A. H., Senden, J. M., Goessens, J. P. B., Gijsen, A. P. & van Loon, L. J. C. (2023). The anabolic response to protein ingestion during recovery from exercise has no upper limit in magnitude and duration in vivo in humans. *Cell Reports. Medicine* 4 (12), 101324. doi:10.1016/j.xcrm.2023.101324.
- Wirth, J., Hillesheim, E. & Brennan, L. (2020). The Role of Protein Intake and its Timing on Body Composition and Muscle Function in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *The Journal of Nutrition* 150 (6), 1443–1460. doi:10.1093/jn/nxaa049.
- Zanchi, N. & Lancha Jr, A. (2008). Mechanical stimuli of skeletal muscle: Implications on mTOR/p70s6k and protein synthesis. *European journal of applied physiology* 102, 253–263. doi:10.1007/s00421-007-0588-3.