

RAVITSEMUKSEN MERKITYS VOIMAHARJOITTELUN
AIHEUTTAMAN VIIVÄSTYNEEN LIHASARKUUDEN SYNNYSSÄ JA
EHKÄISEMISESSÄ

Jaakola Vili
Kandidaatintyö
Ravitsemustiede
Lääketieteen laitos
Terveystieteiden tiedekunta
Itä-Suomen Yliopisto
Lokakuu 2018

Itä-Suomen yliopisto, Terveystieteiden tiedekunta
Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö
Ravitsemustiede

JAAKOLA, VILI AS.: Ravitsemuksen merkitys voimaharjoittelun aiheuttaman viivästyneen lihasarkuuden synnyssä ja ehkäisemisessä.

Kandidaatin tutkielma, 48 sivua.

Ohjaaja: FT, dosentti, laillistettu ravitsemusterapeutti Jaakko Mursu.

Lokakuu 2018

Avainsanat: Viivästynyt lihasarkuus, haaraketjuiset aminohapot, välttämättömät aminohapot, eksentrisen, eikosapentaeenihappo, dokosaheksaeenihappo.

RAVITSEMUKSEN MERKITYS VOIMAHARJOITTELUN AIHEUTTAMAN VIIVÄSTYNEEN LIHASARKUUDEN SYNNYSSÄ JA EHKÄISEMISESSÄ

Viivästyneellä lihasarkuudella tarkoitetaan harjoittelun jälkeen ilmenevää lihasten kipua ja arkuuden tunnetta, joka on usein voimakkaimmillaan 1-2 päivää harjoittelun jälkeen. Käytännössä lihasarkuuden tunne ilmenee lihasten voimantuotto-ominaisuuksien ja liikelaajuuden vähenemisenä. Kivun ja arkuuden tunteen lisäksi lihasarkuus näkyy suorituskyvyn tilapäisenä heikentymisenä. Hyvin voimakas lihasarkuus voi rajoittaa myös normaalia toimintakykyä.

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli selvittää proteiinin-, haaraketjuisten aminohappojen- ja omega-3 -rasvahappojen vaikutusta viivästyneen lihasarkuuden ehkäisemiseen. Aineistona käytettiin vertaisarvioituja, 18-60 -vuotiailla toteutettuja, kokeellisia tutkimuksia. Tutkielmassa käsiteltyjen tutkimusten perusteella proteiinin ravintolisien nauttimisella ei voida merkittävästi ehkäistä harjoituksen jälkeen ilmenevää viivästyneen lihasarkuuden tunnetta. Useissa tutkimuksissa proteiinin ravintolisien nauttiminen on kuitenkin nopeuttanut voimantuotto-ominaisuuksien palautumista harjoituksen jälkeen. Runsaasti haaraketjuisia aminohappoja (leusiini, isoleusiini ja valiini, BCAA) sisältävillä ravintolisillä on käsitellyn tutkimusnäytön perusteella mahdollisesti harjoituksen jälkeistä viivästyntä lihasarkuutta ehkäisevä vaikutus. Osassa haaraketjuisten aminohappojen vaikutuksia arvioivissa tutkimuksissa on havaittavissa annosvastesuhde. Myös proteiini sisältää lähteestä riippuen jonkin verran haaraketjuisia aminohappoja. Määrät ovat kuitenkin merkittävästi BCAA-valmisteita vähäisempiä. Rasvahapoista N-3-sarjan rasvahappojen, eikosapentaeeni- ja dokosaheksaeenihapon on tutkimuksissa todettu voivan ehkäistä viivästyneen lihasarkuuden tunnetta. Proteiini- ja aminohapporavintolisistä poiketen näiden rasvahappolisien nauttimisen on oltava säännöllistä jo useita päiviä ennen lihasarkuutta aiheuttavaa harjoittelua.

Tutkielman perusteella riittävällä proteiinin saannilla ja säännöllisellä kalan syömisellä voidaan mahdollisesti ehkäistä viivästyntä lihasarkuutta. Lisäksi haaraketjuisten aminohappojen nauttimisella saattaa olla lihasarkuutta ehkäisevä vaikutus. Lihasarkuuden tunteen ehkäisemisen tarkoituksenmukaisuudesta kiistellään. Kuitenkin esimerkiksi tiivistä harjoitusaikataulua noudatettaessa tai turnauksen aikana lihasarkuutta on perusteltua pyrkiä ehkäisemään. Tällöin lihasarkuuden ehkäisemiseksi voi olla järkevää kokeilla toimivaksi todettuja keinoja. Luotettavien johtopäätösten tekemiseksi tarvitaan tulevaisuudessa lisää urheilijoilla tehtyjä, validoiduilla menetelmillä toteutettuja ja tutkittavien tutkimuksen aikaisen ravinnonsaannin huomioivia kontrolloituja satunnaistettuja tutkimuksia.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	4
1.1 Eksentrisen lihastyö.....	5
2 LIHASARKUUDEN SYNTYMEKANISMI	6
2.1 Lihaskuus ja harjoittelu.....	7
3 LIHASARKUUDEN MITTAAMINEN	7
4 DOMS JA AINEENVAIHDUNTA	8
5 PROTEIINI	9
5.1 Proteiinien metabolia	9
5.2 Proteiinien saannin vaikutus viivästyneeseen lihasarkuuteen.....	9
5.3 Proteiinin saannin vaikutus lihasvaurioiden paranemiseen	13
6 HAARAKETJUISET AMINOHAPOT	18
6.1 Haaraketjuisten aminohappojen metabolia	18
6.2 Haaraketjuisten aminohappojen saannin vaikutus viivästyneeseen lihasarkuuteen	18
7 VÄLTTÄMÄTTÖMÄT RASVAHAPOT	25
7.1 Yleistä	25
7.2 Eikosanoidit ja dokosanoidit.....	25
7.3 Tulehdus viivästyneessä lihasarkuudessa	26
7.4 N-3 –rasvahappojen saannin vaikutus viivästyneeseen lihasarkuuteen.....	27
8 POHDINTA.....	37
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	43
LÄHTEET	44

1 JOHDANTO

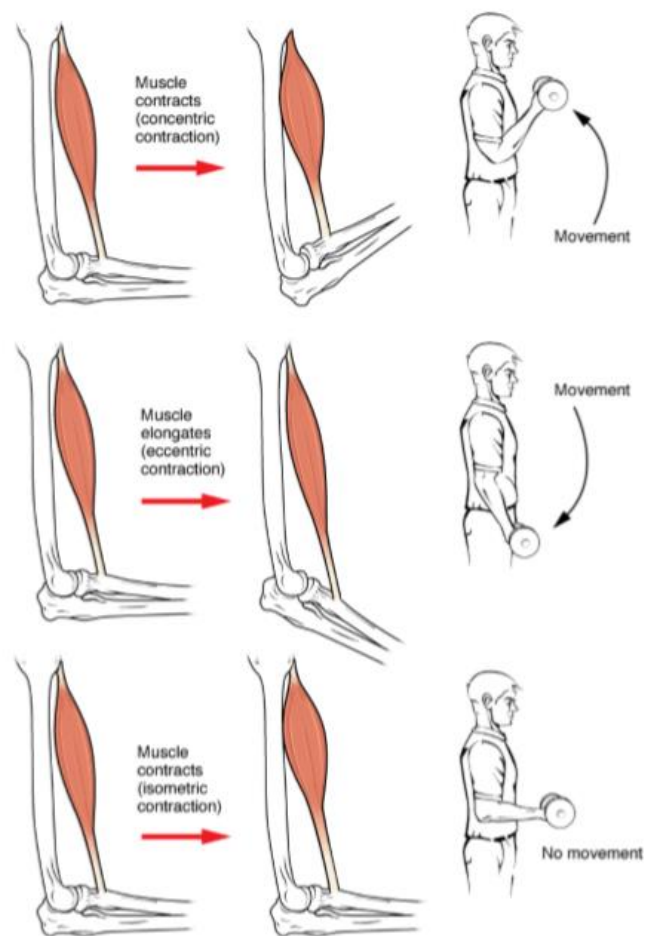
Uudenlaista voimakasta ärsykettä sisältävän fyysisen harjoituksen ja erityisesti korkeatehoisen eksentrisen harjoittelun on todettu aiheuttavan harjoittelun jälkeistä lihasarkuuden tunnetta (mm. Tiidus ja Ianuzzo 1983, Pyne 1994, Clarkson ja Hubal 2002, Close ym. 2005). Lihasarkuuden tunne voimistuu yleensä noin 24 tunnin kuluttua harjoituksesta ja on usein voimakkaimmillaan 1-3 päivää harjoittelun jälkeen. Lihasten kipeytymisen lisäksi viivästynyt lihasarkuus vaikuttaa myös lihasten voimantuottokykyä ja liikelaajuutta vähentäen. Lihasarkuuden tunne ja oireet häviävät täysin yleensä noin 5-7 päivän kuluttua harjoituksesta (Armstrong 1984).

Lihasarkuus vaikuttaa suorituskykyyn, mikä saattaa haitata tiiviin harjoitusaikataulun noudattamista. Urheilijoilla lajista riippuen kilpailut tai turnaukset voivat olla kestoltaan enemmän kuin yhden päivän mittaisia. Tällöin lihasarkuuden tunteen muodostumisen myötä suorituskyky saattaa heiketä kilpailurupeaman edetessä. Ikääntyneillä lihasvoiman laskiessa lihasarkuus saattaa haitata normaalista arjesta selviytymistä ja kuntoilijoilla lihasarkuus saattaa vähentää liikunnan mielekkyyttä. Tämän vuoksi on tärkeää selvittää, kuinka lihasarkuudesta syntyvää kivun tunnetta voidaan vähentää ja kuinka lihasarkuudesta palautumista voidaan nopeuttaa. Useat tutkimukset käsittelevät esimerkiksi venyttelyn, hieronnan, ultraäänihoidon sekä kylmähoidon palauttavia vaikutuksia. Myös nykyään yleistyneiden kompressiovarusteiden vaikutuksia on tutkittu. Lisäksi ravitsemus on merkittävä tekijä harjoittelusta palautumisessa.

Ravitsemuksella on merkitystä liikunnan aikaiselle suorituskyvyille ja siitä palautumiselle. Riittävä energiansaanti sekä muut ravinnon ainesosat auttavat harjoitustehon ylläpitämisessä ja terveenä pysymisessä (Ilander ym. 2014). Ravinnon energiaa sisältävät yhdisteet ovat hiilihydraatit, rasvat, proteiinit ja alkoholi. Edellä mainittujen ravintoaineiden vaikutusta viivästyneeseen lihasarkuuteen on tutkittu ja saadut tulokset ovat ohjanneet tulevaa tutkimusta näistä lupaavimpien ravintoaineiden pariin. Ravitsemuksen vaikutus lihasarkuuteen on kuitenkin edelleen epäselvä. Silti esimerkiksi ravitsemuksen merkitys tulehduksen vähentämisessä on yleisesti hyväksytty, mikä on myös yksi mahdollinen tekijä lihasarkuuden tunteen muodostumisessa (Cheung ym. 2003). Tässä työssä käsitelen ravinnon sisältämistä energiaravintoaineista proteiinien sekä yksittäisten amino- ja rasvahappojen vaikutusta harjoittelun aiheuttaman viivästyneen lihasarkuuden synnyssä ja ehkäisemisessä.

1.1 Eksentrisen lihastyö

Dynaaminen lihastyö synnyttää liikettä lihaksen pituuden muuttuessa. Dynaaminen lihastyö jaetaan edelleen konsentriseen– sekä eksentriseen lihastyöhön (Kuva 1). Eksentristä lihastyötä tapahtuu liikkeen alaslaskuvaiheessa, jolloin lihastyö pyrkii jarruttamaan liikettä. Tällöin lihas supistuu ja venyy samanaikaisesti. Konsentrisessa vaiheessa liikkeen suunta vaihtuu, kun lihas supistuu ja lyhenee. Eksentrisessä liikkeessä lihasten voimantuotto on suurempaa, kuin liikkeen konsentrisessa vaiheessa (Westing ym. 1991, Crenshaw ym. 1995). Lihasten suuremmasta voimantuotosta johtuen, puhtaasti eksentrisen harjoittelu mahdollistaa harjoittelun korkeammalla intensiteetillä, kuin konsentrisen harjoittelu yksinään. Konsentriseen harjoitteluun verrattuna etenkin korkeammalla intensiteetillä suoritettavan eksentrisen harjoittelun on todettu lisäävän enemmän maksimaalista voimantuottoa sekä tehostavan lihasten poikkipinta-alan kasvua (Roig ym. 2009). Eksentrisen harjoittelun on toisaalta todettu aiheuttavan harjoittelun jälkeistä lihasarkuuden tunnetta, mikä saattaa osaltaan rajoittaa harjoittelun määrää. Yleensä voimaharjoittelu käsittää kuitenkin liikkeitä, jotka sisältävät sekä eksentrisen–, että konsentrisen vaiheen. Yksittäin ainoastaan eksentristä– tai konsentrista harjoittelua tehdään vain harvoin.



Kuva 1: Lihastyön muodot (Betts ym. 2013).

2 LIHASARKUUDEN SYNTYMEKANISMI

Viivästyneen lihasarkuuden syntymekanismeja ei täysin tunneta. Lihasarkuus saa oletettavasti alkunsa raskaan eksentrisen työn seurauksena, joka kohdistuu sekä lihas- että sidekudokseen. Eksentrisen lihastyö rasittaa lihasta ja saa aikaan rakenteellisia muutoksia sekä lihaksessa että jänteessä, joihin kohdistuu voimakas venytys liikkeen aikana. Venytys saa aikaan vaurioita lihassolujen solukalvoissa, mikä aiheuttaa häiriön solun kalsiumaineenvaihdunnassa (Armstrong 1984). Solukalvon tehtävänä on ylläpitää solun sisäistä tasapainoa. Esimerkiksi solun sisäinen kalsiumionipitoisuus on vain murto-osa solun ulkoisesta pitoisuudesta (Haug ym. 2007). Lihassolun kalsiumpitoisuuden noustessa soluhengitys estyy ja Ca^{2+} -ionien ylimäärä saa aikaan kalsiumista riippuvaisten proteolyyttisten entsyymien aktivaation, jotka pyrkivät palauttamaan lihasten normaalin toimintakyvyn aiheuttaen samalla vaurioita sarkomeerien z-levyyn sekä säätelijäproteiineihin troponiiniin ja tropomyosiiniin (Dayton ym. 1981). Vauriot sarkomeerien z-levyissä ja sarkolemmassa mahdollistavat solun sisäisten entsyymien, kuten esimerkiksi kreatiinikinaasin (CK) ja laktaattidehydrogenaasin (LDH) vuotamisen solusta soluvälitilaan (Newham ym. 1983).

Katsausartikkeli käsittelee lihassolutyypin välisiä vasteita eksentrisen harjoitteluun (Fridén ym. 1992). Artikkelissa todetaan nopeimmin supistuvien tyyppin IIb lihassolujen olevan alttiimpia eksentrisen harjoittelun aiheuttamille vaurioille ja tätä kautta viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemiselle. Erot johtuvat etenkin lihassolujen erilaisesta rakenteesta; etenkin tyyppin IIb lihassolujen z-levyjen rakenne on oletettavasti ohuempi ja heikompi, kuin hitaammin supistuvien lihassolujen. Tämän on oletettu vaikuttavan siten, että erityisen runsaasti nopeasti supistuvia lihassoluja omaavat henkilöt ovat alttiimpia kokemaan viivästyntä lihasarkuutta harjoittelun jälkeen, kuin runsaasti hitaammin supistuvia tyyppin I lihassoluja omaavat henkilöt. Lisäksi eri lihasryhmissä lihassolutyypin osuus vaihtelee, minkä vuoksi tietyt lihasryhmät saattavat olla toisia alttiimpia viivästyneen lihasarkuuden kokemiselle (Fridén ym. 1992).

Kalsiumionien kertyminen soluun aktivoi myös solukalvon fosfolipaasi A2 -entsyymin, joka muodostaa sarkolemmassa arakidonihaposta leukotrieenejä ja prostaglandiineja. Eikosanoidit aiheuttavat paikallisen tulehdusreaktion ja muutaman tunnin kuluttua harjoittelun aiheuttaman vaurion synnystä vaurioituneeseen kudokseen alkaa kertyä verenkierron mukana neutrofiilejä (Armstrong 1990). Leukotrieenien muodostuminen tehostaa kohdekudoksessa neutrofiilien fagosytoosia. Fagosytoosin aikana neutrofiilien soluhengityksessä vapautuu vapaita

radikaaleja, jotka edesauttavat mekaanisten vaurioiden muodostumista kohdekudoksessa (Connolly ym. 2003).

Jänteissä voimakas venytys aiheuttaa jänteiden proteiinien osittaista hajoamista. Proteiinien hajoamisessa vapautuu esimerkiksi hydroksiproliniä sekä hydroksilyysiiniä, jotka toimivat merkkiaineina tutkittaessa kollageenin hajoamista (Tofas ym. 2008). Vaurioituneissa kudoksissa on lopulta huomattava määrä lihas- ja jänneaurioista johtuvia solun entsyymejä ja rakenneproteiineja, jotka houkuttelevat verenkierron mukana vauriokudoksiin monosyyttejä. Vaurioituneissa kudoksissa muodostuneet histamiini ja bradykiniini lisäävät kudosten aineenvaihduntaa lisäämällä kudosten turvotusta ja tehostamalla fagosytoosia. Tehostuneen aineenvaihdunnan vuoksi vauriokudoksen lämpötila on kohonnut tavanomaisesta. Monosyytit kypsyvät kudoksissa makrofageiksi, joiden määrä on huipussaan noin 48 tunnin kuluttua vaurion aiheuttaneesta harjoittelusta. Makrofagit lisäävät vauriokudoksessa prostaglandiinin tuotantoa, minkä on esitetty aktivoivan tyypin III- ja IV-vapaita hermopäätteitä. Vapaat hermopäätteet aktivoituvat lämmön-, kemiallisen ja mekaanisen ärsytyksen vaikutuksesta aiheuttaen lihasarkuudelle tyypillisen epämiellyttävän tunteen kohdekudoksissa (Armstrong 1984).

2.1 Lihasarkuus ja harjoittelu

Kipeytyneiden lihasryhmien harjoittaminen lihasarkuudesta huolimatta nostaa suhteellisesti harjoittelun kuormittavuutta, mikäli kipeytyneiden lihasten vähentynyttä voimantuottoa ei huomioida harjoittelussa. Kipeytyneiden lihasten voimantuottoa ja liikelaajuutta pyritään tällöin kompensoimaan muilla lihasryhmillä, mikä lisää kompensoiviin lihasryhmiin ja niveliin kohdistuvaa räsytystä. Lihasarkuus saattaa myös altistaa loukkaantumisille, mikäli kipeytyneitä lihasryhmiä harjoitetaan normaalisti kivusta huolimatta (Cheung ym. 2003). Samankaltaisen harjoituksen toistaminen kuitenkin tehostaa harjoitukseen adaptoitumista, jolloin vastaavaa lihasarkuuden tunnetta ei enää synny seuraavilla harjoittelukerroilla (McHugh ym. 1999).

3 LIHASARKUUDEN MITTAAMINEN

Viivästyneen lihasarkuuden mittaaminen perustuu pääasiassa koehenkilöiden subjektiiviseen lihasarkuuden tunteen mittaamiseen. Koehenkilöiden subjektiivista lihasarkuuden tunnetta mitataan yleisimmin likert-asteikolla tai visual analyze scale (VAS) –asteikolla, jolloin

koehenkilöt sijoittavat oman kokemuksensa voimakkuuden mitta-asteikolle. Lihaskuuden uskotaan johtuvan harjoittelun aiheuttamista lihasvaurioista, minkä vuoksi myös lihasvaurioiden mittaaminen on usein järkevää. Harjoittelun aiheuttaman lihasvaurion suuruutta arvioidaan useimmiten biokemiallisilla laboratoriomittauksilla. Laboratoriomittauksissa mitataan yleisimmin plasman kreatiinikinaasi- tai laktaattidehydrogenaasipitoisuuksia. Molemmat ovat solunsisäisiä entsyymejä, joiden pitoisuuden nousu plasmassa liittyy lihassolujen vaurioihin. Muita mitattavia muuttujia ovat plasman myoglobiinipitoisuus sekä sytokiinin pitoisuuksien nousu. Plasman kreatiinikinaasia pidetään luotettavana sarkolemman läpäisevyydestä kertovana indikaattorina (Cheung ym. 2003).

4 DOMS JA AINEENVAIHDUNTA

Elimistön kokonaisenergiankulutus koostuu perusaineenvaihdunnan, liikkumisen ja aterioiden aiheuttamasta energiankulutuksesta. Suurin osa päivittäisestä energiankulutuksesta kuluu perusaineenvaihdunnan ylläpitoon. Tosinaan hyvin pitkäkestoisissa urheiluvoitoksissa liikkumiseen tarvittava energiamäärä voi kasvaa jopa perusaineenvaihdunnan ylläpitämiseen tarvittavaa energiamäärää suuremmaksi.

Hyvin pitkäkestoinen ja korkealla intensiteetillä suoritettu harjoitus lisää energian tarvetta kasvattamalla myös harjoituksen jälkeistä perusaineenvaihdunnan ylläpitämiseen tarvittavaa energiamäärää. Perusaineenvaihdunnan ylläpitämiseen tarvittavan energiamäärän on todettu kasvavan myös pitkäkestoisessa ja viivästynyttä lihasarkuutta aiheuttavan voimaharjoittelun jälkeen (Hackney ym. 2008). Hackney ja kumppanit arvelivat perusaineenvaihdunnan ylläpitämiseen tarvittavan energiamäärän lisääntyvän, koska viivästyneen lihasarkuuden tunteen aiheuttavien solu- ja kudolvaurioiden korjaantuminen vaatii anabolisten reaktioiden käynnistymistä, joiden ylläpitäminen lisää energiankulutusta. Lisääntynyt energiankulutus voidaan kompensoida lisäämällä energiansaantia ravinnosta. Energiansaannin vaikutusta viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemiseen on tutkittu vain vähän ja tutkimusten laatu vaihtelee. Tämän vuoksi aihetta ei ole käsitelty laajemmin tässä työssä.

5 PROTEIINI

5.1 Proteiinien metabolia

Proteiinit ovat ravinnosta saatavia suoja- ja energiaravintoaineita, jotka rakentuvat yksittäisistä aminohapoista. Aminohappoja on yhteensä 20 erilaista, joista kahdeksan on aikuisille välttämättömiä. Välttämättömiä aminohappoja on saatava ravinnosta, koska elimistö ei pysty syntetisoimaan niitä itse. Ruoansulatuksessa proteiinit pilkkoutuvat entsyymaattisesti ja ruoansulatuskanavasta verenkiertoon siirtyy pääasiassa yksittäisiä aminohappoja. Verenkierron mukana aminohapot kulkeutuvat maksaan, joka säätelee aminohappojen pääsyä perifeeriseen verenkiertoon elimistön tarpeiden mukaan. Energian saannin lisäksi proteiineista pilkottuja aminohappoja tarvitaan elimistössä uusien rakenteiden muodostumiseen sekä säätely- että kuljetusproteiineiksi (Aro ym. 2015).

Lihaskuntoharjoittelu lisää akuutisti lihasproteiinien hajoamista harjoittelun aikana ja sen jälkeen. Harjoittelun jälkeen proteiinisynteesi lihaksissa tehostuu, mikäli harjoittelu yhdistetään proteiinia sisältävän ravinnon saantiin. Voimaharjoittelun proteiinisynteesiä lisäävä vaikutus voi kestää jopa 48 tuntia (Rennie ym. 2000). Harjoittelun jälkeinen proteiinipitoisen ravinnon saanti edistää harjoittelun aiheuttamien lihasvaurioiden korjaamista. Lopputulemana riittävä proteiinin- ja energian saanti yhdistettynä lihasvoimaharjoitteluun edistää lihasproteiinien muodostumista, mikä ilmenee lihassolujen poikkipinta-alan kasvuna ja voimaominaisuuksien kehittymisenä (Morton ym. 2018).

5.2 Proteiinien saannin vaikutus viivästyneeseen lihasarkuuteen

Tässä tutkielmassa käsitellyissä tutkimuksissa proteiinia tai aminohappovalmisteita on verrattu proteiinia ja aminohappoja sisältämättömiin tuotteisiin raskaan lihasvoimaharjoittelun ja päiviä kestäneen seurannan aikana. Jokaisessa taulukossa 1. kuvatussa tutkimuksessa tutkittaville on saatu aikaan tilastollisesti merkitsevä viivästyneen lihasarkuuden tunne, johon on pyritty vaikuttamaan ravintolisien avulla. Tutkittavat ovat olleet iältään nuoria aikuisia (18–31 -v.) ja heidän aktiivisuuden taso on vaihdellut.

Käsitellyt tutkimukset ovat kokeellisia ja tutkimuksista kaksi on suoritettu vaihtovuoroasetelmalla. Muut käsitellyistä tutkimuksista ovat sokkoutettuja tai kaksoissokkoutettuja, lumekontrolloituja ja rinnakkaisen ryhmän sisältäviä tutkimuksia. Kaikissa tarkastelluissa tutkimuksissa on huomioitu tutkittavien ruokavalio. Lihasvoimaharjoittelu on suoritettu pääasiassa yön yli kestäneen paaston jälkeen tai, kuten Nosakan (2006) tutkimuksessa, vakioidun aamupalan jälkeen. Lisäksi kaikissa tutkimuksissa tutkittavia on neuvottu olemaan käyttämättä muita lisäravinteita tai tulehduskipulääkkeitä, jotka saattaisivat vaikuttaa tuloksiin.

Buckley ja kumppanit (2010) tutkivat lihasvoimaharjoittelusta palautumista vertaamalla vettä saavan kontrolliryhmän arvoja heraproteiini-isolaattia ja heraproteiinihydrolysaattia saavien koeryhmien tuloksiin. Tutkittavat nauttivat valmisteita yhteensä kolme kertaa eri ajankohtina. Ensimmäinen valmiste nautittiin heti ensimmäisen harjoituksen päätyttyä. Toinen valmiste nautittiin 6 tuntia harjoituksen jälkeen. Viimeinen valmiste nautittiin 22 tuntia ensimmäisestä harjoitteesta ja samalla kaksi tuntia ennen kontrollikäyntiä. Proteiinia saavien ryhmien kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli kontrolliryhmään verrattuna vähäisempää, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Sen sijaan kuusi- ja 24 tuntia harjoittelun jälkeen heraproteiinihydrolysaattia saavan ryhmän maksimaalinen isometrinen voimantuotto oli palautunut muita ryhmiä nopeammin ja oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin vettä saaneen vertailuryhmän vastaavat arvot.

Etheridge työryhmineen (2008) tutkivat vaihtovuoroista asetelmaa käyttäen sekä maustetun veden- että maitopohjaisen proteiinivalmisteen vaikutusta lihasten toimintakyvyn palautumiseen eksentrisen harjoittelun jälkeen. Tutkittavat nauttivat tutkimuksen aikana yhden annoksen heti harjoituksen jälkeen heille annettua valmistetta. Erot tutkittavien kokeman viivästyneen lihasarkuuden suhteen olivat hyvin pieniä, eivätkä erot ryhmien välillä olleet tilastollisesti merkitseviä. Proteiinia saavien koehenkilöiden lihasten toimintakyky sen sijaan palautui vertailuvalmisteen saantiin verrattuna nopeammin. Tämä ilmeni suurempana voimantuottona, joka havaittiin sekä polkupyöräergometrillä suoritettussa kuusi sekuntia kestävässä sprintissä, että maksimaalista reiden isometristä voimantuottoa mittavassa kokeessa.

Cockburn ja kumppanit (2008) tutkivat maidon, hiilihydraattijuoman, veden sekä hiilihydraatteja ja proteiinia sisältävän palautusjuomavalmisteen vaikutusta harjoittelusta palautumiseen. Tutkittavat nauttivat tutkimuksen aikana heille tarjottuja valmisteita yhteensä kaksi annosta. Ensimmäinen annos annettua valmistetta nautittiin heti harjoituksen jälkeen ja toinen annos kaksi tuntia harjoituksen jälkeen. Maitoa saavan ryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli muita ryhmiä vähäisempää, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

Hiilihydraattia ja proteiinia sisältävää palautusjuomaa saaneiden henkilöiden lihasten toimintakyky heikkeni muita ryhmiä vähemmän. Lisäksi lihasvaurioista kertovien merkkiaineiden pitoisuudet plasmassa suurenvat harjoituksen jälkeen muihin ryhmiin verrattuna vähemmän. Lihasten toimintakykyä mitattiin tutkimuksessa 6 sekuntia kestäväällä reidenojennuksella, josta mitattiin sekä työmäärä että maksimaalinen vääntömomentti. Proteiini- ja hiilihydraattipitoista juomaa nauttineen ryhmän-, kuten myös maitoa nauttineen ryhmän lihasten toimintakyvyn palautuminen oli tilastollisesti merkitsevästi tehokkaampaa veden nauttimiseen verrattuna. Sen sijaan proteiinia- sekä hiilihydraattia sisältävän palautusjuoman- ja maitoa nauttineen ryhmän välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja.

Nosaka ja kumppanit (2006) tutkivat välttämättömiä aminohappoja sisältävän ravintolisän vaikutusta harjoittelun jälkeisen viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemiseen ja lihasvaurioihin. Tutkimus suoritettiin vaihtovuoroasetelmalla. Ensimmäisellä kerralla tutkittavat paastosivat kymmenen tuntia ennen harjoitusta. Kolmekymmentä minuuttia ennen harjoituksen alkua tutkittavat nauttivat annoksen aminohapporavintolisää tai maltitolia sisältävää lumevalmistetta. Harjoitus sisälsi rytmitetysti 30 minuutin ajan suoritettuja hauiskääntöjä. Harjoitus suoritettiin yhdellä kädellä. Koe- ja kontrolliryhmissä yhtä moni suoritti harjoituksen dominoivalla kädellä. Harjoituksen päätyttyä tutkittavat nauttivat toisen annoksen annettua ravintolisää. Tutkimuksessa viivästyneen lihasarkuuden kokeminen ei eronnut koe- ja kontrolliryhmän välillä.

Tutkimuksen toisessa osassa käytettävä harjoite ja ravintolisävalmisteet olivat samoja, kuin tutkimuksen ensimmäisessä osassa. Toisessa osassa tutkimusta ravintolisäannoksia nautittiin yhteensä kymmenen annosta tutkimuksen ja viiden päivän seurannan aikana. Tutkittavat myös suorittivat harjoitteen eri kädellä, kuin tutkimuksen ensimmäisessä osassa. Tutkittavat nauttivat kevyen aamupalan vähintään kaksi tuntia ennen testauksen alkua. Tutkimuksessa koeryhmän kokeman viivästyneen lihasarkuuden havaittiin olevan kontrolliryhmään verrattuna vähäisempää yksi-, kaksi- ja kolme vuorokautta harjoituksen jälkeen. Lisäksi koeryhmän harjoitetun raajan turvotus, plasman kreatiinikinaasi- ja myoglobiinipitoisuudet olivat seurannan aikana kontrolliryhmää vähäisempiä.

White tutkimusryhmineen (2008) selvittivät hiilihydraatteja ja proteiinia sisältävän palautusjuoman vaikutusta harjoittelun aiheuttamien lihasvaurioiden parantumiseen vertaamalla tuloksia maustettua vettä saavan kontrolliryhmän tuloksiin. Tutkimuksessa selvitettiin ravintolisän ajoituksen vaikutusta harjoitukseen nähden. Tutkittavat jaettiin satunnaisesti kolmeen ryhmään. Ensimmäinen ryhmä nautti palautusjuomavalmisteen ennen harjoitusta ja lumevalmisteen harjoituksen jälkeen. Toinen ryhmä nautti lumevalmisteen ennen

harjoitusta ja palautusjuomavalmisteen harjoituksen jälkeen. Kolmas ryhmä toimi kontrolliryhmänä ja tutkittavat nauttivat lumevalmisteen ennen- ja jälkeen harjoituksen. Ravintolisän sisällöstä ja ajoituksesta riippumatta tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja eri ryhmien välillä. Harjoittelun jälkeen palautusjuoman saaneen ryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli keskimäärin muita ryhmiä vähäisempää. Ennen harjoitusta palautusjuoman nauttineen ryhmän voimantuottokyky heikkeni lähtötasosta muita ryhmiä vähemmän. Makeutettua vettä saaneen ryhmän seerumin lihasvaurioista kertovan merkkiaineen (kreatiinikinaasi) pitoisuudet olivat kaikkina harjoittelun jälkeisinä mittausajankohtina korkeampia, kuin muilla ryhmillä.

Hoffman ja kumppanit (2008) vertasivat tutkimuksessaan proteiinisekoitusta saavan koeryhmän voimaharjoittelusta palautumista maltodekstriiniä saavan kontrolliryhmän palautumiseen. Tutkittavat olivat voimaharjoittelua harrastavia nuoria miehiä. Tutkimukseen kuului neljänä eri ajankohtana suoritettu voimaharjoite, joiden aikana ja jälkeen koehenkilöiden palautumista seurattiin. Ensimmäinen voimaharjoitus määrittä tutkittavien maksimaalista voimaa. Tämän harjoituksen perusteella määritettiin kunkin tutkittavan työpainot seuraaville kolmelle harjoituskerralle. Tutkimuksessa käytetty proteiiniravintolisä oli koostettu heraisolaatti-, kaseini- ja kollageeniproteiinista. Lisäksi ravintolisään oli lisätty 250 mg haaraketjuisia aminohappoja. Tutkittavat nauttivat annettuja ravintolisiä 10 minuuttia ennen ja 15 minuuttia harjoitusten jälkeen kolmella viimeisellä harjoituskerralla. Tutkimuksessa eri ravintolisiä saavien ryhmien välillä ei havaittu eroja viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemisessa. Tutkimuksen aikana toisena ja kolmantena päivänä suoritettujen voimaharjoitteiden aikana proteiinia saavan ryhmän toistomäärät olivat tilastollisesti merkitsevästi suurempia kuin maltodekstriiniä saavan ryhmän.

Harjoittelun ympärillä nautitun proteiinin vaikutus voimaharjoittelun aiheuttamaan viivästyneeseen lihasarkuuteen on epäselvä, sillä tulokset ovat ristiriitaisia (Pasiakos ym. 2014). Pasiakos ja kumppanit (2014) tarkastelivat kirjallisuuskatsauksessaan yhteensä 24 tutkimusartikkelia, joista kuudessa käytettiin harjoittelumuotona vastusharjoittelua ja tutkittiin proteiini- tai aminohappovalmisteen vaikutusta harjoittelun aiheuttamaan lihasarkuuteen. Kahdessa tutkimuksessa proteiinia nauttineiden koeryhmien verioplasmasta mitattujen lihasvaurioista kertovien merkkiaineiden pitoisuudet suurenevät kontrolliryhmän arvoja vähemmän tai palautuivat nopeammin lähtötasolle (Nosaka ym. 2006, Cockburn ym. 2008). Neljässä tutkimuksessa proteiinia nauttineiden koeryhmien voimantuottokyky heikkeni kontrolliryhmää vähemmän tai palautui nopeammin lähtötasolle viivästyneestä lihasarkuudesta huolimatta (Cockburn ym. 2008, Etheridge ym. 2008, Buckley ym. 2010, Hoffman ym. 2010).

Vain yhdessä tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja koe- ja kontrolliryhmän välillä (White ym. 2008).

5.3 Proteiinin saannin vaikutus lihasvaurioiden paranemiseen

Riittävä proteiinin saanti edistää harjoittelun aiheuttamien lihasvaurioiden korjaamista stimuloimalla proteiinisynteesiä ja lihasproteiinin muodostusta harjoittelun jälkeen (Churchward-Venne ym. 2012). Erityisesti eksentrisen harjoittelu aiheuttaa vaurioita lihassolun rakenteisiin ja lisää solunsisäisten proteiinien vuotamista ulos solusta. Ravinnon kautta saatava proteiini saattaa nopeuttaa lihasvaurioiden korjaantumista ja toimintakyvyn palautumista (mm. Nosaka ym. 2006, Etheridge ym. 2008, Cockburn ym. 2008).

Proteiinin nauttiminen harjoituksen ympärillä saattaa vähentää lihasvaurioita kuvaavien merkkiaineiden määrää verenkierrossa. Nosakan ja kumppanien (2006) tutkimuksessa proteiinia saavan koeryhmän plasmasta mitatut myoglobiini ja kreatiinikinaasipitoisuudet olivat saman energiamäärän hiilihydraateista saaneen kontrolliryhmän arvoihin verrattuna pienemmät 72- ja 96 tunnin kuluttua lihasvaurioita aiheuttaneesta harjoittelusta. Cockburnin ja kumppanien (2008) tutkimuksessa proteiinia saavien ryhmien plasman myoglobiini- ja kreatiinikinaasipitoisuudet olivat pienemmät kuin hiilihydraattia ja plaseboa saaneiden ryhmien pitoisuudet kaksi vuorokautta lihasvaurioita aiheuttaneen harjoituksen jälkeen. Lisäksi proteiinia saaneiden ryhmien voimantuotto väheni muita ryhmiä vähemmän, kun huippuvoimaa mitattiin maksimaalista isokineettistä vääntömomenttia mittaavalla laitteella.

Kohtuullinen proteiinin nauttiminen harjoituksen aikana tai sen ympärillä näyttäisi vähentävän lihasvauriota indikoivien merkkiaineiden määrää verenkierrossa ja nopeuttavan lihasten palautumista raskaasta lihasvoimaharjoittelusta, vaikka useimmissa tutkimuksissa proteiinin saannin ei ole havaittu ehkäisevän merkittävästi koehenkilöiden subjektiivista viivästyneen lihasarkuuden tunnetta (Pasiakos ym. 2014). Havainnot tulevat parhaiten ilmi tutkimuksista, jossa proteiinin saanti on ollut säännöllistä myös päiviä harjoittelun jälkeen (mm. Nosaka ym. 2006, Jackman ym. 2010). Näissä tutkimuksissa proteiinin ravintolisä on myös sisältänyt runsaasti haaraketjuisia aminohappoja. Tulokset ovat osittain ristiriitaisia tutkimuksissa, joissa proteiinin saanti on painottunut pääasiassa harjoittelua edeltävien ja seuraavien tuntien ajalle (White ym. 2008, Hoffman ym. 2010).

TUTKIMUS	OTOS	KESTO	MUUTA	HARJOITE	MITTAUSMENETELMÄT	TULOS (p<0,05 ryhmien välillä)
Buckley ym. 2010. Kaksoissoikkoutettu, satunnaistettu.	n=43 18-30 -v., M, Ei VHT.	2 pv	1. Heraisolaatti 25 g. 2. Herahydrolysaatti 25 g. 3. Vesi, maustettu. HJ (0 h), +6 h ja +22 h. Harjoitusta edeltävä paasto.	Reiden ojennus. 100 maksimaalista eksentristä toistoa oikealla jalalla.	LA (VAS 100 mm), MIV: polven ojentajat, P-TNF- α ja S-CK. EH, HJ (0 h), +1 h, +2 h, +6 h ja +24 h.	Herahydrolysaatti: MIV \uparrow +6 h ja +24 h: EEM
Etheridge ym. 2008. Kaksoissoikkoutettu, satunnaistettu, vaihtovuoroasetelma.	n=9 21 \pm 1 -v., M, Ei VHT.	34 pv	1. Maitopohjainen proteiini 100 g (sis. 40 g EAA). 2. Vesi, maustettu. HJ (0 h). Ruokapäiväkirja 24 h. Huuhtelu-aika vähintään 28 pv.	Alamäkijuoksu 30 min. Harjoituksen aikainen syke: 75%/laskennallinen HR _{max} .	Etureisien painekoe, LA (VAS 1-10), MIV: polven ojentajat, MT: polkupyöräergometrillä, S-CK ja S-PC. EH, HJ +24 h, +48 h ja +72 h.	Proteiini: MT \uparrow +48 h: -0,25 % LT:sta (vrt PLA: -10,7 % LT:sta). MIV \uparrow +48 h: 0,0 % LT:sta (vrt. PLA: -8,7 % LT:sta).
Cockburn ym. 2008. Sokkoutettu.	n=24 21 \pm 3 -v., M, Joukkuelajien urheilijoita.		1. HH-P: E=353,4 kcal; P=16,7 g; HH=59,1 g ja R=8,2 g. 2. Maito: E=240,0 kcal; P=17,0 g; HH=24,5 g ja R=8,5 g. 3. HH: E=140,0 kcal ja HH=32,0 g. 4. Vesi. HJ (0 h) ja +2 h.	Polvenkoukistukset. 6*10 eksentristä toistoa maksimivoimalla.	LA (VAS 1-10), MIV, TM, S-CK ja S-Mb. EH, HJ +24 h ja +48 h.	HH-P: MIV \uparrow +48 h, TM \uparrow +48 h, S-CK \downarrow +48 h ja S-Mb \downarrow +48h.* Maito: MIV \uparrow +48 h, TM \uparrow +48 h, S-CK \downarrow +48 h ja S-Mb \downarrow +48 h.* <i>HH-P > Maito (p>0,05).</i> *EEM

Nosaka ym. 2006.	n=14	5 pv	<p>1. Aminohapposekoitus 3,6 g (sis. EAA 60%, joista 60% BCAA:a).</p> <p>2. Maltitoli 3,6 g.</p> <p>30 min EH ja heti HJ.</p> <p>Paasto (10 h) ennen ensimmäisen ravintolisän nauttimista.</p> <p>Huuhteluaika 3-4 vko.</p>	<p>Hauiskäännöt yhdellä kädellä.</p> <p>30 min: 900 toistoa: 1 s ylös, 1 s alas.</p> <p>Paino: 9%/MV.</p>	<p>MIV, Liikkuvuus, Raajan ympärysmitta, P-CK, P-Aldol, P-Mb, LA tunnustellen (VAS 50 mm), LA ojennettuna (VAS 50 mm), LA jännityksessä (VAS 50 mm) ja P-VA.</p> <p>EH, HJ (0 h), +1 h, +6 h, +24 h, +48 h, +72 h ja +96 h.</p>	<p>Aminohapposekoitus:</p> <p>P-VA ↑ ennen harjoitusta ja +1 h.*</p> <p>P-Mb ↓: +96 h.*</p> <p>*EEM</p>
Nosaka ym. 2006.	n=24	5 pv	<p>1. Aminohapposekoitus 3,6 g (sis. EAA 60%, joista 60% BCAA:a).</p> <p>2. Maltitoli 3,6 g.</p> <p>Harjoituspäivä: EH, HJ ja viimeisen aterian jälkeen.</p> <p>2-4d: ensimmäisen ja viimeisen aterian jälkeen.</p> <p>5d: ensimmäisen aterian jälkeen.</p> <p>Yht. 10 annosta.</p> <p>EH kevyt vakioitu aamupala: E: 290-470 kcal, R: 20-25 E%, HH: 60-70 E% ja P: 10-15 E%</p>	<p>Hauiskäännöt toisella kädellä kuin edellisessä tutkimuksessa.</p> <p>30 min: 900 toistoa: 1 s ylös, 1 s alas.</p> <p>Paino: 9%/MV.</p>	<p>MIV, Liikkuvuus, Raajan ympärysmitta, P-CK, P-Aldol, P-Mb, LA tunnustellen (VAS 50 mm), LA ojennettuna (VAS 50 mm), LA jännityksessä (VAS 50 mm) ja P-VA.</p> <p>Ennen harjoitusta, harjoituksen jälkeen (0 h), +1 h, +6 h, +24 h, +48 h, +72 h ja +96 h.</p>	<p>Aminohapposekoitus:</p> <p>P-CK ↓ +96 h: 702 ±270 IU/L (vrt. PLA: 1731 ±380 IU/L).</p> <p>P-Mb ↓ +72 h ja +96 h: 182 ±50 ng/mL (vrt. PLA: 379 ±86 ng/ml).</p> <p>LA tunnustellen (VAS 50 mm) ↓ +24 h, +48 h ja +72 h: 23,8 ± 2,8 mm (vrt. PLA: 33,1 ±2,4 mm).</p> <p>LA ojennettuna (VAS 50 mm) ↓ +24 h, +48 h ja +72 h: 19,4 ±2,9 mm (vrt. PLA: 27,0 ± 3,0 mm).</p> <p>Raajan ympärysmitta +72 h ja +96 h: EEM</p>

White ym. 2008	(n=27)	5 pv	1. EH: Heraproteiini: 23 g, HH: 75 g, Yht.: 392 kcal HJ: Vesi makeutettu.	Polven ojennus 5*10 eksentristä toistoa vakionopeudella	LA (VAS 0 - 10), MIV ja P-CK.	
Sokkoutettu, satunnaistettu.	18-25 -v, M, Ei VHT.		2. EH: Vesi, makeutettu. HJ: Vesi, makeutettu.		EH, HJ: +6 h, +24 h, +48 h, +72 h ja +96 h.	
			3. EH: Vesi, makeutettu. HJ: Heraproteiini: 23 g, HH: 75 g, Yht.: 392 kcal			
Hoffman ym. 2010	(n=15)	3 pv	1. Proteiinisekoitus: P: 42 g eri lähteistä, HH: 2 g ja R: 0 g. 2. Maltodekstriini: HH: 14,9 g, P: 0 g ja R: 0 g.	1. testikerta: 1 RM testaus: kyykky, maastaveto ja askelkyykky. 2. testikerta: Em. liikkeitä intervaleina 90 s levolla: 4* enintään 10 toistoa. Paino 80%/1RM	LA (Likert 1-7), S-CK, S-Korsol, S-Testo ja B-Hb. HTT kyykyistä ja KTT kyykyistä.	Proteiinisekoitus
Kaksoisokkoutettu, satunnaistettu.	19,9 ±1,3 -v, M, VHT.		10 min EH ja 15 min HJ.	+24 h: Kyykkyintervalleja 90 s levolla: 4* enintään 10 toistoa. Paino 80%/1RM. +48 h: Kyykkyintervalleja 90 s levolla: 4* enintään 10 toistoa. Paino 80%/1RM.		Toistojen määrä ↑ +24 h: 30,0 ±7,2 (vrt. PLA: 23,0 ±7,9) ja Toistojen määrä ↑ +48 h: 31,0 ±7,6 (vrt. PLA: 22,0 ±8,5).
					Verikokeet: 2. testikerta: ennen harjoitusta, heti harjoituksen jälkeen. +24 h: ennen harjoitusta. +48 h: ennen harjoitusta.	

Taulukko 1. BCAA = Haaraketjuiset aminohapot; B-Hb = Hemoglobiini verestä; EAA = Välttämättömät aminohapot; EEM = Eroa ei mainittu; E = Energia; HH = Hiilihydraatti; HR_{max} = Maksimisyke; HTT = Huipputehontuotto; KTT = Keskimääräinen tehontuotto; LA (VAS) = Subjekttiivinen lihasarkuus visuaalisella mitta-asteikolla mitattuna; LT = Lähtötaso; MIV = Maksimaalinen isometrinen vääntömomentti; MT =

Maksimaalinen tehontuotto; MV = Maksimaalinen isometrinen voima; P = Proteiini; P-Aldol = Aldolaasi plasmasta; P-CK = Kreatiinikinaasi plasmasta; PLA = Vertailuryhmän ravintolisä; P-Mb = Myoglobiini plasmasta; P-VA = Vapaat aminohapot plasmasta; P-TNF- α = Tuumorinekroositekijä- α plasmasta; R = Rasva; 1 RM = Yhden toiston maksimipaino; S-CK = Kreatiinikinaasi seerumista; S-Mb = Myoglobiini seerumista; S-Korsol = Kortisoli seerumista; S-PC = Proteiinikarbonyyli seerumista; S-Testo = Testosteroni seerumista; SUP = Koeryhmän ravintolisä; TM = Työmäärä.

6 HAARAKETJUISET AMINOHAPOT

6.1 Haaraketjuisten aminohappojen metabolia

Haaraketjuiset aminohapot (leusiini, isoleusiini ja valiini) ovat ihmiselle välttämättömiä aminohappoja. Muista aminohapoista poiketen maksan kyky käsitellä haaraketjuisia aminohappoja on heikko. Tämän vuoksi suurin osa veren aminohapoista ravinnon saannin jälkeen on haaraketjuisia aminohappoja. Kaikista aminohapoista leusiini tunnetaan tehokkaimpana proteiinisynteesin edistäjänä. Leusiini ei kuitenkaan yksinään riitä aikaansaamaan proteiinirakenteiden synteesiä, sillä rakenneosina myös muiden välttämättömien aminohappojen saanti on välttämätöntä (Ilander ym. 2014).

Haaraketjuisten aminohappojen nauttimisen vaikutuksista on näyttöä viivästyneen lihasarkuuden ehkäisemisessä. BCAA:n nauttimisella on saatu lihasvoimaharjoittelua käsittelevissä tutkimuksissa viivästyntä lihasarkuutta vaimentava vaikutus plaseboa nauttineeseen kontrolliryhmään nähden (mm. Shimomura ym. 2010, Howatson ym. 2012). Vaikutus on havaittu etenkin koehenkilöiden vähentyneenä viivästyneen lihasarkuuden tunteena, mikä on ollut voimakkainta 24– ja 48 tunnin kuluttua lihasarkuutta aiheuttaneesta harjoituksesta. Lisäksi BCAA:n nauttimisella on havaittu voimantuotto-ominaisuuksia palauttava vaikutus raskaan voimaharjoittelun jälkeen (Dorrell ja Gee 2016). BCAA:n nauttiminen on vähentänyt viivästyneen lihasarkuuden tunnetta sekä harjoittelemattomilla että harjoittelutaustan omaavilla henkilöillä (Shimomura ym. 2006, Howatson ym. 2012).

6.2 Haaraketjuisten aminohappojen saannin vaikutus viivästyneeseen lihasarkuuteen

Tässä tutkielmassa käsitellyissä tutkimuksissa haaraketjuisia aminohappoja sisältäviä ravintolisävalmisteita on verrattu aminohappoja sisältämättömiin valmisteisiin lihasvoimaharjoittelun ja päiviä kestäneen seurannan aikana. Jokaisessa taulukossa 2. esitetyssä tutkimuksessa tutkittaville on saatu aikaan tilastollisesti merkitsevä viivästyneen lihasarkuuden tunne, johon on pyritty vaikuttamaan haaraketjuisia aminohappoja sisältävien ravintolisien avulla. Tutkimuksissa käytettävien haaraketjuisia aminohappoja sisältävien ravintolisien annoskoot ja aminohappojen suhde ovat vaihdelleet tutkimusten välillä. Lisäksi tutkimusten

aikana nautittujen annosten määrä ja nauttimisajankohdat ovat vaihdelleet Tutkittavat ovat olleet iältään 20–25 –vuotiaita nuoria aikuisia ja heidän aktiivisuuden taso on vaihdellut.

Tarkastellut tutkimukset ovat kokeellisia ja tutkimuksista kaksi on suoritettu vaihtovuoroasetelmaa käyttäen. Muut tutkimukset ovat lumekontrolloituja, rinnakkaisen ryhmän sisältäviä ja sokkoutettuja tai kaksoissokkoutettuja. Taulukossa 2. esitetyissä tutkimuksissa kolmessa tutkittavien ravitsemusta on seurattu tutkimuksen aikana ja heitä on pyydetty välttämään tulehduskipulääkkeiden ja muiden, kuin tutkimukseen kuuluvien ravintolisien käyttöä. Shimomuran (2006 ja 2010) ja kumppanien tutkimusraporteissa ei ole mainintaa tutkittavien ravitsemuksesta tai muiden lisäravinteiden ja tulehduskipulääkkeiden käyttämisestä tutkimuksen aikana. Tarkasteltavista tutkimuksista kolmessa viivästynyttä lihasarkuutta aiheuttavaa harjoitusta edelsi yleensä yön yli kestävä paasto. Dorrel ja Geen tutkimuksessa ei ilmoitettu tutkittavien harjoitusta edeltävällä aterialla nauttimaan ruoan määrää tai laatua. Fourén ja kumppanien (2016) tutkimuksessa tutkittavat nauttivat vakioidun aamupalan ennen viivästynyttä lihasarkuutta aiheuttavaa voimaharjoitetta.

Shimomura ja kumppanit (2006) tutkivat haaraketjuisten aminohappojen vaikutusta viivästyneeseen lihasarkuuteen ei-harjoitelleilla miehillä ja naisilla. Tutkimuksessa käytetty aminohappoannos oli kaikille tutkittaville sama, joten haaraketjuisten aminohappojen saanti kehonpainokiloa kohden vaihteli. Tutkimus suoritettiin vaihtovuoroasetelmalla ja menetelmät toistettaessa tutkittavat nauttivat haaraketjuisia aminohappoja vastaavan määrän hiilihydraatteja. Tutkimuksessa ravintolisät nautittiin 15 minuuttia ennen harjoituksen alkua. Tutkittavat arvioivat viivästyneen lihasarkuuden tunnetta mitta-asteikon avulla. Haaraketjuisia aminohappoja saaneiden naisten viivästyneen lihasarkuuden tunne oli tilastollisesti merkitsevästi vähäisempää hiilihydraattien saantiin verrattuna. Vastaavaa ilmiötä ei havaittu miesten kohdalla. Eron epäiltiin johtuvan kehonpainoon suhteutettuna pienemmästä BCAA-annoksesta.

Vuonna 2006 tehdyn tutkimuksen perusteella Shimomura ja kumppanit (2010) tutkivat uudelleen haaraketjuisten aminohappojen saannin vaikutusta viivästyneeseen lihasarkuuteen. Tutkimus suoritettiin yksinomaan naisilla ja koe- ja vertailuryhmän ravintolisien saanti suhteutettiin tutkittavien kehonpainoon. Tutkimuksessa ravintolisät nautittiin 15 minuuttia ennen harjoituksen alkua. Tutkimuksessa haaraketjuisten aminohappojen saannin havaittiin vähentävän koehenkilöiden subjektiivisesti arvioitua viivästyneen lihasarkuuden kokemusta. Ero oli tilastollisesti merkitsevä 24- ja 48 tuntia lihasarkuutta aiheuttaneen harjoituksen jälkeen. Tämän jälkeen molempien ryhmien viivästyneen lihasarkuuden tunne alkoi heiketä,

vaikka aminohappoja saaneen ryhmän viivästyneen lihasarkuuden tunne oli edelleen vertailuryhmää vähäisempää.

Howatson tutkimusryhmineen (2012) tutkivat haaraketjuisten aminohappojen saannin vaikutusta harjoittelun aiheuttamiin lihasvaurioihin. Yksi annos koeryhmälle annettua ravintolisää sisälsi 10 grammaa haaraketjuisia aminohappoja. Tutkimuksessa haaraketjuisten aminohappojen saanti kehon painoon suhteutettuna vaihteli tutkittavien kesken 114-140 mg/kg välillä. Kontrolliryhmälle annettu valmiste oli keinotekoisesti makeutettu juoma. Tutkimuksessa annettujen valmisteiden nauttiminen aloitettiin kahdeksan päivää ennen harjoitusta. Tällöin tutkittavat nauttivat annettuja valmisteita kaksi annosta päivässä: yhden aamulla ja toisen illalla. Harjoituspäivänä tutkittavat nauttivat kaksi annosta haaraketjuisia aminohappoja tuntia ennen lihasvaurioita aiheuttavaa harjoitusta ja kaksi annosta harjoituksen jälkeen. Tutkittavat nauttivat annettuja ravintolisiä vielä neljä päivää harjoituspäivän jälkeen yhden annoksen aamulla ja yhden illalla. Haaraketjuisia aminohappoja saaneiden viivästyneen lihasarkuuden tunne oli tilastollisesti merkitsevästi vähäisempää 24– ja 48 tuntia harjoittelun jälkeen, kuin makeutettua vettä saaneen vertailuryhmän. Viivästynyt lihasarkuus oli kaikilla tutkittavilla voimakkainta 48 tuntia harjoittelun jälkeen. Tästä eteenpäin lihasarkuuden tunne alkoi heiketä, vaikka edelleen 96 tuntiin saakka haaraketjuisia aminohappoja saaneiden lihasarkuuden tunne oli vertailuryhmää vähäisempää. Haaraketjuisten aminohappojen saannin huomattiin vaikuttavan edullisesti myös lihasvaurioista kertovan merkkiaineen (kreatiinikinaasi) pitoisuuteen ja koehenkilöiden voimantuotto-ominaisuuksiin harjoituksen jälkeisinä päivinä.

Dorrel ja Gee (2016) tutkivat eri kokoisten BCAA-annosten vaikutusta lihasten toimintakyvyn palautumiseen maksimaalista voimantuottoa vaativalla testipatteristolla. Sokkoutettuun vaihtovuorotutkimukseen valikoitui satunnaisesti viisi voimaharjoittelutaustan omaavaa miestä, jotka suorittivat lihasarkuutta aiheuttavan moninivelliikkeistä koostuvan harjoituksen. Harjoituksessa käytettävät painot laskettiin tutkittavien itsensä arvioimista maksimipainoista. Tutkimuksessa havaittiin haaraketjuisten aminohappojen nauttimisen ennen ja jälkeen harjoituksen vähentävän tilastollisesti merkitsevästi vuorokausi harjoituksen jälkeen mitattua viivästyneen lihasarkuuden tunnetta. Tutkimuksessa sekä pienempi (6 g) –, että suurempi (18 g) annos vähensi lihasarkuutta keinotekoisesti makeutettua vettä saavaan vertailuryhmään verrattuna. Lisäksi tutkimuksessa huomattiin suuremman BCAA-annoksen vähentävän lihasarkuutta pientä annosta enemmän ($p=0,025$). Lihastoiminnan palautumisen tasoa määrittävä testipatteristo osoitti edelleen haaraketjuisten aminohappojen nopeuttavan palautumista. Ero vertailuryhmään oli tilastollisesti merkitsevä kaikissa liikkeissä yhtä lukuun

ottamatta (istualtaan suoritettu kuntopallon heitto). Eri määrän haaraketjuisia aminohappoja saavien ryhmien välillä havaittiin, että suuremman määrän BCAA:a saavien henkilöiden fyysisten testien tulokset olivat pienempään annoskokoan nähden parempia, mutta tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Foure ja kumppanit (2016) tutkivat haaraketjuisten aminohappojen saannin vaikutusta plasman aminohappokonsentraatioon ja lihasten aktiivisuuteen lihasvaurioita aiheuttavan harjoituksen jälkeen. Tutkittavat nauttivat annettuja valmisteita yhden annoksen 30 minuuttia ennen harjoitusta ja yhden annoksen harjoituksen jälkeen. Annettua valmisteita nautittiin vielä yksi annos päivässä neljän päivän ajan harjoituksen jälkeen. Yksi annos BCAA-ravintolisää sisälsi tutkittavien painoon suhteutettuna aina 100 mg haaraketjuisia aminohappoja kehon painokiloa kohden. Kontrolliryhmän nauttima valmiste sisälsi mikrokiteistä selluloosaa. Lihasvaurioita aiheuttava harjoitus suoritettiin neuromuskulaarisen elektrostimulaation avulla, jossa reisilihaksia ärsytettiin kolme elektrodin kautta johtuvalla sähköllä. Ärsytyksen voimakkuutta lisättiin hiljalleen tutkittavan kipukynnyksen mukaan. Tämän kaltaisen harjoituksen on aikaisemmin todettu aiheuttavan selkeästi lihasvaurioita ja lihasarkuutta (Foure ym. 2015). Tutkimuksessa haaraketjuisten aminohappojen nauttimisella ei huomattu vaikutusta viivästyneeseen lihasarkuuteen. Tutkimuksessa molemmille ryhmille saatiin aikaan tilastollisesti merkitsevä viivästyneen lihasarkuuden tunne alkutilanteeseen verrattuna. Mikrokiteistä selluloosajuomaa nauttineen vertailuryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli tutkimuksen aikana keskimäärin haaraketjuisia aminohappoja nauttinutta koeryhmää vähäisempää, vaikka ero ei ollutkaan tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan vertailuryhmän plasmasta mitatut kreatiinikinaasin pitoisuudet olivat koeryhmään verrattuna merkittävästi pienemmät, vaikkakin arvoissa oli tutkittavien välillä suuria eroja.

TUTKIMUS	OTOS	KESTO	MUUTA	HARJOITE	MITTAUSMENETELMÄT	TULOS (p<0,05 ryhmien välillä)
Shimomura ym. 2006. Sokkoutettu, vaihtovuoroasetelma.	n=30 21-24 -v, M (14) ja N (16), Ei VHT.	5 pv	1. BCAA: 5g (2,3 : 1 : 1,2) M: 77 ±3 mg/kg, N: 92 ±2 mg/kg. 2. Dextrin 5 g. Nauttiminen 15 min EH. Paasto yön yli. 30 min EH 100 kcal hiilihydrattia. Huuhteluaika 3 kk.	Jalkakyykky 7*20 toistoa. Toistot rytmitetysti 2 s välein.	LA (VAS 10cm) Ennen harjoitusta, harjoituksen jälkeen, +24 h, +48 h, +72 h ja +96 h.	BCAA Naiset: LA ↓: +24 h, +48 h, +72 h ja +96 h: EEM.
Shimomura ym. 2010. Sokkoutettu, vaihtovuoroasetelma.	n=12 20-25 -v, N, Ei VHT.	5 pv	1. BCAA: 5,5g (2,3; 1,0; 1,2), 100mg/kg. 2. Dextrin 100mg/kg. Nauttiminen 15 min EH. Paasto yön yli. 30 min EH 100 kcal hiilihydrattia. Huuhteluaika 3 kk.	Jalkakyykky 7*20 toistoa. Toistot rytmitetysti 2 s välein.	LA (VAS 10 cm), P-Mb, P-CK, P-Elast ja Voimantuotto (kipukontrolloitu, polvenojennus) +72 h. Ennen harjoitusta, harjoituksen jälkeen, +24 h, +48 h, +72 h ja +96 h.	BCAA: LA (VAS 10cm) ↓ +24 h: 4,2 ±2,2 (vrt. PLA: 6,4 ± 2,4) ja +48 h: 4,5 ± 2,7 (vrt. PLA: 5,8 ± 2,7). Voimantuotto ↑ (kipukontrolloitu, polvenojennus) +72 h: ~100% (vrt. PLA: 80%).
Howatson ym. 2012. Satunnaistettu, kaksoissokkoutettu.	n=12 23 ± 2 -v, M Joukkuelajien urheilijoita (rugby ja jalkapallo).	16 pv	1. BCAA: 10g (2:1:1). 2. Keinotekoisesti makeutettu vesi. 8 pv EH ja 4 pv HJ: 2 annosta päivittäin. Harjoituspäivänä: 2 annosta 1 h EH ja 2 annosta HJ. Paasto EH.	Pudotushyppy 5*20 60 cm korkeudesta, Hyppy 10 s välein.	P-CK, LA (VAS 200 mm) Raajan ympärysmitta, MIV (polven ojennus) ja Vertikaalihyppy. Ennen harjoitusta, +24 h, +48 h, +72 h ja +96 h.	BCAA: P-CK ↓ +24 h: EEM, LA (VAS 200 mm) ↓ +24 h ja +48 h: EEM, MIV ↑ +24 h: -18% (vrt. PLA: -27%) ja +48 h: EEM.

Dorrel & Gee 2016.	n=5	3 pv	1. BCAA: 6 g (2:1:1). 2. BCAA: 18 g (2:1:1). 3. Keinotekoisesti makeutettu vesi.	Maastaveto, Penkkipunnerrus, Jalkakyykky ja Pystypunnerrus.	Joustohyppy, kyykkyhyppy pysäytyksellä, kuntopalloheitto, kuntopyöräsprintti 6 s (HTT ja KTT) ja LA (VAS 200 mm)	BCAA 6 g: Joustohyppy ↑: 57,7 ± 8,0 cm (vrt. PLA: 56,6 ± 7,9 cm) Kyykkyhyppy ↑: 52,8 ± 9,9 cm (vrt. PLA: 51,7 ± 10,7 cm), HTT ↑: 1107 ± 27 W (vrt. PLA: 1044 ± 69 W) ja LA (VAS 200 mm) ↓: 91 ± 11 mm (vrt. PLA: 100 ± 12 mm). BCAA 18 g: Joustohyppy ↑: 59,1 ± 7,9 cm (vrt. PLA: 56,6 ± 7,9 cm) Kyykkyhyppy ↑: 54,0 ± 9,9 cm (vrt. PLA: 51,7 ± 10,7 cm), HTT ↑: 1133 ± 46 W (vrt. PLA: 1044 ± 69 W), Kuntopalloheitto ↑: EEM LA (VAS 200 mm) ↓: 81 ± 11 mm (vrt. 6g: 91 ± 11 mm ja PLA: 100 ± 12 mm).
Foure ym. 2016.	n=26	10 pv	1. BCAA: 100mg/kg (2:1:1). 2. Mikrokiteinen selluloosa- juoma.	Neuromuskulaari- nen elektrostimu- laatio.	P-MRS (PCr ja pH) (P-6, P2 ja P4) LA (VAS 100mm), MIV, P-CK ja P-VA (BCAA). (P0, P1, P2, P3 ja P4)	PLA: P-CK ↓ P4: 7062 ± 6843 IU/L (vrt. BCAA: 17211 ± 22252 IU/L). BCAA: P-VA ↑ (P0 J): +243,3 % (vrt. PLA: -25,6%).
Sokkoutettu, vaihtovuoroasetelma.	21,8 ± 0,8 -v, M, VHT.		20 min EH ja heti HJ. 24 h ruokapäiväkirja. Huuhteluaika 120 h.	4*8 toistoa 75%/1RM:		
Kaksoissokkoutettu, satunnaistettu.	22 ± 1 -v, M, Ei VHT.		30 min EH ja heti HJ. 1-4 pv: 1 annos mittausten jälkeen. Ruokapäiväkirja. Vakioitu aamupala EH.	40 isometristä polven ojennusta (supistus: 5s, lepo 35 s).		

Taulukko 2. BCAA = Haaraketjuiset aminohapot; EEM = Eroa ei mainittu; EH = ennen harjoitusta; HJ = Harjoituksen jälkeen; HTT = Huipputehontuotto; KTT = Keskimääräinen tehontuotto; LA (VAS) = Subjekttiivinen lihasarkuus visuaalisella mitta-asteikolla mitattuna; M = mies; MIV = Maksimaalinen isometrinen voima; N = nainen; P -6 = Kuusi päivää ennen harjoitusta; P0 E/J = Harjoituspäivänä ennen /jälkeen harjoituksen;

P4 = Neljä päivää harjoituksen jälkeen | P-CK = Kreatiinkinaasipitoisuus plasmasta; PCr = Fosfokreatiini; P-Elast = Elastaasipitoisuus plasmasta; P-Mb = Myoglobiinipitoisuus plasmasta; P-MRS = Magneettinen resonanssispektroskopia; P-VA = Vapaat aminohapot plasmasta; VHT = Tutkimusta edeltävä voimaharjoittelutausta;

7 VÄLTÄMÄTTÖMÄT RASVAHAPOT

7.1 Yleistä

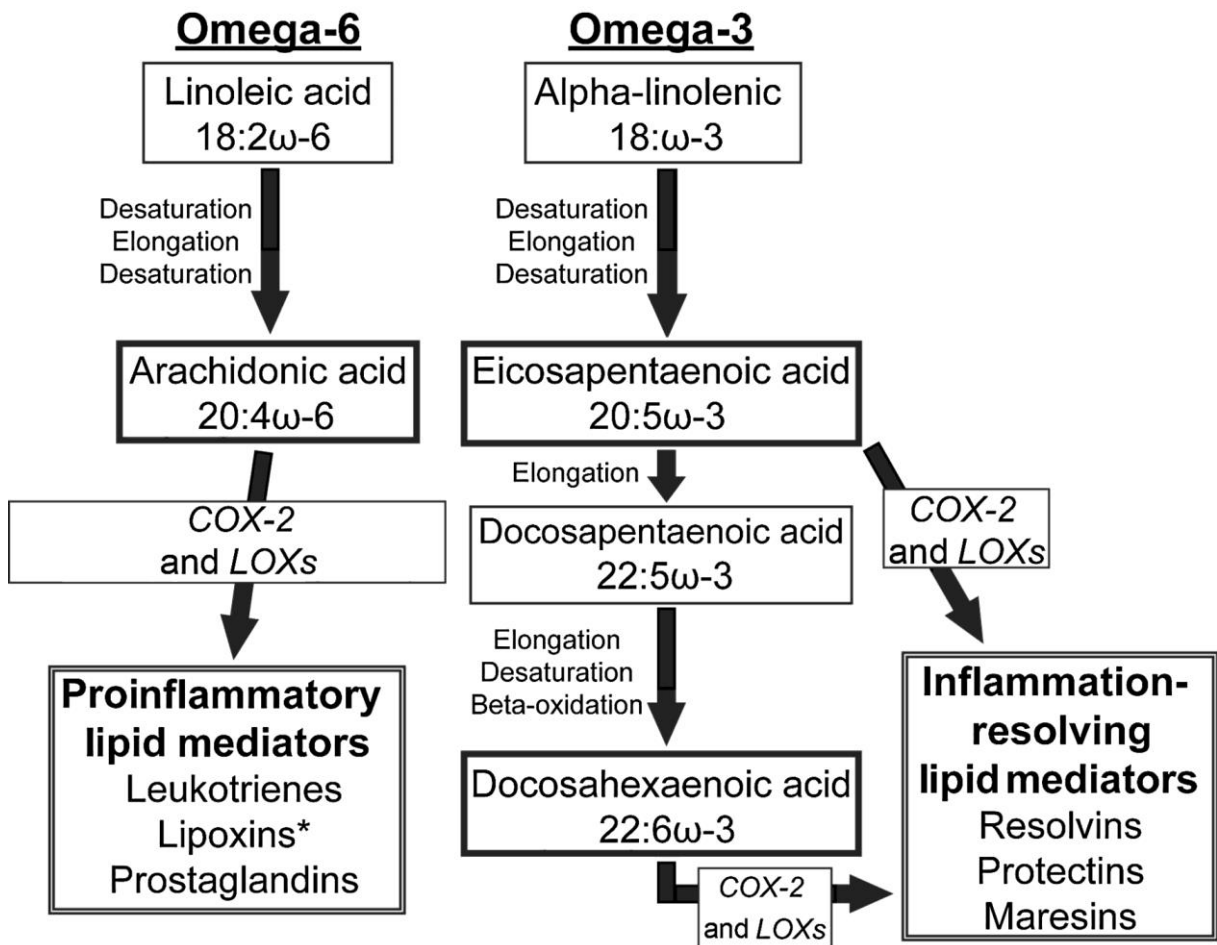
Ihmiselle välttämättömiä rasvahappoja ovat n-3 –sarjaan kuuluva alfa-linoleenihappo (18:3 n-3, ALA) ja n-6 –sarjaan kuuluva linolihappo (18:2 n-6, LA). Ihmiselimistöstä puuttuvat entsyymit, jotka muodostavat n-3– ja n-6 –sarjan rasvahapoille ominaiset kaksoissidokset rasvahappoketjun kolmanteen ja kuudenteen hiileen metyyli-päästä lukien. Tämän vuoksi kyseisiä rasvahappoja on saatava ravinnosta (Aro ym. 2015). Elimistö kykenee muodostamaan edellä mainituista rasvahapoista edelleen pidempiketjuisia rasvahappoja, joiden tehtävät liittyvät toimimiseen elimistön rakenteissa ja elimistön toiminnan säätelyssä. Linolihaposta elimistö kykenee valmistamaan arakidonihappoa (20:4 n-6, AA) ja alfa-linoleenihaposta edelleen eikosapentaeenihappoa (20:5 n-3, EPA) ja dokosaheksaeenihappoa (22:6 n-3, DHA).

7.2 Eikosanoidit ja dokosanoidit

Elimistö kykenee muodostamaan kudoksissa tarvittaessa auto- tai parakriinisesti vaikuttavia yhdisteitä, eikosanoideja, joita syntetisoidaan kudoksissa erilaisten kemiallisten ja/tai mekaanisten ärsykkeiden vaikutuksesta (Kuva 2). Eikosanoidisynteesin lähtöaineina toimivat 20 hiiltä sisältävät rasvahapot, joita vapautetaan entsyymaattisesti soluvalvon fosfolipideistä solulimaan. Solulimassa eikosanoidit syntetisoidaan entsyymaattisesti. Eikosanoidit voidaan luokitella eri sarjoihin, mikä riippuu mm. kudoksen entsyymiprofiilista ja lähtörasvahappojen rakenteesta. AA:sta muodostuneet eikosanoidit ovat yleensä vaikutukseltaan voimakkaita ja usein tulehdusreaktioita lisääviä. EPA:sta muodostuneet eikosanoidit taas ovat vaikutukseltaan lievempiä ja usein tulehdusta vähentäviä. DHA:sta elimistö kykenee syntetisoimaan dokosanoideja, jotka ovat vaikutukseltaan voimakkaita ja tulehdusta vähentäviä yhdisteitä (Aro ym. 2015).

Ravinnon rasvahappokoostumuksella voidaan kudoksesta riippuen vaikuttaa jonkin verran solukalvojen fosfolipidikoostumukseen. Rasvahappojen metabolia ja kiinnittyminen solukalvojen fosfolipideihin on ilmeisen tarkkaan säädeltyä, mutta EPA ja AA voivat kilpailla sitoutumisesta. Tällä on lopulta vaikutusta kudosten eikosanoidivasteeseen. Eikosanoidien ja

dokosanoidien vaikutus tulehdukseen on ilmeinen, minkä vuoksi ravinnon kautta saatavien tyydyttymättömien rasvahappojen vaikutusta on tutkittu viivästyneen lihasarkuuden suhteen.



Kuva 2: Välttämättömien rasvahappojen ja niiden metaboliittien aineenvaihdunta (Hidaka ym. 2015).

7.3 Tulehdus viivästyneessä lihasarkuudessa

Harjoittelun aiheuttamat jänne- ja lihasvauriot lisäävät vauriokudoksissa solun sisäisten aineiden ja yhdisteiden vuotamista soluvälitilaan (Cheung ym. 2003). Vauriokudokseen alkaa pian kertyä tulehdussoluja, joiden erittämät sytokiinit stimuloivat akuutin vaiheen proteiinien erittymistä ja eikosanoidien synteesiä. Eikosanoideista etenkin prostaglandiini E₂:n (PGE₂) pitoisuuden on havaittu nousevan useissa tutkimuksissa (Mickleborough 2013). PGE₂ on AA:sta muodostunut 2-sarjan prostanoidi, joka toimii tulehduksen välittäjäaineena. PGE₂ ja muut inflammatoriset prostanoidit laajentavat verisuonia ja voimistavat paikallista tulehdusreaktiota. Lisäksi PGE₂ herkistää kipuhermopäätteitä tulehduksen välittäjäaineiden aiheuttamalle kivulle (Pelkonen ym. 2014). Viivästyneessä lihasarkuudessa PGE₂:n oletetaan

herkistävän tyyppin III ja IV kipuhermopäätteitä, jotka synnyttävät viivästyneelle lihasarkuudelle ominaisen kivun tunteen harjoitettuihin lihasryhmiin (Smith 1991).

7.4 N-3 –rasvahappojen saannin vaikutus viivästyneeseen lihasarkuuteen

Tässä tutkielmassa käsitellyissä tutkimuksissa omega-3 –rasvahappoja sisältävien ravintolisien saantia on verrattu omega-3 –rasvahappoja sisältämättömien ravintolisien saantiin lihasvoimaharjoittelun ja päiviä kestäneen seurannan aikana. Jokaisessa taulukossa 3. esitetyssä tutkimuksessa tutkittaville on saatu aikaan tilastollisesti merkitsevä viivästyneen lihasarkuuden tunne, johon on pyritty vaikuttamaan ravintolisän avulla. Tutkittavat ovat olleet iältään 18-60 –vuotiaita ja kukaan tutkittavista ei harrastanut tutkimuksen aikana tai sitä ennen säännöllistä voimaharjoittelua.

Käsitellyt tutkimukset ovat kokeellisia ja tutkimuksista yksi on suoritettu vaihtovuoroasetelmalla. Muut käsitellyistä tutkimuksista ovat sokkoutettuja tai kaksoissokkoutettuja, lumekontrolloituja ja rinnakkaisen ryhmän sisältäviä tutkimuksia. Esitetyistä tutkimuksista kolmessa ei huomioitu tutkittavien tutkimuksen aikaista ruokavaliota. Ainoastaan yhdessä tutkimuksessa tutkittavat saapuivat viivästynyttä lihasarkuutta aiheuttavaan harjoitukseen paastossa. Kaikissa tutkimuksissa tutkittavia kehoitettiin välttämään tutkimuksen aikana venyttäviä harjoituksia ja tulehduskipulääkkeiden käyttämistä.

Tartibian tutkimusryhmineen (2009) tutkivat omega-3 –rasvahappojen saannin vaikutusta harjoittelun jälkeisen viivästyneen lihasarkuuden tunteen voimakkuuteen harjoittelutaustan omaamattomilla miehillä. Tutkimuksessa koeryhmään kuuluvat tutkittavat nauttivat säännöllisesti 30 päivää ennen harjoitusta ja kaksi päivää harjoituksen jälkeen kaupallista omega-3 –rasvahappoja sisältävää kalaöljyvalmistetta. Tutkimuksessa kalaöljyvalmisteen säännöllinen nauttiminen vähensi tilastollisesti merkitsevästi viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemista kaksi vuorokautta harjoittelun jälkeen. Koeryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli vähäisempää myös muina mittausajankohtina. Lisäksi tutkimuksessa koeryhmän reiden ympäräsmitta oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi 24- ja 48 tuntia harjoituksen jälkeen, kuin plasebo- ja kontrolliryhmällä.

Myöhemmin Tartibian ja kumppanit (2011) tutkivat omega-3 –rasvahappojen saannin vaikutusta harjoittelun jälkeen mitattuihin elimistön tulehdustekijöihin. Tutkimuksen järjestelyt olivat hyvin samankaltaiset, kuin edellisessä tutkimuksessa. Viivästynyttä lihasarkuuden tunnetta ei mitattu tutkimuksen aikana. Tutkimuksen aikana kaupallisen kalaöljypohjaisen

omega-3 –ravintolisän nauttimisella havaittiin tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia useissa tulehdusta ilmentävien merkkiaineiden pitoisuuksissa verrattuna plasebo- ja kontrolliryhmään. Tutkimuksessa kalaöljyvalmisteen nauttimisella havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaikutus neutrofiilien solukalvojen fosfolipidien rasvahappokoostumukseen, kun tuloksia verrattiin lähtötasomittauksiin. Tämän arveltiin osaltaan vaikuttavan etenkin koeryhmän pienempiin prostaglandiini E2 –pitoisuuksiin, mutta tätä ei kuitenkaan tutkimuksessa suoraan osoitettu.

Phillips tutkimusryhmineen (2003) tutkivat mm. dokosaheksanoaattia ja flavonoideja sisältävän ravintolisän vaikutuksia harjoittelun aiheuttamiin soluvaurioista kertovien merkkiaineiden ja tulehdustekijöiden pitoisuuksien nousuun. Vertailuryhmän nauttima kaltaistettu rasvahappovalmiste sisälsi auringonkukkaöljyä. Tutkittavat nauttivat annettuja ravintolisiä seitsemän päivää ennen harjoitusta ja seitsemän päivää harjoituksen jälkeen. Tutkittavilla ei ollut aikaisempaa harjoittelutaustaa. Tutkimuksessa ravintolisän käytöllä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää vaikutusta koe- ja vertailuryhmän välisissä viivästyneen lihasarkuuden tunteen voimakkuuksissa. Sen sijaan mitattujen tulehdustekijöiden havaittiin olevan koeryhmällä vertailuryhmää pienemmät ($p < 0,05$).

Jouris ja kumppanit (2011) tutkivat vaihtovuoroasetelmaa käyttäen omega-3 –ravintolisän vaikutusta harjoittelun jälkeiseen elimistön tulehdusvasteeseen. Tutkittavat olivat harjoittelutaustan omaamattomia miehiä ja naisia. Tutkimuksessa eksentrisen hauiskääntöharjoite suoritettiin yhdellä kädellä. Tutkimuksessa harjoitteen suorittaminen toteutettiin siten, että puolet tutkittavista suoritti harjoitteen omega-3 –rajoitteisen ruokavalion aikana ei-dominoivalla kädellä ja puolet dominoivalla kädellä. Seuraavassa vaiheessa, omega-3 –rasvahapoilla täydennetyn ruokavalion noudattamisen jälkeen suoritettua harjoitteessa tutkittavat suorittivat harjoitteen toisella kädellä, millä suorittivat harjoituksen tutkimuksen ensimmäisessä osassa. Näin pyrittiin välttämään harjoitetun raajan tottumista tutkimuksessa käytettävään harjoitteeseen. Omega-3 –rajoitteinen ruokavalio kesti 14 vuorokautta, jonka jälkeen tutkittavat tekivät harjoituksen ensimmäisen kerran. Harjoitusta seurasi kahden vuorokauden seuranta. Tämän jälkeen toteutettiin seitsemän vuorokautta kestävä omega-3 –rasvahapoilla täydennetyn ruokavalion noudattaminen, jonka jälkeen tutkittavat toistivat harjoitteen. Harjoitusta seurasi kahden vuorokauden seuranta. Tuloksia tarkasteltaessa kaupallisen omega-3 –rasvahappolisän käytön havaittiin olevan yhteydessä vähäisempään viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemiseen eksentrisen harjoituksen jälkeisinä päivinä. Lisäksi ravintolisän käytön aikana tutkittavat suorittivat tilastollisesti merkitsevästi suuremman määrän toistoja eksentrisessä harjoitteessa, jossa tutkittavat tekivät maksimaalisen määrän toistoja pyydetyllä tavalla.

Lembke ja kumppanit (2014) tutkivat omega-3 –rasvahappolisän käytön vaikutusta harjoitustehoon ja harjoituksen jälkeiseen hyvinvointiin. Tutkimuksessa koehenkilöt jaettiin satunnaisesti koe- ja vertailuryhmään 2:1 suhteessa. Tutkittavat nauttivat annettuja ravintolisiä päivittäin 30 päivän ajan ennen harjoitusta. Tutkimuksessa omega-3 –ravintolisää käyttävän koeryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli alkumittausta lukuun ottamatta pienempi kaikkina mittaushetkinä. Ero plaseboa nauttineeseen vertailuryhmään oli tilastollisesti merkitsevä 72- ja 96 tuntia harjoituksen jälkeen. Lisäksi omega-3 –ravintolisää nauttineen koeryhmän heti harjoituksen jälkeen mitatut laktaattipitoisuudet olivat pienemmät, kuin vertailuryhmällä ($p < 0,0309$).

Grey tutkimusryhmineen (2014) selvittivät kalaöljyvalmisteen nauttimisen vaikutusta harjoituksen aiheuttamaan oksidatiivisen stressitekijöiden lisääntymiseen ja lihasvaurioihin kohtalaisesti aktiivisilla miehillä. Tutkimuksessa tutkittavat nauttivat annettuja ravintolisiä päivittäin kuuden viikon ajan ennen harjoitusta. Tutkimuksessa ryhmien välillä ei havaittu merkittäviä eroja viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemisessa. Tutkimuksessa tarkasteltiin lisäksi tutkittavien oksidatiivista stressiä mittaamalla tiobarbituraattihappoon reagoivien yhdisteiden (TBARS) pitoisuuksia, proteiinikarbonyyliylioisuuksia ja määrittämällä lymfosyyttien oksidatiivisia DNA-vaurioita. Kalaöljyvalmistetta nauttineen koeryhmän TBARS-pitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi pienemmät 48- ja 72 tuntia harjoituksen jälkeen. Lisäksi lymfosyyttien DNA-vauriot olivat kontrolliryhmällä heti harjoituksen jälkeen suoritettussa mittauksessa merkittävämmät ($p < 0,05$) kuin kalaöljyä nauttineella koeryhmällä.

Tsuchiya ja kumppanit (2016) tutkivat runsaasti eikosapentaeeni- ja dokosaheksaeenihappoa sisältävän kalaöljyn saannin vaikutusta eksentrisen voimaharjoituksen aiheuttamiin lihasvaurioiden muodostumiseen. Kaikki tutkittavat olivat miehiä, joilla ei ollut aikaisempaa harjoittelutaustaa. Tutkittavat aloittivat annettujen ravintolisien nauttimisen kahdeksan viikkoa ennen harjoitusta. Harjoituksen jälkeen ravintolisiä nautittiin vielä viisi päivää kestävän seurannan ajan. Tutkimuksessa koeryhmän isometrinen voimantuotto heikkeni voimaharjoituksen jälkeen vähemmän, kuin kontrolliryhmän ($p > 0,05$). Ero ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä kahden-, kolmen- ja viiden päivän kuluttua harjoituksesta koeryhmän isometrisen voimantuotto-ominaisuuksien palautuessa kontrolliryhmään verrattuna nopeammin. Lisäksi kalaöljyä nauttineen koeryhmän liikkuvuusominaisuudet pysyivät lähes lähtötasoon verrattavissa arvoissa, kun taas kontrolliryhmän liikkuvuusominaisuudet heikkenivät tutkimuksessa suoritettuna eksentrisen harjoituksen myötä. Ero ryhmien liikkuvuusominaisuuksissa oli tilastollisesti merkitsevä yksi-, kaksi- ja kolme päivää eksentrisen harjoituksen jälkeen. Koeryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne

kehittyi kontrolliryhmään nähden samankaltaisesti. Koeryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli voimakkainta yksi- ja kaksi päivää harjoituksen jälkeen, kunnes kolmantena päivänä harjoituksesta koeryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne alkoi vähentyä. Kontrolliryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli voimakkainta kolmantena päivänä harjoituksen jälkeen ja tuolloin ero koeryhmään verrattuna oli tilastollisesti merkitsevä. Kolmantena päivänä myös seerumin interleukiini-6 -pitoisuudet olivat kontrolliryhmällä tilastollisesti merkitsevästi suuremmat kuin kalaöljyä nauttineella koeryhmällä.

Corder tutkimusryhmineen (2016) tutki runsaan dokosaheksaeeniravintolisän nauttimisen vaikutusta harjoituksen jälkeiseen viivästyneeseen lihasarkuuden tunteeseen ja tulehdukseen voimaharjoittelua harrastamattomilla naisilla. Tutkimuksessa ravintolisien nauttiminen aloitettiin seitsemän päivää ennen harjoitusta ja jatkettiin kaksi päivää harjoituksen jälkeen. Tutkimuksessa harjoituksena käytettiin eksentrisiä hauiskääntöjä. Kaksi päivää harjoituksen jälkeen tutkimuksessa havaittiin kontrolliryhmän kyynärnivelen liikkuvuuden olevan tilastollisesti merkitsevästi rajoittuneempi koeryhmään verrattuna ($p=0,006$), kun liikkuvuutta määritettiin aktiivisella kyynärnivelen ojennuksella. Samaan aikaan koeryhmän tunnustelun aikana määritetty viivästyneen lihasarkuuden tunne oli vähäisempää kontrolliryhmään verrattuna ($p=0,02$).

Tinsley ja kumppanit (2016) tutkivat runsaan kalaöljyn saannin vaikutusta harjoituksen jälkeen koettuun viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemiseen voimaharjoittelusta omaamattomilla naisilla. Tutkimus käsitti sekä ylä- että alavartalon harjoitteen. Tutkimuksessa ravintolisien nauttiminen aloitettiin seitsemän päivää ennen harjoitusta. Kalaöljyä nauttineen koeryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne harjoituksen jälkeisissä mittauksissa oli 33-42% vähäisempää kontrolliryhmään verrattuna, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä missään aikapisteessä.

Useissa tutkimuksissa EPA:a ja DHA:a sisältävillä ravintolisillä on saatu ehkäistä tulehdustekijöiden ilmentymistä (mm. Tartibian ym. 2011, Lembke ym. 2014, Tsuchiya ym. 2016). Lisäksi useissa tutkimuksissa omega-3 -rasvahappolisän säännöllisellä käyttämisellä on havaittu koehenkilöiden subjektiivisen viivästyneen lihasarkuuden tunteen vähentyneen plaseboa nauttineeseen kontrolliryhmään verrattuna (mm. Tartibian ym. 2009, Jouris ym. 2011, Lembke ym. 2014, Tsuchiya ym. 2016, Corder ym. 2016).

TUTKIMUS	OTOS	KESTO	MUUTA	HARJOITE	MITTAUSMENE- TELMÄT	TULOS (p<0,05 ryhmien välillä)
Tartibian ym. 2009 Kaksoissokkoutettu, satunnaistettu.	n=27 33,4 ± 4,2 –v. M, Ei VHT.	32 pv	1. EPA 324mg + DHA 216mg + α-tokoferoli 100 IU /pv. 2. Plasebokapseli. 3. -. Ruoankäytön frekvenssikysely.	Askeltaminen polven korkuiselle laatikolle 40 minuutin ajan.	LA (Talag mentally corrected scale: 1-6), Reiden ympärysmitta ja Polvinivelen liikkuvuus. EH, HJ (0 h), +24 h ja +48 h.	LA↓: +48 h.* Reiden ympärysmitta↓: +24 h ja +48 h.* Polvinivelen liikkuvuus↓: + 48 h.* *EEM.
Tartibian ym. 2011 Kaksoissokkoutettu, satunnaistettu.	n=45 29,7 ± 6,6 –v. M, Ei VHT.	32 pv	1. EPA 324mg + DHA 216mg + α-tokoferoli 100 IU /pv. 2. Plasebokapseli 3. -. Ruoankäytön frekvenssikysely.	Askeltaminen polven korkuiselle laatikolle 40 minuutin ajan. 15 askellusta/min	P-CK, P-LDH, P-Mb, P-IL-6, P-TNF-α, P-PGE2 ja Neutrofiilien fosfolipidien rasvahappo- analyysi (AA, DHA, EPA ja LA). LTM, EH, HJ (0 h), +24 h ja +48 h.	P-IL-6↓: +24 h Koe: 3,1 ± 0,8 pg/mL (vrt. PLA: 6,0 ± 1,0 pg/mL ja Kont: 6,0 ± 1,4 pg/mL). P-IL-6↓: +48 h Koe: 1,0 ± 0,2 pg/mL (vrt. PLA: 2,8 ± 0,7 pg/mL ja Kont: 2,7 ± 0,5 pg/mL). P-CK↓: +24 h Koe: 831,3±439,8 IU/L (vrt. PLA: 1164,9±404,5 IU/L ja Kont: 1196,1±432,1 IU/L). P-CK↓: +48 h Koe:1414,9±525,4 IU/L (vrt PLA: 3243,5±785,2 IU/L ja Kont: 3344,1±876,3 IU/L). P-Mb↓: +24 h Koe: 84,1±31,6 ng/mL (vrt. PLA: 115,4 ± 41,8 ng/mL ja Kont.: 123,2 ± 45,9 ng/mL). P-Mb↓: +48 h Koe:200,1 ± 120,4 ng/mL (vrt. PLA: 393,4±133,2

ng/mL ja Kont: 416,2±165,5
ng/mL).

P-TNF- α ↓: EH:

Koe: 1,3 ± 0,4 pg/mL (vrt.
PLA: 3,7 ± 0,8 pg/mL ja
Kont: 3,7 ± 1,0 pg/mL).

P-TNF- α ↓: HJ:

Koe: 1,5 ± 0,7 pg/mL (vrt.
PLA: 5,3±1,1 pg/mL ja
Kont: 5,2±2,1 pg/mL).

P-TNF- α ↓: +24 h

Koe: 3,1 ± 1,0 pg/mL (vrt.
PLA: 6,8 ± 2,0 pg/mL ja
Kont: 6,9 ± 2,1 pg/mL).

P-TNF- α ↓: +48 h

Koe: 6,2 ± 2,3 pg/mL (vrt.
PLA: 9,5 ± 3,2 pg/mL ja
Kont: 9,7 ± 3,0 pg/mL).

P-PGE2↓: HJ:

Koe: 50,1±13,8 pg/mL (vrt.
PLA: 66,9 ± 14,2 pg/mL ja
Kont: 63,7 ± 13,5 pg/mL).

P-PGE2↓: +24 h

Koe: 106,1±36,9pg/mL (vrt.
PLA: 162,6 ± 14,9 pg/mL ja
Kont: 154,2 ± 16,2 pg/mL).

P-PGE2↓: +48 h

Koe: 209,1±39,1pg/mL (vrt.
PLA: 331,8 ± 29,7 pg/mL ja
Kont: 314,9 ± 34,7 pg/mL).

P-LDH↓: HJ:

Koe: 251,5 ± 39,6 IU/L (vrt.
PLA: 317,6 ± 90,9 IU/L ja
Kont: 347,9 ± 90,1 IU/L).

Tartibian ym. 2011

						<p>P-LDH↓: +24 h Koe:463,3 ±154,5 IU/L (vrt. PLA: 720,4 ± 235,3 IU/L ja Kont: 671,1 ± 231,1 IU/L).</p> <p>P-LDH↓: +48 h Koe:810,5±425,2 IU/L (vrt. PLA:1164,1 ± 410,7 IU/L ja Kont: 1244,8 ± 488,1 IU/L).</p> <p>Neutrofiilien fosfolipidien rasvahappo-analyysi: EPA↑: 4,8 ± 1,4 % (vrt. ennen 0,4 ± 0,5 %). DHA↑: 4,7 ± 2,4 % (vrt. ennen 1,8 ±1,5%). AA↓: 11,6 ± 5,9 % (vrt. ennen 21,5 ± 5,2 %) LA↓: 7,6 ± 2,4 % (vrt. ennen 17,1 ± 2,9 %).</p>
Phillips ym. 2003	n=40	14 pv.	<p>1. Dokosaheksanoaatti 800 mg + E-vit. 300 mg + Flavonoidit 300 mg /pv.</p> <p>2. Auringonkukkaöljykapseli + riisijauhetabletti.</p> <p>10 h paasto EH</p>	<p>Hauiskääntö, eksentrinen.</p> <p>3*10 80%/1RM.</p>	<p>LA (VAS 100 mm), P-CK, P-LDH, P-ALT, P-AST, S-CRP, S-IL-6 ja Kyynärvarren liikkuvuus.</p> <p>LTM, EH, 3 ja 7 pv HJ.</p>	<p>S-IL-6↓: 3 d harj. jälkeen *</p> <p>S-CRP↓: Ennen harj. ja 3 d harj. jälkeen. *</p> <p>*EEM</p>
Phillips ym. 2003	Kaksoissokkoutettu, satunnaistettu.	22,1±3,9 –v. M, Ei VHT.				
Jouris ym. 2011	n=11	25 pv.	<p>1. Omega-3 –rajoitteinen ruokavalio</p> <p>2. Omega-3 –täydennetty ruokavalio: EPA 2000 mg + DHA 1000 mg / pv.</p> <p>Ravitsemusterapeutin ohjaus</p>	<p>Hauiskääntö, eksentrinen.</p> <p>2*Max reps 120%/1RM.</p>	<p>LA (VAS 100 mm), 1. tunnustellen, 2. liikkeessä ja 3. ojennettuna. Turvotus ja Ihon lämpötila</p> <p>1. LTM ja +48 h HJ</p>	<p>Toistojen määrä ECC harjoitteessa↑:</p> <p>1. sarja: 21 ± 7 toistoa (vrt. 18 ± 3 toistoa).</p> <p>2. sarja: 10 ± 4 toistoa (vrt. 8 ± 3 toistoa).</p>
Jouris ym. 2011	Vaihtovuoroasetelma	18-60 –v., M (3) ja N (8) Ei VHT.				

					2. LTM ja +48 h HJ	LA liikkeessä ↓: 51 mm (vrt. 64 mm). LA ojennettuna ↓: 66 mm (vrt. 78 mm).
Lembke ym. 2014	n=69	34 pv.	1. EPA + DHA yht. 2,7 g / pv. 2. Auringonkukkaöljykapseli.	Kyynärvarren ojennus, eksentrisen. 2*30 toistoa.	P-CRP, P-CK, fB-Laktaat LA (VAS 1-10), Kyynärnivelen liikkuvuus ja Vääntömomentti. HJ (0 h), +24 h, +48 h, +72 h ja +96 h.	LA (VAS 1-10) ↓ +72h: 2,19 ± 1,92 (vrt. PLA: 4,36 ± 3.17) ja LA (VAS 1-10) ↓ +96 h: 1,63 ± 1,77 (vrt. 3,17 ± 2,75). fB-Laktaat ↓ harj. jälkeen: 3.56 ± 1.37 mmol/L (vrt. PLA: 4.28 ± 2.58 mmol/L). P-CRP ↓ 24h: EEM.
Satunnaistettu, sokkoutettu.	18,8 ± 1,2 –v. M ja N, Ei VHT.					
Gray ym. 2014	n=20	45 pv.	1. EPA 1.3 g + DHA 0.3g + α-tokoferoli 45 IU /pv. 2. Oliiviöljykapseli.	Reiden koukistus, eksentrisen. 20*10 toistoa.	P-CK, Lymfosyyttien DNA-vauriot (elektroforeesi), P-TBARS, P-PC P-EPA P-DHA, LA (VAS 1-10) MIV LTM, EH, HJ (0 h), +24 h, +48 h ja +72 h.	P-EPA ↑: ravintolisän käytön jälkeen (EEM) P-TBARS ↓ +48 h ja +72 h: EEM. Lymfosyyttien DNA-vauriot (elektroforeesi) ↓ harj. jälk.: EEM.
Kaksoissokkoutettu, satunnaistettu.	23 ± 2,3 –v. M, Ei VHT.					
Tsuchiya ym 2016	n=24	62 pv.	1. EPA 600 mg + DHA 260 mg / pv. 2. Maissiöljykapseli. Ruoankäytön frekvenssikysely.	Hauiskääntö, eksentrisen. 5*max reps.	MIV, Kyynärnivelen liikkuvuus, LA (VAS 100 mm), Hauksen ympäröymitta, S-CK,	MIV ↑ 2d: 95,5 ± 20,1 % (vrt. PLA: 78,4 ± 10,4 %), MIV ↑ 3d: 98,7 ± 15,0 % (vrt. PLA: 82,6 ± 6,8 %) ja MIV ↑ 5d: 101,3 ± 14,0 % (vrt. PLA: 85,1 ± 11,4 %).
Kaksoissokkoutettu, satunnaistettu.	19,5 ± 0,8 –v. M, Ei VHT.					

					<p>S-Mb, S-IL-6, S-TNF-α, S-EPA, S-DHA, S-AA ja S-DHGA.</p> <p>EH, HJ (0 h), +1 pv, +2 pv, +3 pv ja +5 pv.</p>	<p>ROM\uparrowharj. jälkeen: 96,4 \pm 10,9 % (vrt. PLA: 84,0 \pm 7,2 %), ROM\uparrow1d: 99,0 \pm 8,1 % (vrt. PLA: 89,0 \pm 6,3 %), ROM\uparrow2d: 97,6 \pm 8,8 % (vrt. PLA: 88,0 \pm 7,1 %) ja ROM\uparrow3d: 99,6 \pm 6,0 % (vrt. PLA: 88,5 \pm 10,9 %).</p> <p>LA (VAS 100 mm)\downarrow3d: 12,7 \pm 16,5 mm (vrt. PLA: 34,2 \pm 15,3 mm).</p> <p>P-DGLA\downarrow2d ja 3d: EEM</p> <p>S-IL-6\downarrow3d: 0,8 \pm 0,4 μg/ml (vrt. PLA: 1,8 \pm 1,1 μg/ml).</p> <p>S-EPA\uparrowennen harj.: EEM, S-EPA\uparrow1d: EEM, S-EPA\uparrow2d: EEM ja S-EPA\uparrow3d: EEM.</p>
Corder ym. 2016	n=27	14 pv.	<p>1. DHA 3000 mg / pv. 2. Soija-/maissiöljykapseli.</p> <p>Ravitsemusohjaus.</p>	<p>Hauiskääntö, eksentrinen</p> <p>4*max reps 120%/1RM.</p>	<p>LA (VAS 10 cm), Lihaksen jäykkyys*, Raajan ympärysmitta, Ihon lämpötila ja Sa-CRP.</p> <p>EH ja +48 h HJ.</p>	<p>Lihaksen jäykkyys\downarrow +48 h: 10/14 (vrt. PLA: 2/13). <i>*(=tutkittavat, joiden harjoitettu raaja ojentui aktiivisesti lähtötasoon nähdän suoraksi).</i></p> <p>LA (VAS 10 cm) \downarrow +48 h: 4,3 cm (vrt. PLA: 5,6 cm).</p>

Tinsley ym. 2017	n=19	14 pv.	1. EPA 3000 mg + DHA 600 mg / pv. 2. Soija-/maissiöljy-kapseli.	Hauiskääntö ja reiden ojennus:	LA (VAS 10 cm): levossa ja liikkeessä. *	<i>Ryhmien välillä ei tilastollisesti merkitseviä eroja.</i>
Kaksoissokkoutettu, satunnaistettu.	18-30 -v. N, Ei VHT.		Lista vältettävistä ruoka- aineista ja ravintolisistä.	10*max reps 50%/1RM.	Raajojen ympärysmat. **	
					*EH, +1 pv, +2 pv, +3 pv, +4 pv, +5 pv, +6 pv ja +7 pv.	
					**EH, +2 d ja +7 d.	

Taulukko 3. AA = Arakidonihappo; DHA = Dokosaheksaenihappo; EEM = Eroa ei mainittu; EH = Ennen harjoitusta; EPA = Eikosapentaeenihappo; fB-Laktaat = Laktatti verestä; HJ = Harjoituksen jälkeen; Koe = Koeryhmä; Kont = Kontrolliryhmä; LA = Linolihappo; LTM = Lähtötasomittaus; M = Miehet; MIV = Maksimaalinen isometrinen voimantuotto; P-Alt = Alaniinitransaminaasi plasmasta; P-Ast = Aspartaattitransaminaasi plasmasta; P-CK = Kreatiiniikinaasi plasmasta; P-CRP = C-reaktiivinen proteiini plasmasta; P-DHA = Dokosaheksaenihappo plasmasta; P-EPA = Eikosapentaeenihappo plasmasta; P-IL-6 = Interleukiini-6 -pitoisuus plasmasta; P-LDH = Laktaattidehydrogenaasi plasmasta; P-Mb = Myoglobiini plasmasta; P-PC = Proteiiniikarbonyyli plasmasta; P-PGE2 = Prostaglandiini E2 plasmasta; P-TBARS = TBARSSIT plasmasta; P-TNF-a = Tuumorinekroositekijä alfa plasmasta; PLA = Plasebo; ROM = Liikkuvuus; Sa-CRP = C-reaktiivinen proteiini syljessä; S-AA = Arakidonihappo seerumista; S-CK = Kreatiiniikinaasi seerumista; S-CRP = C-reaktiivinen proteiini seerumista; S-DHA = Dokosaheksaenihappo seerumista; S-DHGA = Dihomogammalinoleenihappo seerumista; S-EPA = Eikosapentaeenihappo seerumista; S-IL-6 = Interleukiini-6 plasmasta; S-Mb = Myoglobiini seerumista; S-TNF-a = Tuumorinekroositekijä-alfa seerumista; VHT = Tutkimusta edeltävä voimaharjoittelusta

8 POHDINTA

Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää, voiko ravinnon sisältämällä yhdisteillä ja niiden nauttimisella ehkäistä harjoittelun aiheuttamaa viivästyntä lihasarkuutta. Kirjallisuuskatsauksen mukaan ravitsemuksen keinoin voidaan nopeuttaa lihaskuntoharjoittelun aiheuttamien lihasvaurioiden korjaantumista, nopeuttaa suorituskyvyn palautumista ja ehkäistä lihaskuntoharjoittelun aiheuttamaa viivästyneen lihasarkuuden tunnetta. Tässä tutkielmassa käsiteltiin proteiinien, haaraketjuisten aminohappojen ja omega-3-rasvahappojen vaikutusta viivästyneen lihasarkuuden tunteeseen, koska näiden nauttiminen ravintolisinä on urheilijoiden keskuudessa hyvin yleistä. Lisäksi kutakin käsiteltyä yhdistettä voidaan saada riittävästi myös ravinnon kautta. Näiden yhdisteiden lisäksi viivästyntä lihasarkuuden tunnetta voidaan ehkäistä todennäköisesti myös monien muiden ravinnon sisältämien yhdisteiden avulla.

Viivästyneen lihasarkuuden ehkäisemistä käsitteleviä tutkimuksia on kohtalaisesti. Viivästyneen lihasarkuuden tunnetta pidetään yhtenä harjoittelun aiheuttamien lihasvaurioiden oireena. Tutkimuksissa viivästyneen lihasarkuuden tunne ei usein ole ensisijainen mittaamisen kohde ja tämän vuoksi tutkimusten laatu viivästyneen lihasarkuuden tunteen mittaamisessa vaihtelee. Uudenlaisen harjoitusärsyksen seurauksena viivästyneen lihasarkuuden tunne muodostuu tottumattomille liikkujille usein voimakkaampana kuin aktiivisesti liikuntaa harrastaville henkilöille. Tämän vuoksi suurimmassa osassa tutkimuksissa on käytetty vähän liikkuvia tutkittavia urheilijoiden sijaan. Tästä johtuen saatuja tuloksia ei voida yleistää suoraan urheilijoita koskeviksi. Tässä tutkielmassa on käsitelty myös urheilijoilla tehtyjä tutkimuksia, mutta niiden lukumäärä on selkeästi vähäisempi.

Tutkielmassa käsitellyt tutkimukset ovat olleet satunnaistettuja kontrolloituja kokeellisia tutkimuksia, joissa tutkittaville on saatu aikaan tilastollisesti merkitsevä viivästyneen lihasarkuuden tunne. Kaikissa tutkimuksissa on pyritty vaikuttamaan viivästyneen lihasarkuuden tunteeseen yksittäisen ravintolisän käytön avulla. Tutkittavien tutkimuksen aikaista ruoankäyttöä on seurattu vaihtelevasti eri ruoankäytön seurantamenetelmillä. Useimmissa tutkimuksissa tutkittavien ravinnonsaantia on tarkasteltu joko ruokapäiväkirjan tai frekvenssikyselyn avulla. Lisäksi tutkittavia on kehoitettu noudattamaan tutkimuksen ajan tavanomaista ruokavaliotaan ja välttämään muiden ravintolisien, tiettyjen ruoka-aineiden ja/tai tulehduskipulääkkeiden käyttöä. Tutkimuksissa ravintolisillä annettujen yhdisteiden saantimäärät ovat usein suhteellisen pieniä. Samoja sekä mahdollisesti muita viivästyneen

lihasarkuuden tunteen kokemiseen vaikuttavia yhdisteitä voidaan saada vaihtelevia määriä myös ravinnon kautta, minkä vuoksi tutkimuksen aikaisen ruoankäytön voidaan epäillä vaikuttavan viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemiseen ja sitä kautta mahdollisesti lopputulokseen. Yhdessäkin tutkimuksessa tutkittavien tutkimuksen aikaista ruoan käyttöä ei ole raportoitu, minkä vuoksi ravinnon nauttimisesta aiheutuvan mahdollisen harhan suuruutta on vaikea arvioida. Oleellista on myös se, mihin kutakin tutkittavaa ravintolisää on tutkimuksessa verrattu. Käsiteltyjen tutkimusten otannan suuruudet vaihtelevat runsaasti, mutta ovat pääasiassa melko pieniä. Pienestä otannasta johtuen ryhmien väliset erot saattoivat toisinaan olla käytännössä merkittäviä, vaikka tilastollista merkitsevyyttä ei havaittukaan ryhmien välillä.

Tutkielmassa käsiteltyjen tutkimusten perusteella näyttäisi, ettei proteiiniravintolisien nauttimisella voida merkittävästi ehkäistä harjoituksen jälkeen ilmenevää viivästyneen lihasarkuuden tunnetta, vaikka useissa tutkimuksissa proteiinin nauttimisella on voitu nopeuttaa voimantuotto-ominaisuuksien palautumista harjoituksen jälkeen. Kahdessa tarkastellussa tutkimuksessa proteiinia nauttineen koeryhmän kokema viivästyneen lihasarkuuden tunne oli kontrolliryhmää vähäisempää (Nosaka ym 2006) (White ym. 2008), mutta näistä vain toisessa ero oli tilastollisesti merkitsevä (Nosaka ym. 2006). Muista tutkimuksista poiketen Nosakan ja kumppanien (2006) tutkimuksessa tutkittavien aminohapporavintolisän nauttiminen oli säännöllistä vielä päiviä harjoittelun jälkeen. Säännöllisen aminohappojen saannin on todettu stimuloivan proteiinisynteesiä. Lisäksi tutkimuksessa säännöllinen ravintolisän nauttiminen on saattanut lisätä tutkittavien aminohappojen saantia, vaikka tarkkoja tietoja tutkittavien tutkimuksen aikaisesta aminohappojen kokonaissaannista ei ole mainittu. Tutkimuksessa käytetty ravintolisä sisälsi myös suhteellisesti suuren osuuden haaraketjuisia aminohappoja, millä myös tämän tutkielman mukaan saattaa olla viivästyneen lihasarkuuden tunnetta ehkäisevä vaikutus. Muissa tässä tutkielmassa käsitellyissä proteiiniravintolisien vaikutusta arvioivissa tutkimuksissa eroa viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemisessa ei havaittu ryhmien välillä.

Proteiiniravintolisiä käsittelevissä tutkimuksissa tutkittavien tutkimusten aikaista ruokavaliota ei ole kontrolloitu. Useimmissa proteiiniravintolisiä käsittelevissä tutkimuksissa proteiinin nauttimisen ei ole havaittu ehkäisevän viivästyntä lihasarkuutta. Näistä tutkimuksista suurin osa on toteutettu länsimaissa, joissa väestön keskimääräinen proteiinin saanti etenkin pitkällä aikavälillä on useimmiten riittävää. Proteiinin saanti voimaharjoittelijoiden keskuudessa on yleensä tarpeeseen nähden runsasta. Näissä tilanteissa ylimääräinen proteiinin nauttiminen ei tuota normaalitilanteessa etuja, kun elimistön fysiologinen tarve on tyydytetty (Ilander ym.

2014). Proteiinin saannin vaikutuksia viivästyneeseen lihasarkuuteen voisi tutkia luotettavammin asetelmalla, jossa vertailuryhmän proteiinin saantia on selkeästi rajoitettu normaaliin tilanteeseen nähden yli vuorokauden ajan.

Aminohappovalmisteista runsaasti haaraketjuisia aminohappoja (leusiini, isoleusiini ja valiini) sisältävillä ravintolisillä on tutkimuksissa havaittu harjoituksen jälkeistä viivästyntä lihasarkuutta ehkäisevä vaikutus etenkin veden nauttimiseen verrattuna. Leusiinilla, isoleusiinilla ja valiinilla on tutkimuksissa havaittu antikatabolisia ja anabolisia vaikutuksia. Erityisesti leusiinin on todettu stimuloivan voimakkaasti proteiinisynteesiä. Haaraketjuisten aminohappojen vaikutusta viivästyneeseen lihasarkuuteen on tutkittu ja tutkimuksista on havaittavissa annosvastesuhde (Shimomura ym. 2006, Shimomura ym. 2010, Dorrel ja Gee 2016). Fouren ja kumppanien (2016) tutkimuksessa haaraketjuisten aminohappojen nauttimisella ei havaittu viivästyntä lihasarkuutta ehkäisevää vaikutusta. Tämän arveltiin johtuvan käytetyn harjoitusmuodon aikaansaamista merkittävistä lihasvaurioista. Muissa käsitellyissä tutkimuksissa käytetyn harjoituksen aikaan saamat lihaskudosvauriot eivät ole käytettyjen mittareiden mukaan olleet yhtä vakavat, kuin Fouren ja kumppanien tutkimuksessa. Fouren ja kumppanien (2016) artikkelissa huomautettiin haaraketjuisten aminohappojen ehkäisevän todennäköisemmin viivästyneen lihasarkuuden tunnetta, kun harjoituksen aikaansaamat lihaskudosvauriot eivät ole äärimmäisiä.

Haaraketjuisia aminohappoja käsittelevissä tutkimuksissa käytetty asetelma on ollut usein todellisuudesta poikkeava siinä mielessä, että vertailuryhmän aminohappojen saantia on usein rajoitettu merkittävästi ennen- ja jälkeen harjoituksen. Proteiinit pilkkoutuvat ruoansulatuselimistössä aminohapoiksi ja suosituksesta riippuen proteiinia suositellaan nautittavaksi 2-4 tunnin välein proteiinisynteesin tukemiseksi. Etenkin voimaharjoittelijoiden keskuudessa proteiinin saanti on usein vähintäänkin riittävää. Näin ollen tutkimuksissa vertailuryhmän pitkästä harjoituksen aikaisesta paastosta johtuva riittämätön aminohappojen saanti mahdollisesti korostaa haaraketjuisten aminohappojen viivästyntä lihasarkuutta ehkäisevää vaikutusta.

Se, miksi proteiiniravintolisillä ei ole havaittu vastaavaa viivästyntä lihasarkuutta ehkäisevää vaikutusta kuin yksittäin haaraketjuisten aminohappojen nauttimisella, saattaa lisäksi johtua osittain suhteellisesti pienemmästä haaraketjuisten aminohappojen määrästä annosta kohden. Täytyy kuitenkin muistaa, että proteiinisynteesin edellytyksenä on kaikkien välttämättömien aminohappojen saanti (Churchward-Venne ym. 2012) ja näin ollen yksinään haaraketjuisten aminohappojen nauttiminen on proteiinisynteesin kannalta riittämätöntä. Tämän vuoksi proteiiniravintolisän tai proteiinipitoisen palautusjuoman nauttiminen pian harjoituksen jälkeen

on useimmissa tapauksissa suotavaa. Säännöllisen proteiiniravintolisän nauttimisen voimaharjoittelun yhteydessä on todettu pitkällä aikavälillä parantavan harjoituksen tuloksellisuutta tehostamalla lihasmassan kasvua ja maksimivoiman kehitystä (Morton ym. 2018), vaikka tutkielman mukaan proteiinien nauttimisen ei ole havaittu ehkäisevän merkittävästi viivästyneen lihasarkuuden tunnetta.

Useissa proteiiniravintolisiä käsittelevissä tutkimuksissa koeryhmälle tarjottu ravintolisävalmiste sisälsi myös jonkin verran hiilihydraatteja. Hiilihydraattien nauttimisen joko yksistään ja erityisesti yhdessä proteiinin kanssa on todettu vähentävän harjoituksen jälkeisten lihasvaurioiden laajuutta (Pasiakos ym. 2014). Yksistään hiilihydraattien vaikutus lihasvaurioiden korjaantumiseen on proteiinin saantiin verrattuna vähäinen. Hiilihydraattien saannin merkitys korostuu lähinnä kestävyystyyppisen harjoittelun jälkeisessä suorituskyvyn palautumisessa elimistön glykogeenivarastojen ehtymisen myötä (Beelen ym. 2010). Myös voimaharjoittelussa hiilihydraatit ovat tärkeä energianlähde, vaikka hiilihydraattien nauttimisella ei suoraan voitaisikaan vähentää viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemista (Close ym. 2005).

Rasvahapoista tyydyttymättömien omega-3 –rasvahappojen saannilla näyttäisi olevan vaikutusta viivästyneen lihasarkuuden oireiden lievittymiseen. Tutkimusten perusteella omega-3 –rasvahapoista etenkin runsaalla dokosaheksaenihapon ja eikosapentaenihapon saannilla on voitu ehkäistä viivästyneen lihasarkuuden oireita ja nopeuttaa oireiden paranemista. Proteiini- ja aminohapporavintolisistä poiketen omega-3 –rasvahappojen nauttimisen on oltava säännöllistä jo päiviä ennen viivästyntä lihasarkuutta aiheuttavaa harjoittelua. Yksittäisen omega-3 –rasvahappoannoksen nauttimisella ei ole havaittu viivästyntä lihasarkuutta ehkäisevää vaikutusta. Tutkimustulokset viittaavat omega-3 –rasvahappojen nauttimisella olevan vaikutusta etenkin viivästyneeseen lihasarkuuteen liittyvän tulehduksen lievittymiseen, mikä on todettu määrittämällä verestä IL-6-, CRP- ja TNF- α –pitoisuuksia. Näiden lisäksi myös harjoitetun raajan liikkuvuuden rajoittumista on pidetty yhtenä kohonneen tulehduksen aikaansaamana ilmiönä, johon rasvahappolisän säännöllisellä nauttimisella on havaittu positiivinen vaikutus.

Kaikissa tarkastelluissa omega-3 –ravintolisiä käsittelevissä tutkimuksissa ei havaittu vaikutusta viivästyneen lihasarkuuden tunteen kokemisessa. Ravintolisän sisältö ja annostelu on vaihdellut tutkimusten välillä, mutta vasta julkaistu kirjallisuuskatsaus nostaa esiin harjoitetun kehon osan ja annoksen merkityksen (Ochi ja Tsuchiya 2018). Yleisimmin lihasarkuuteen vaikuttaneissa tutkimuksissa EPA:n ja DHA:n välinen suhde on ollut noin 2:1 ja kirjallisuuskatsaus nostaa esiin EPA:n ja DHA:n mahdolliset synergistiset vaikutukset.

Viivästyneen lihasarkuuden tunteen voimakkuuteen onnistuneesti vaikuttaneissa tutkimuksissa omega-3 –rasvahappovalmisteet ovat olleet pääasiassa kalaöljyvalmisteita, joiden eikosapentaeni- ja dokosaheksaenihappopitoisuudet ovat vaihdelleet. Tutkimuksissa koeryhmien ravintolisistä saadut päivittäiset omega-3 –rasvahappomäärät vaihtelivat 540 mg:sta aina 3600 mg:n asti. Runsaasta kalaöljyvalmisteiden käytöstä johtuvan korkean EPA:n ja DHA:n saannin on joissain tapauksissa todettu vähentävän veren hyytymistäipumusta ja pidentävän haavojen vuotamisaikaa. Runsas saanti saattaa myös lisätä veren LDL-pitoisuutta ja vaikeuttaa insuliinia käyttämättömien diabeetikkojen verensokeritasapainon ylläpitämistä (Schwab 2018). EFSA:n (2012) julkaiseman laajan tieteellisen katsauksen mukaan suurinta päivittäistä yleisesti hyväksyttyä saantimäärää ei kuitenkaan voida määrittää, koska yllä kuvattuja oireita tavataan terveessä väestössä vain harvoin. Näin ollen eikosapentaeni- ja dokosaheksaenihapolle ei toistaiseksi saatavilla olevan tiedon perusteella ole määritetty turvallisen saantimäärän ylärajaa. Katsauksessa kuitenkin todetaan aikuisväestön voivan nauttia EPA:a ja DHA:a yhteensä 5 grammaa vuorokaudessa ilman terveyshuolia.

Runsaasta omega-3 –rasvahappoja sisältävien ravintolisien käytöstä mahdollisesti aiheutuvia epäedullisia vaikutuksia ei ole havaittu runsaalla kalansyönnillä. Kalaa suositellaankin syötävän 2-3 kertaa viikossa eri kalalajeja vaihdellen (Schwab 2018). Suomalaisessa väestössä kalansyöntiä voidaan pitää osittain turvallisempänä vaihtoehtona myös sen vuoksi, että suomalaisessa väestössä ApoE4-geeniperimän ilmeneminen on muihin länsimaihin verrattuna yleisempi (Uusitupa ja Sarkkinen 2000) (Ehnholm ym 1986). ApoE4-geeniperimän omaavilla runsas kalaöljyvalmisteiden käyttö suurentaa veren LDL-kolesterolipitoisuutta keskimääräistä voimakkaammin (Minihane ym. 2000), mikä lisää riskiä sairastua sydän- ja verisuonitauteihin (Song ym. 2004).

Harjoituksen aiheuttaman tulehduksen vaimentamisen on joissain tapauksissa esitetty vähentävän lihaskasvua (Schoenfeld 2012). Näin ollen liikunnan aiheuttaman oksidatiivisen stressin ja tulehduksen ehkäiseminen hyvin antioksidanttipitoisten ruoka-aineiden tai etenkin antioksidanttiravintolisien avulla ei välttämättä olisi lihaskasvun kannalta edullista (Bell 2014) (Peternelj ja Coombes 2012). Omega-3 –rasvahappojen on todettu ehkäisevän harjoituksen aiheuttamaa tulehdusta (Kim ja Lee 2014). Eläinkokeissa omega-3 –rasvahappojen saannin on kuitenkin todettu ehkäisevän lihasmassan vähenemistä (Gingras ym. 2007) (You ym. 2010). Saman suuntainen tulos on saatu myös ihmistutkimuksessa, jossa vanhusten kuusi kuukautta jatkunut omega-3–ravintolisän käyttö näkyi koeryhmän lihasmassan ja lihasvoiman lisääntymisenä kontrolliryhmään verrattuna (Smith ym. 2015). Nuorilla liikunnallisilla miehillä tehdyssä tutkimuksessa taas omega-3 –rasvahappojen nauttimisella ei ole havaittu vaikutusta

lihasproteiinisynteesiin (McGlory ym. 2016). Ihmisillä tehty tutkimus on toistaiseksi vähäistä, mutta nykyisen näytön perusteella omega-3 –rasvahappojen vaikutusta lihaskasvuun voidaan pitää tilanteesta riippuen joko neutraalina tai edullisena.

Siitä, onko viivästyneen lihasarkuuden ehkäisemisestä hyötyä vai haittaa, näyttäisi olevan hyvin tilanneriippuvaista. Viivästyneen lihasarkuuden tunteen ehkäisemisen on epäilty heikentävän kehittymistä, mutta toisaalta nopeuttavan palautumista ennen seuraavaa fyysistä suoritusta. Nopeampi harjoituksesta palautuminen saattaa edesauttaa tiheämmän harjoitusaikataulun ylläpitämistä. Lisäksi on suotavaa pohtia kulloinkin tehtävän harjoituksen tarkoitusta. Etenkin hyvin pitkäkestoisten, uudenlaista ärsykettä ja korkean intensiteetin eksentrisiä liikeitä sisältävien harjoitusten edeltävässä valmistautumisessa voi olla suotavaa pyrkiä ehkäisemään mahdollisesti harjoituksen jälkeen ilmenevää lihasarkuuden tunnetta. Lisäksi kilpailuihin valmistavalla harjoituskaudella ja turnausten sekä kilpailujen alla fyysisen suorituksen aiheuttama lihasarkuus voi haitata suoriutumista tulevissa koitoksissa (Owens ym. 2018).

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkielman mukaan voimaharjoittelun aiheuttamaa viivästyneen lihasarkuuden tunnetta voidaan mahdollisesti vähentää nauttimalla runsaasti haaraketjuisia aminohappoja sisältäviä proteiinin lähteitä ja säännöllisellä omega-3 –rasvahappojen saannilla. Oleellista on tarpeeseen nähden riittävä proteiinin saanti, joka urheilijoiden ja runsaasti liikkuvien kohdalla on hieman muuta väestöä suurempi. Ennen pitkäkestoisia, uudenlaisia ja eksentristä lihasyötä sisältäviä voimaharjoitteita voi viivästyneen lihasarkuuden ehkäisemiseksi olla hyötyä haaraketjuisia aminohappoja sisältävien ravintolisien nauttimisesta noin 30-15 minuuttia ennen harjoitetta.

Omega-3 –rasvahappojen saanti on pitkällä aikavälillä havaittu yhdeksi mahdolliseksi keinoksi ehkäistä elimistön tulehduksia. Viivästyneen lihasarkuuden tunteen kannalta ei ole väliä, nautitaanko omega-3 –rasvahapot ravintolisänä vai niitä sisältävien ruokien kautta. Omega-3 –rasvahappojen saanti nauttimalla säännöllisesti rasvaista kalaa saattaa olla erityisesti sydän- ja verisuoniterveyden kannalta edullisempaa. Ruoka-aineena kala sisältää myös runsaasti proteiinia, joten kalan sisällyttäminen ruokavalioon myös proteiinin lähteeksi on kannattavaa.

Oleellista kaikkien tutkielmassa käsiteltyjen ravintoaineiden kohdalla on se, että minkään avulla ei voida täysin ehkäistä viivästyneen lihasarkuuden tunnetta, vaikka viivästyneen lihasarkuuden tunteen vähentämiseksi voidaan nauttia enemmän tiettyjä ravintoaineita. Oleellisempaa onkin keskittyä ruokavaliossaan tarpeeseen nähden tasapainoiseen ravinnon- ja energiansaantiin sekä ymmärtämään kulloinkin tehtävän harjoitteen tavoitteen ja oikeanlaisen valmistautumisen siihen.

LÄHTEET

Armstrong RB. Initial events in exercise-induced muscular injury. *Med Sci Sports Exerc.* 1990; 22: 429-435.

Armstrong RB. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc.* 1984; 16: 529-538.

Aro A, Mutanen M, Uusitupa M. Ravitsemustiede. Helsinki: Duodecim 2015.

Beelen M, Burke LM, Gibala MJ, van Loon L, J. C. Nutritional strategies to promote postexercise recovery. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2010; 20: 515-532.

Bell PG, McHugh MP, Stevenson E, Howatson G. The role of cherries in exercise and health. *Scand J Med Sci Sports.* 2014; 24: 477-490.

Buckley JD, Thomson RL, Coates AM, Howe PRC, De Nichilo MO, Rowney MK. Supplementation with a whey protein hydrolysate enhances recovery of muscle force-generating capacity following eccentric exercise. *J Sci Med Sport.* 2010; 13: 178-181.

Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med.* 2003; 33: 145-164.

Churchward-Venne TA, Burd NA, Phillips SM. Nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise: strategies to enhance anabolism. *Nutr Metab Lond.* 2012; 9: 40.

Cockburn E, Hayes PR, French DN, Stevenson E, St Clair Gibson A. Acute milk-based protein-CHO supplementation attenuates exercise-induced muscle damage. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008; 33: 775-783.

Connolly DAJ, Sayers SP, McHugh MP. Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res.* 2003; 17: 197-208.

Corder KE, Newsham KR, McDaniel JL, Ezekiel UR, Weiss EP. Effects of Short-Term Docosahexaenoic Acid Supplementation on Markers of Inflammation after Eccentric Strength Exercise in Women. *J Sports Sci Med.* 2016; 15: 176-183.

Crenshaw AG, Karlsson S, Styf J, Bäcklund T, Fridén J. Knee extension torque and intramuscular pressure of the vastus lateralis muscle during eccentric and concentric activities. *Europ J Appl Physiol.* 1995; 70: 13-19.

Dayton WR, Schollmeyer JV, Lepley RA, Cortés LR. A calcium-activated protease possibly involved in myofibrillar protein turnover. Isolation of a low-calcium-requiring form of the protease. *Biochim Biophys Acta.* 1981; 659: 48-61.

Dorrell HF, Gee TI. The Acute Effects Different Quantities of Branched-Chain Amino Acids Have On Recovery of Muscle Function. *Sports Nutrition and Therapy.* 2016; 1: 1-5.

Etheridge T, Philp A, Watt PW. A single protein meal increases recovery of muscle function following an acute eccentric exercise bout. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008; 33: 483-488.

Fouré A, Nosaka K, Gastaldi M, Mattei J, Boudinet H, Guye M, Vilmen C, Le Fur Y, Bendahan D, Gondin J. Effects of branched-chain amino acids supplementation on both plasma amino acids concentration and muscle energetics changes resulting from muscle damage: A randomized placebo controlled trial. *Clin Nutr.* 2016; 35: 83-94.

Fridén J, Lieber RL. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med Sci Sports Exerc.* 1992; 24: 521-530.

Gingras A, White PJ, Chouinard PY, Julien P, Davis TA, Dombrowski L, Couture Y, Dubreuil P, Myre A, Bergeron K, Marette A, Thivierge MC. Long-chain omega-3 fatty acids regulate bovine whole-body protein metabolism by promoting muscle insulin signalling to the Akt-mTOR-S6K1 pathway and insulin sensitivity. *J Physiol Lond.* 2007; 579: 269-284.

Gray P, Chappell A, Jenkinson AM, Thies F, Gray SR. Fish oil supplementation reduces markers of oxidative stress but not muscle soreness after eccentric exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014; 24: 206-214.

Hackney KJ, Engels H, Gretebeck RJ. Resting energy expenditure and delayed-onset muscle soreness after full-body resistance training with an eccentric concentration. *J Strength Cond Res.* 2008; 22: 1602-1609.

Haug E, Sand O, Sjaastad ØV, Toverud KC. *Ihmisen fysiologia.* Helsinki: WSOY 2007.

Hidaka BH, Li S, Harvey KE, Carlson SE, Sullivan DK, Kimler BF, Zalles CM, Fabian CJ. Omega-3 and omega-6 Fatty acids in blood and breast tissue of high-risk women and association with atypical cytomorphology. *Cancer Prev Res (Phila)*. 2015; 8: 359-364.

Hoffman JR, Ratamess NA, Tranchina CP, Rashti SL, Kang J, Faigenbaum AD. Effect of a proprietary protein supplement on recovery indices following resistance exercise in strength/power athletes. 2010; 38:771-778.

Howatson G, Hoad M, Goodall S, Tallent J, Bell PG, French DN. Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: a randomized, double-blind, placebo controlled study. *J Int Soc Sports Nutr*. 2012; 9: 20.

Ilander O, Laaksonen M, Lindblad P, Mursu J. Liikuntaravitsemus – tehoa, tuloksia ja terveyttä ruuasta. Lahti: VK-Kustannus Oy 2014.

Jackman SR, Witard OC, Jeukendrup AE, Tipton KD. Branched-chain amino acid ingestion can ameliorate soreness from eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2010; 42: 962-970.

Jouris KB, McDaniel JL, Weiss EP. The Effect of Omega-3 Fatty Acid Supplementation on the Inflammatory Response to eccentric strength exercise. *J Sports Sci Med*. 2011; 10: 432-438.

Lembke P, Capodice J, Hebert K, Swenson T. Influence of omega-3 (n3) index on performance and wellbeing in young adults after heavy eccentric exercise. *J Sports Sci Med*. 2014; 13: 151-156.

McGlory C, Wardle SL, Macnaughton LS, Witard OC, Scott F, Dick J, Bell JG, Phillips SM, Galloway SDR, Hamilton DL, Tipton KD. Fish oil supplementation suppresses resistance exercise and feeding-induced increases in anabolic signaling without affecting myofibrillar protein synthesis in young men. *Physiol Rep*. 2016; 4:

McHugh MP ym. Exercise-Induced Muscle Damage and Potential Mechanisms for the Repeated Bout Effect. *Sports Med*. 1999; 27:157-170.

Mickleborough TD. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in physical performance optimization. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2013; 23: 83-96.

Morton RW, Murphy KT, McKellar SR, Schoenfeld BJ, Henselmans M, Helms E, Aragon AA, Devries MC, Banfield L, Krieger JW, Phillips SM. 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. *Br J Sports Med.* 2018; 52: 376-384.

Newham DJ, Jones DA, Edwards RH. Large delayed plasma creatine kinase changes after stepping exercise. *Muscle Nerve.* 1983; 6: 380-385.

Nosaka K, Sacco P, Mawatari K. Effects of amino acid supplementation on muscle soreness and damage. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006; 16: 620-635.

Ochi E, Tsuchiya Y. Eicosapentaenoic Acid (EPA) and Docosahexaenoic Acid (DHA) in Muscle Damage and Function. *Nutrients.* 2018; 10.

Owens DJ, Twist C, Cogley JN, Howatson G, Close GL. Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *Eur J Sport Sci.* 2018; 1-15.

Pasiakos SM, Lieberman HR, McLellan TM. Effects of protein supplements on muscle damage, soreness and recovery of muscle function and physical performance: a systematic review. *Sports Med.* 2014; 44: 655-670.

Peternej T, Coombes JS. Antioxidant supplementation during exercise training: beneficial or detrimental? *Sports Med.* 2011; 41: 1043-1069.

Pelkonen O, Ruskoaho H, Hakkola J, Huupponen R, MacDonald E, Moilanen E, Pasanen M, Scheinin M, Vähäkangas K. *Lääketieteellinen farmakologia ja toksikologia.* Helsinki: Duodecim 2014.

Phillips T, Childs AC, Dreon DM, Phinney S, Leeuwenburgh C. A dietary supplement attenuates IL-6 and CRP after eccentric exercise in untrained males. *Med Sci Sports Exerc.* 2003; 35: 2032-2037.

Rennie MJ, Tipton KD. Protein and amino acid metabolism during and after exercise and the effects of nutrition. *Annu Rev Nutr.* 2000; 20: 457-483.

Schoenfeld BJ. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res.* 2012; 26: 1441-1453.

Shimomura Y, Inaguma A, Watanabe S, Yamamoto Y, Muramatsu Y, Bajotto G, Sato J, Shimomura N, Kobayashi H, Mawatari K. Branched-chain amino acid supplementation before

squat exercise and delayed-onset muscle soreness. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2010; 20: 236-244.

Shimomura Y, Yamamoto Y, Bajotto G, Sato J, Murakami T, Shimomura N, Kobayashi H, Mawatari K. Nutraceutical effects of branched-chain amino acids on skeletal muscle. *J Nutr.* 2006; 136: 532.

Schwab U. Omega-rasvahapot. https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00900. Lääkärikirja Duodecim. Kustannus Oy Duodecim 23.01.2018.

Smith GI, Atherton P, Reeds DN, Mohammed BS, Rankin D, Rennie MJ, Mittendorfer B. Omega-3 polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein anabolic response to hyperinsulinaemia-hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women. *Clin Sci.* 2011; 121: 267-278.

Smith LL. Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? *Med Sci Sports Exerc.* 1991; 23: 542-551.

Tartibian B, Maleki BH, Abbasi A. The effects of ingestion of omega-3 fatty acids on perceived pain and external symptoms of delayed onset muscle soreness in untrained men. *Clin J Sport Med.* 2009; 19: 115-119.

Tartibian B, Maleki BH, Abbasi A. Omega-3 fatty acids supplementation attenuates inflammatory markers after eccentric exercise in untrained men. *Clin J Sport Med.* 2011; 21: 131-137.

Tiidus PM, Iannuzzo CD. Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Med Sci Sports Exerc.* 1983; 15: 461-465.

Tinsley GM, Gann JJ, Huber SR, Andre TL, La Bounty PM, Bowden RG, Gordon PM, Grandjean PW. Effects of Fish Oil Supplementation on Postresistance Exercise Muscle Soreness. *J Diet Suppl.* 2016; 1-12.

Tofas T, Jamurtas AZ, Fatouros I, Nikolaidis MG, Koutedakis Y, Sinouris EA, Papageorgakopoulou N, Theocharis DA. Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. *J Strength Cond Res.* 2008; 22: 490-496.

Tsuchiya Y, Yanagimoto K, Nakazato K, Hayamizu K, Ochi E. Eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids-rich fish oil supplementation attenuates strength loss and limited joint range of motion after eccentric contractions: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group trial. *Eur J Appl Physiol.* 2016; 116: 1179-1188.

Westing SH, Cresswell AG, Thorstensson A. Muscle activation during maximal voluntary eccentric and concentric knee extension. *Europ J Appl Physiol.* 1991; 62: 104-108.

White JP, Wilson JM, Austin KG, Greer BK, St John N, Panton LB. Effect of carbohydrate-protein supplement timing on acute exercise-induced muscle damage. *J Int Soc Sports Nutr.* 2008; 5: 5.

You J, Park M, Song W, Lee Y. Dietary fish oil alleviates soleus atrophy during immobilization in association with Akt signaling to p70s6k and E3 ubiquitin ligases in rats. *Appl Physiol Nutr. Metab.* 2010; 35: 310-318.