

Miten lihas kasvaa?



Kuva: GORILLA/MATTHIAS DROBECK

Lihakset aistivat kuormitusta ja muokkautuvat rasitukseen. Perimä ja se miten geenimme ilmentyvät vaikuttavat merkittävästi lihaskokoon. Lihassolumme pystyvät kuitenkin mukautumaan kulloisiinkin olosuhteisiin, kuten ravitsemustilaan ja fyysiseen aktiivisuuden tasoon.

Lihasten kasvattaminen on huomattavasti vaikeampaa kuin niiden surkastaminen osittain siksi, että lihassolujen kasvu ja ylläpito vaativat runsaasti energiaa. Lihasten kasvattajien harmiksi ihmiskehossa onkin useita mekanismeja estämässä suurta ja nopeaa lihaskasvua. Tällaisia lihaskasvujarruja ovat tunnetuimman lihasten kasvun estäjän myostatiinin ohella lukuisat muut proteiinit (Verbrugge ym. 2018).

Lihakset aistivat kuormitusta

Lihasten kyvyllä kasvaa on olennaista lihassolujen kyky havainnoida ja säädellä omaa tilaansa erilaisten sensorien ja signaalireittien avulla. Havainnoitavia tapahtumia ovat muun muassa voimaharjoitukseen liittyvä lihasten aktivointi ja sitä seuraavat fysiologiset muutokset, kuten kalsium-ionien pitoisuuden kasvu tietyissä kohdissa lihassoluja sekä mekaaninen kuormitus – eli lihasten tuottamat ja niihin kohdistuvat voimat.

Voimaharjoittelu aiheuttaa myös aineenvaihdunnalliseen kuormitukseen sekä lihasten mikrovaurioihin liittyviä muutoksia, joita lihakset pystyvät aistimaan. Näiden fysiologisten vasteiden suuruus riippuu muun muassa kuormitettujen lihasten yksilöllisistä ominaisuuksista, kuormitustavasta, kuormituksen intensiteetistä ja kestosta. Lihassolut kykenevät aistiensa avulla luomaan kokonaiskuvan siitä, millä osa-alueilla lihassolu on kyennyt vastaamaan kuormituksen aiheuttamaan haasteeseen ja missä tarvittaisiin vielä erityisesti rakenteellista ja toiminnallista mukautumista, jotta haasteeseen pystyttäisiin vastaamaan jatkossa paremmin (Wackerhage ym. 2018).

Voimaharjoittelun aiheuttama lihaskasvu solutasolla

Lihaskasvussa lihassolujen proteiineja rakennetaan pitkällä aikavälillä säännöllisesti nopeammin ja enemmän kuin niitä hajotetaan. Lihaspoteiinisynteesi etenee niin, että solujen tumissa rakennetaan DNA:n geenien ohjeen avulla viesti eli lähetti-RNA, minkä jälkeen ribosomeissa tästä viestistä rakennetaan proteiini liittämällä yhteen aminohappoja. Tämä on lihasten anabolialla, ja sen säätely on lihaskasvussa hyvin tärkeää.

Krooninen ja patologinen proteiinien hajotuksen kohoaminen surkasta lihaksia esimerkiksi monissa sairauksissa ja vammojen aiheuttamassa inaktivaatiossa. Normaaleja päivittäisiä muutoksia proteiinien hajotuksessa takaisin aminohapoiksi ei tule kuitenkaan pelätä. Tämä ilmiö, jota voidaan hetkellisesti ainakin kutsua kataboliaksi, on tärkeää kehoa uusittaessa ja tämän hetken tietämyksen mukaan saattaa hieman lisätä treenin jälkeistä lihasproteiinisynteesin nousua (Wackerhage ym. 2018, Tipton ym. 2018). Lihaspoteiinien hajotusta, sen mekanismeja ja merkitystä pitää kuitenkin tutkia lisää, jotta ymmärrämme ilmiön paremmin.

Proteiinisynteesiä tapahtuu koko ajan ja ympäri

kehoa, mutta lihasten proteiinisynteesi kiihtyy treenin ja proteiinipitoisten ruokailujen jälkeen enemmän kuin proteiinien hajotus (Tipton ym. 2018). Pelkkä proteiinisynteesin lisääntyminen treenin ja ravinnon jälkeen ei kuitenkaan riitä loputtomiin kasvattamaan lihasta ilman proteiinisynteesin koneistojen eli tumien ja ribosomien määrän lisääntymistä. Esimerkiksi lihassolujen tumien lukumäärä nousee siten, että lihassolujen ulkopuolella olevat satelliittisolut, niin sanotut lihasten kantasolut, jakaantuvat ja luovuttavat omat tumansa lihassoluille. Kuitenkin ilman tumien lisääntymistäkin lihassolut voivat kasvaa ilmeisesti noin 10–20 prosenttia, joten alkuvaiheen kasvussa tumia ei tarvita vielä lisää (Adams ja Bamman 2012).

Hypertrofia

Lihaskasvu on lihassolujen eli lihassyiden kasvua eli hypertrofiaa. Tämä on seurausta pitkälti lihassolujen putkimaisten supistuskoneistojen, myofibrillien, kasvusta ja lisääntymisestä. Myofibrillit kasvavat lähinnä niin, että proteiinisynteesissä valmistuneita uusia rakenneproteiineja lisätään erityisesti niiden ulkokehälle. Täten myofibrillit paksuuntuvat vähitellen. Kun lihassolut kasvavat, niissä olevan veden ja tukikudoksen sekä muiden rakenteiden määrä näyttää yleensä kasvavan suurin piirtein samassa suhteessa lihasproteiinien kasvun kanssa (Adams ja Bamman 2012, MacDougall ym. 1984, Goldspink 1983).

Joissain tilanteissa lihaskasvu voi olla muutakin kuin lihassolujen paksuuden kasvua. Koko lihaksen tasolla pennatoituneiden eli voimantuottosuuntaan nähden vinosti olevien lihassyiden pituuden kasvu ja niiden kulman muutos suhteessa koko lihakseen voi vaikuttaa lihasten kokoon (Wackerhage ym. 2018). Sen sijaan ihmisen lihassolujen lukumäärä näyttää olevan pitkälti geneettisesti säädelty. Tällä hyperplasialla, jos sitä tapahtuu aikuisilla ihmisillä, ei ole todennäköisesti suurtakaan merkitystä selittämään lihasten koon muutosta voimaharjoittelun seurauksena (Adams ja Bamman 2012).

Mekaanisen ja aineenvaihdunnallisen kuormituksen aistiminen lihaksessa

Raskaan voimaharjoitussarjan toistojen aikana lihaksissa on mekaanista kuormitusta eli lihasten aktivoituessaan aikaansaamia (aktiivisia) ja lihaksiin kohdistuvia (passiivisia) voimia. Lihaksissa on mekaanisia kuormia tai voimia aistivia proteiineja. Kun ne kohtaavat voimia, seuraa erilaisten signaalireittien aktivoituminen. Uudessa katsausartikkelissa, jossa toinen kirjoittajista oli mukana, pohdittiin näitä voimia aistivia ja niihin reagoivia proteiineja ja proteiinirakenteita (Wackerhage ym. 2018). Yksi voimaa aistivista proteiineista lihaksissa on filamiini C, joka sijaitsee lihaksien supistuskoneistojen sarcomeereissa Z-levyjien lähistöllä eli hyvällä paikalla aistimaan lihasten (aktomyosiini-interaktion) tuottamia voimia. Muitakin voimia aistivia proteiineja

on, mutta niiden merkitys lihaskasvun aistimina ymmärretään vielä huonosti. Tällaisia ovat muun muassa jättiproteiini titiini ainakin pitkällä lihaspituuksilla ja kostameeri-rakenteen proteiinit (esimerkiksi taliinit ja integriinit), jotka välittävät voimaa sarkomeerien sijaan ekstrasellulaarisessa matriksissa ja solukalvoilla. Voimien aistimisessa oletettavasti useammalla kuin yhdellä proteiinilla on merkitystä, koska lihakset tuottavat ja niihin kohdistuu monenlaisia voimia eri suunnista (Wackerhage ym. 2018). Aiheen tutkiminen on kuitenkin vaikeaa. Näin ollen vuonna 2018 ei vielä tiedetä, mitkä solutasen systeemit alun alkaen käynnistävät voimaharjoittelun aiheuttaman lihaskasvun treenaamisen alkuvaiheessa ja pidempään harjoitelleilla lähestyttäessä yksilöllistä maksimaalista potentiaalia.

Myös aineenvaihdunnallisen kuormituksen on ajateltu olevan ärsyke lihaskasvulle (Schoenfeld 2013). Aineenvaihdunnallisia muutoksia lihaksissa ovat muun muassa energiankulutukseen ja -tuottoon liittyvä paikallinen hapenpuute ja verenkierron muutokset, energiatilanne (esim. ATP:AMP-suhde, kreatiinifosfaatin ja glykokeenin lasku), aminohappojen vapautuminen proteiinien hajotuksesta ja lisääntynyt kulkeutuminen muualta lihassolujen sisään, hapetus-pelkistys -tasapaino sekä vapaiden radikaalien ja monien muiden lihaksen aineenvaihduntatuotteiden pitoisuuksien muutokset, joihin liittyy myös solun turvotus (Wackerhage ym. 2018, Schoenfeld 2013).

Riittävän suuri ja riittävän pitkäkestoinen mekaaninen kuormitus on silti nykytiedon mukaan huomattavasti merkittävämpi lihaskasvun käynnistäjä (Wackerhage ym. 2018). Aineenvaihdunnallisella kuormituksella on tähänkin olennainen epäsuora vaikutus. Kun sarjat tehdään submaksimaalisilla kuormilla loppuun tai lähes loppuun asti, aineenvaihduntatuotteiden kertyminen ja muut väsymystä lisäävät tekijät vaikuttavat niin, että nopeatkin lihassolut joutuvat tekemään töitä ja siten mekaanisesti kuormittumaan sarjan lopussa jotta sarja jatkuu. Tästä seuraa mekaanisten voimien aistiminen ja lihaskasvusignaloinnin käynnistyminen (Wackerhage ym. 2018).

Lihasten mikroaurion ja viivästyneen lihasarkuuden merkitys

Lihaskasvu voi lisääntyä myös lihaksen mikroaurioiden korjaukseen liittyvistä tulehdusprosesseista sekä hormoni- ja kasvutekijä-pitoisuuksien muutoksista. Voimaharjoittelussa mikroauriot lihassäikeissä syntyvät lihaskudoksen mekaanisen, yleisesti otta-

en venyttävän kuormituksen ja aineenvaihdunnallisten muutosten seurauksena kuormituksen aikana ja sen jälkeen. Viivästynyt lihasarkuus on englanniksi ”Delayed Onset Muscle Soreness” eli DOMS. Tätä esiintyy yleensä noin 24–48 tuntia kovan harjoituksen jälkeen tai hieman aiemmin, eikä sitä kuulu sekoittaa treenin aikaiseen väsymyskipuun tai lihasvammaan.

Lihaskuus saa alkunsa kovan liikunnan yhteydessä ilmenevistä tapahtumista. Näitä ovat muun muassa lihaksen mikroaurio tai muut mikroskooppiset muutokset lihaksessa tai sitä ympäröivissä kalvorakenteissa, turvotus, aineenvaihduntatuotteiden kertyminen ja mahdollinen tulehdusreaktio. Lihaskuutta voimaharjoittelun jälkeen lisää muun muassa harjoituksen kovuus ja pitkäkestoisuus, eksentrisen vaiheen ylikorostaminen, tottumattomuus tehtävään liikkeeseen ja pitkällä lihaspituuksilla treenaaminen (Wackerhage ym. 2018, Schoenfeld 2012). Esimerkiksi takareisiin voi tulla huomattava lihasarkuus suurin jaloin maastavedosta, jossa takareiden lihakset tekevät eksentristä lihastyötä pitkällä lihaspituuksilla. Lihaskasvulle on kuitenkin niin monta erilaista mekanismia, että pelkkä lihasarkuus ei ole yksinään kovinkaan hyvä mittari lihaskoon kasvua stimuloivalle harjoitukselle.

On kuitenkin mahdollista, että mikroskooppisia lihasten mikroaurioita korostava harjoittelu tehostaa lihasten satelliittisolujen määrää ja sitä kautta regeneraatiokapasiteettia erityisen tehokkaasti (Wackerhage ym. 2018). Täten saattaa olla, että joskus lihasten mikroaurioita lisäävää harjoitteluakin vaaditaan lihaskasvua maksimoitaessa, mutta lisää tutkimuksia tarvitaan.

Lihaskasvun aistiminen välittyä molekyylitaso signaalintireiteille

Kuormituksen ja toisaalta myös ravinteiden nauttimisen jälkeen lihakset siis aistivat muutoksia, jotka käynnistävät erilaisten signaalireittien aktivoitumisen. Solutasolla lihasproteiinimäärän säätelyä ohjaavat erilaiset toistensa kanssa vuorovaikutuksessa olevien molekyylien muodostamat signaalintireitit. Näistä tärkein on tämän hetken tietämyksen mukaan mTOR (mechanistic target of rapamycin) -signaalintireitti, joka koostuu usean proteiinin komplekseista, joista merkittävin lihaskasvussa on mTOR-kompleksi yksi (mTORC1). Käytännössä tämä proteiini-kompleksi aktivoituu esimerkiksi voimaharjoittelun tai proteiiniravinnon seurauksena. Aktivoituessaan mTORC1 kiihdyttää

Mekaanista kuormitusta aistivat lihassolujen sisällä ja jossain määrin myös ulkopuolella erilaiset tekijät, jotka välittävät kasvuviestin lihassolujen kasvukoneistoille.

Lihaskasvussa lihasproteiinien rakentuminen eli synteesi kiihtyy treenin jälkeen noin 24–48 tunnin ajaksi. Tämän arvellaan johtavan lihassolujen hypertrofiaan eli koon kasvuun.

muun muassa proteiinisynteesiä aktivoimalla monia muita proteiineja (Goodman ym. 2011). Näiden signaalireittien proteiinien aktiivisuutta säädellään niiden määrään ja erityisesti kolmiulotteiseen rakenteeseen vaikuttamalla. Lihaskasvun säätely ei ole missään nimessä yksinkertaista yhden molekyylin biologiaa.

Muita mainitsemisen arvoisia lihaskasvun säätelijöitä voimaharjoittelussa mTOR:in lisäksi ovat muun muassa testosteronin reseptori androgeenireseptori ja siihen liittyvä signaalointi, JNK/SMAD-signaalointireitti, kalsiumriippuvainen reitti ja mahdollisesti muun muassa Hippo- sekä PGC-1-GRP56 ja IGF1/MGF/insuliini-signaaloinnit. Nämä vain muutamia mielenkiintoisia mainitaksemme.

Lihaskasvu on yksilöllistä

Yksi mielenkiintoinen huomioon otettava seikka on vasteiden yksilöllisyys kaikissa elimistömme muutoksissa harjoitteluun, koskien myös lihaskasvua voimaharjoittelussa. Osalla ihmisistä lihasten kasvu jää vaatimattomaksi, vaikka heille annettaisiin keskiarvoisesti hyvinkin toimiva ja ohjattu voimaharjoitteluohjelma. Osalla taas harjoitteluvasteet lihaskasvussa voivat olla hyvinkin suuria (Ahtiainen ym. 2016). Tämä saattaa johtua treenin laadusta sekä muista ympäristötekijöistä kuin liikunta (ravinto, uni, muut kuormitustekijät jne.) ja tietysti myös

perintötekijöistä. Oma haasteensa on myös kehonkoostumuksen muutosten tarkkaan mittaamiseen liittyvät menetelmävirheet ja päivittäinen vaihtelu.

Tällä hetkellä mekanismeja, jotka selittävät voimaharjoitteluvasteiden yksilöllisyyttä lihaskasvussa ei tunneta. Ei ole myöskään olemassa menetelmiä, joiden avulla yksilön harjoitettavuutta voimaharjoittelun aiheuttamaan lihaskasvuun voitaisiin ennakoita. Eikä myöskään tutkimusnäyttöä siitä, miten harjoitteluohjelmaa voitaisiin mahdollisesti muokata niissä tapauksissa joissa lihasten kasvu jää odotettua tai toivottua vähäisemmäksi. On selvää, että lisää tutkimuksia tarvitaan ja asetelmilla, jossa lihaskasvua ja siihen vaikuttavia tekijöitä optimoidaan tarvittaessa myös yksilöllisesti. Tässä olisi ison hyvin monitieteisen tutkimushankkeen mahdollisuus!

JUHA HULMI, LitT

Akatemiatutkija, liikuntafysiologian dosentti
NeuroMuscularResearch Center (NMRC)
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Sähköposti: juha.j.t.hulmi@jyu.fi

JUHA AHTIAINEN, LitT

Yliopistotutkija, liikuntafysiologian dosentti
NeuroMuscularResearch Center (NMRC)
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Sähköposti: juha.ahtiainen@jyu.fi

LÄHTEET

Adams GR, Bamman MM. 2012. Characterization and regulation of mechanical loading-induced compensatory muscle hypertrophy. *Comprehensive Physiology* 4:2829–70.

Ahtiainen JP, Walker S, Peltonen H, Holviala J, Sillanpää E, Karavirta L, Sallinen J, Mikkola J, Valkeinen H, Mero A, Hulmi JJ, Häkkinen K. 2016. Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. *Age*. 38(1):10.

Goldspink G. 1983. Alterations in Myofibril Size and Structure During Growth, Exercise, and Changes in Environmental Temperature. *Comprehensive Physiology*. 1983; Supplement 27: Handbook of Physiology, Skeletal Muscle.

Goodman CA, Mayhew DL, Homberger TA. 2011. Recent progress toward understanding the molecular mechanisms that regulate skeletal muscle mass. *Cellular signaling*. 23(12): 1896–1906.

MacDougall JD, Sale DG, Alway SE, Sutton JR. 1984. Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *Journal of applied physiology*. 1984; 57(5):1399–1403.

Schoenfeld B. J. 2012. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *Journal of strength and conditioning research*. 26(5): 1441–1453.

Schoenfeld B.J. 2013. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Medicine* 43(3):179–194.

Tipton KD, Hamilton DL, Gallagher IJ. 2018. Assessing the Role of Muscle Protein Breakdown in Response to Nutrition and Exercise in Humans. *Sports Medicine*. 48 (Suppl 1): 53–64.

Wackerhage H, Schoenfeld BJ, Hamilton DL, Lehti M, Hulmi JJ. 2018. Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*. Painossa.

Verbrugge SAJ, Schönfelder M, Becker L, YaghoobNezhad F, Hrabě de Angelis M, Wackerhage H. 2018. Genes Whose Gain or Loss-Of-Function Increases Skeletal Muscle Mass in Mice: A Systematic Literature Review. *Frontiers in Physiology* 9 (553). eCollection 2018.