



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

Mitä fysiologisia vaikutuksia painonpudotuksella on urheilijalle ja liikkujalle?

Juha Hulmi

Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto



Disclaimer

- En ole lihavuustutkija enkä lääkäri, vaan:

Lihastohtori
– MOLEKYYLIIPIPERTÄJÄ

Liikunta & Tiede 2/2021





Liikunnalla/fyysisen aktiivisuuden lisäämisellä energia- rajoitusta pienempi vaikutus rasvan-/massan lähtöön

- 117 tutkimuksen meta-analyysi ([Verheggen ym. 2016](#))
 - Ruokavalio aiheutti suuremman painonlaskun
 - Liikunnalla hieman suurempi viskeraalirasvan väheneminen kuin energiarajoituksella
- Aktiivisilla kaksosilla viskeraalirasvan määrä vähäisempää kuin inaktiivisilla ([Leskinen ym. 2009](#))
- Voimaharjoittelu voi vähentää viskeraalirasvan määrä vaikkei tavoitteena ole rasvanlähtö ([Sarin ym. 2019](#))

► [Int J Obes \(Lond\)](#). 2009 Nov;33(11):1211-8. doi: 10.1038/ijo.2009.170. Epub 2009 Sep 1.

Leisure-time physical activity and high-risk fat: a longitudinal population-based twin study

T Leskinen¹, S Sipilä, M Alen, S Cheng, K H Pietiläinen, J-P Usenius, H Suominen, V Kovanen, H Kainulainen, J Kaprio, U M Kujala

Resistance Training Induces Antiatherogenic Effects on Metabolomic Pathways

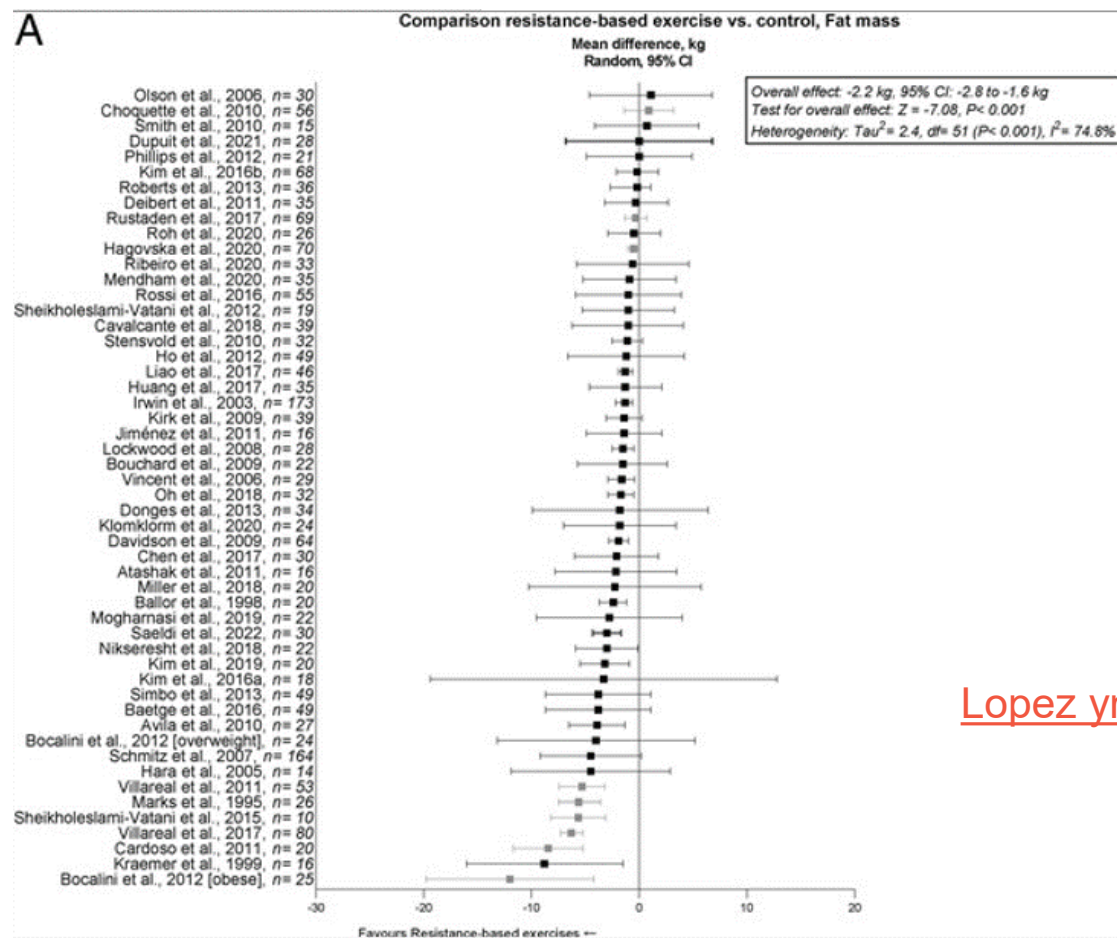
SARIN, HEIKKI V.^{1,2}; AHTIAINEN, JUHA P.³; HULMI, JUHA J.^{3,4}; IHALAINEN, JOHANNA K.^{3,5}; WALKER, SIMON³; KÜÜSMAA-SCHILDT, MARIA³; PEROLA, MARKUS^{1,2}; PELTONEN, HEIKKI³

Author Information ☺

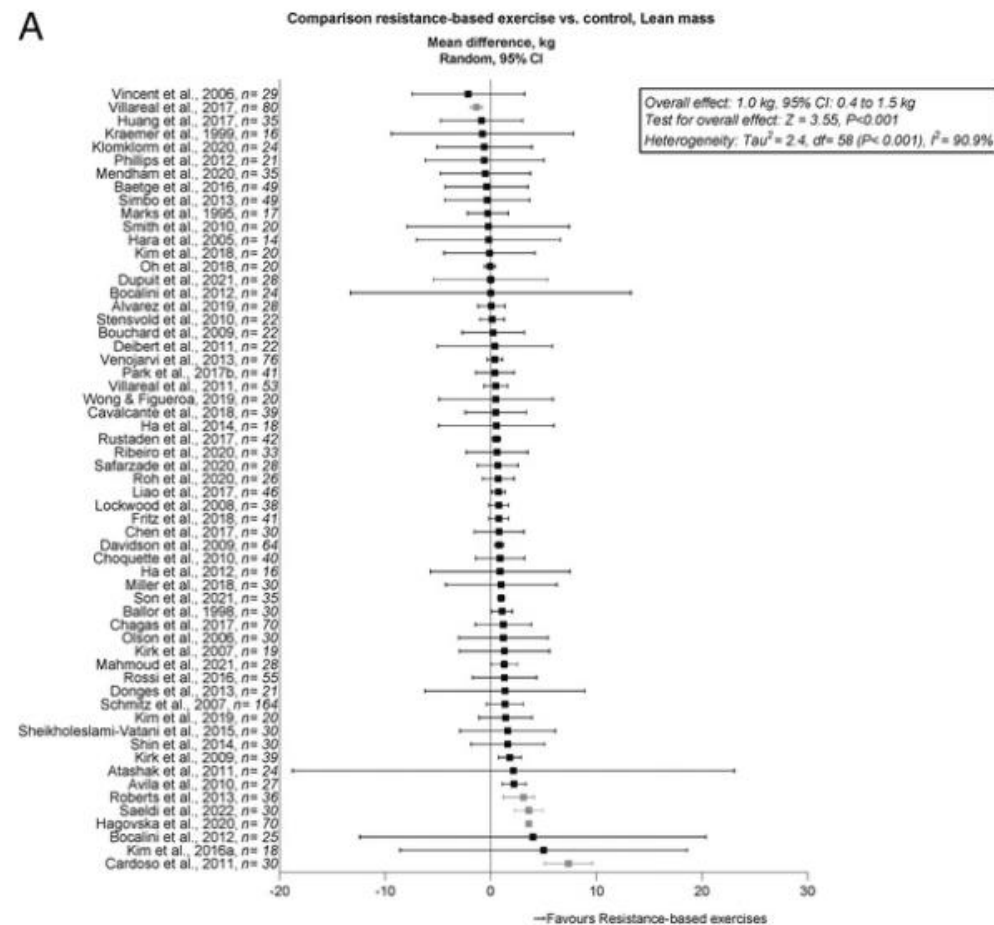
Medicine & Science in Sports & Exercise 51(9):p 1866-1875, September 2019. | DOI: 10.1249/MSS.0000000000002003

Liikunta kuten lihaskuntoharjoittelu muokkaa kehon koostumusta ylipainoisilla/lihavilla

- -1,6 kg (95 % [CI] = -1,9 -1,3 kg, $P < 0,001$) ↓ rasvamassassa ja
- +0,8 kg ↑ (95 %:n [CI] = 0,6-0,9 kg, $P < 0,001$) rasvattomassa massassa



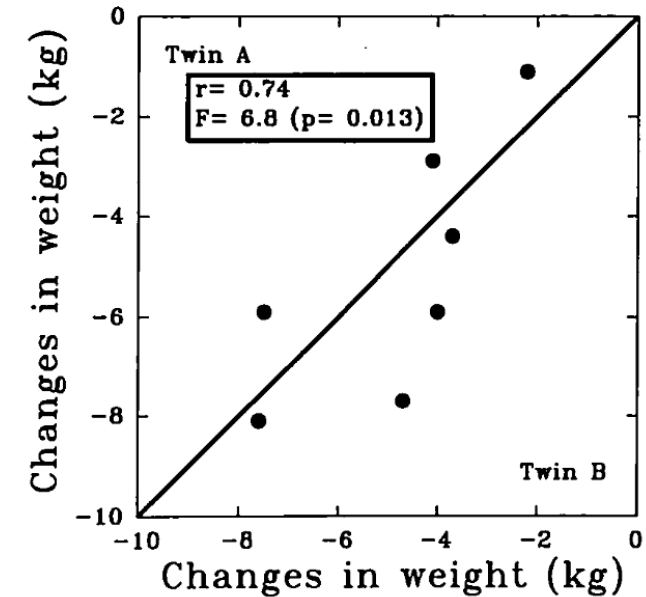
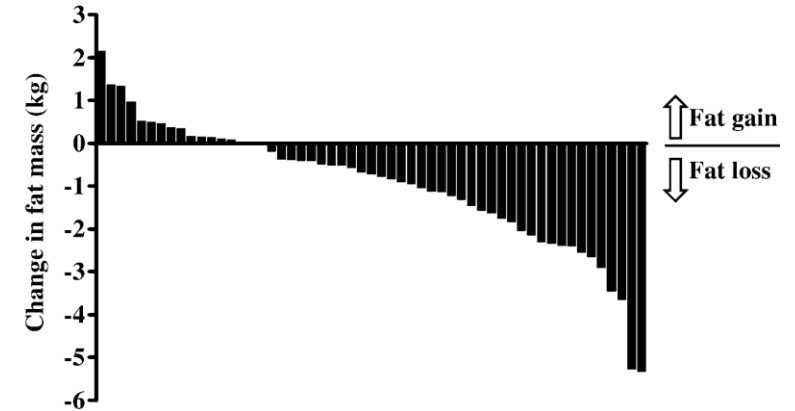
Lopez ym. 2022





Liikunnan vaikutus mahdollisesti osittain yksilöllistä ja riippuu perintötekijöistä

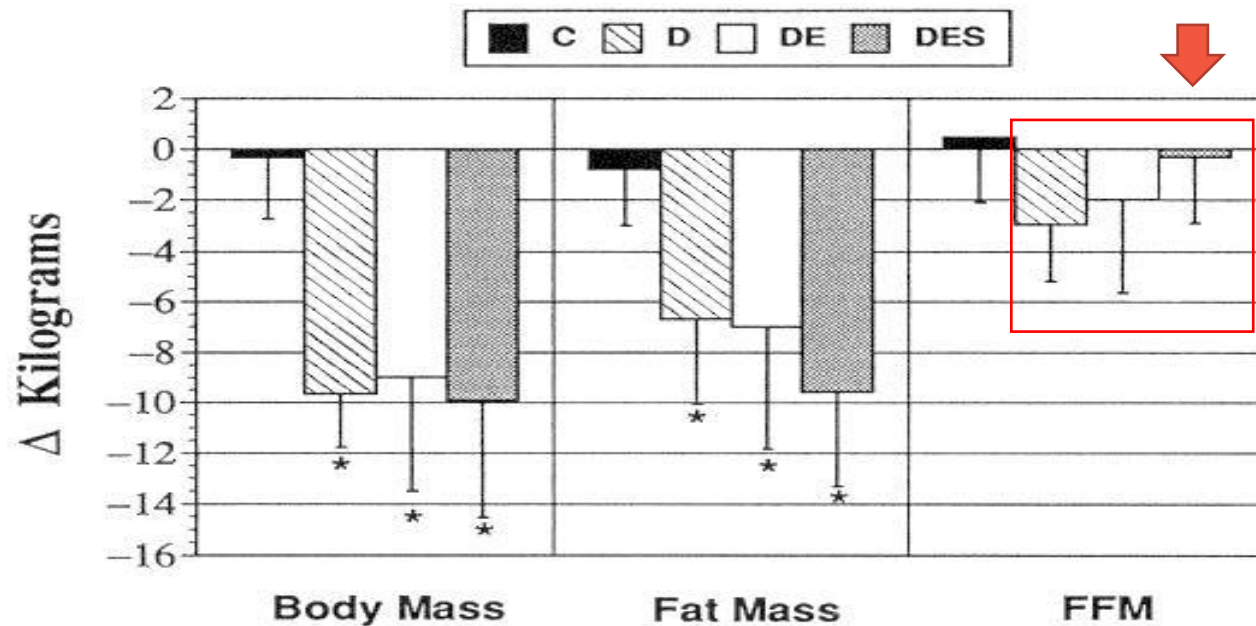
- Samanlainen liikuntaohjelma ei näyttäisi aiheuttavan kaikille ihmisille identtistä rasvanlähtöä ([Barwell ym. 2009](#))
- Ilmiö on osittain perinnöllistä ([Bouchard ym. 1994](#))





Voima-/lihaskuntoharjoittelu ehkäisee dieetillä rasvattoman massan laskua

~10 kg painonpudotus 12 viikossa



- C=Non-diet control, D=Diet only, DE = Diet + Endurance training, **DES = Diet + combined strength and endurance training** ([Kraemer ym. 1999](#))

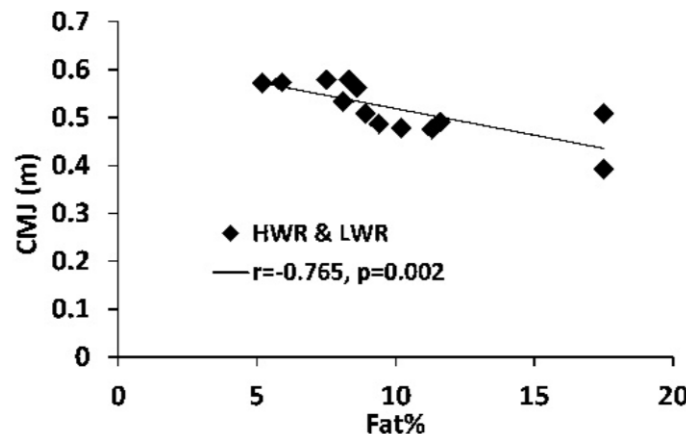


Mitä fysiologiassa tapahtuu energiarajoituksella?

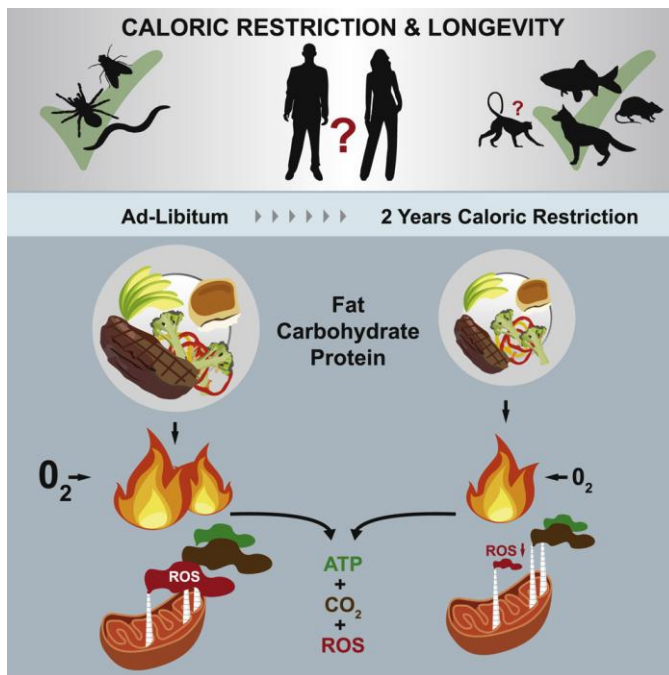


Paradoksi ja haaste

- Urheilussa painonlasku ja alhainen rasva% voi edistää suorituskykyä



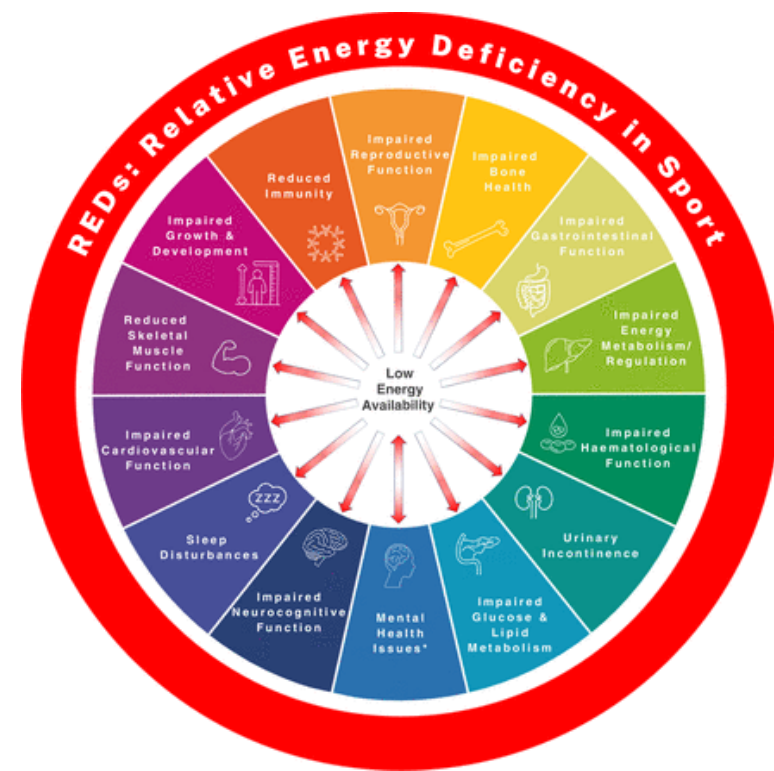
Huovinen ym. 2015



Redman ym. 2018

MUTTA

- Pitkäaikainen ja merkittävä energiavaje urheilussa voi johtaa terveysturpeisiin (RED-S) ja lopulta suorituskyvyn heikentymiseen



Mountjoy ym. 2023

- Maltillisella kalorirajoituksella on havaittu myönteisiä vaikutuksia, myös ei-lihavilla henkilöillä



Alhainen energiansaataavuus (LEA) ja urheilijan energiavaje (RED-S)



Mukaillen: Mountjoy ym. 2023 IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). BJSM 2023;57:1073-1097

terveurheilija

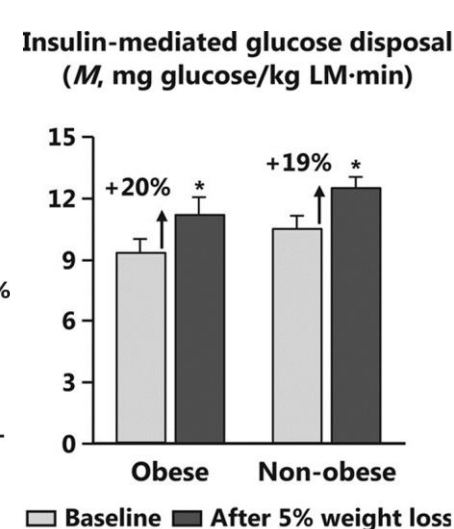
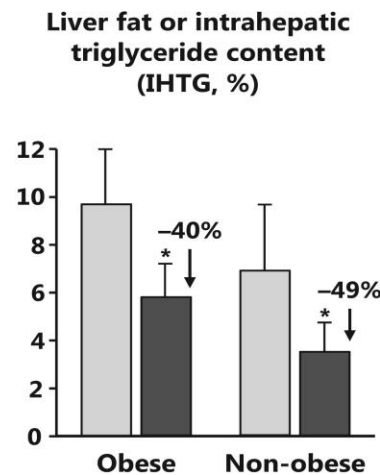
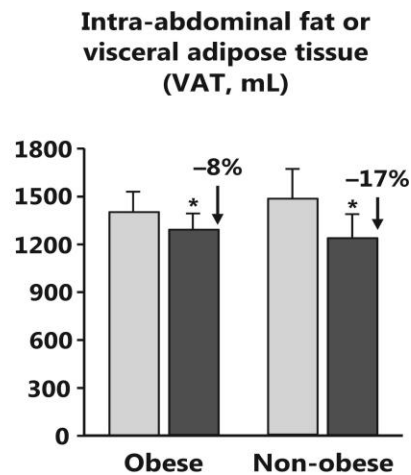
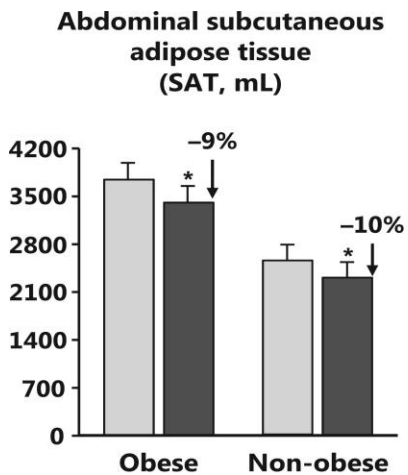
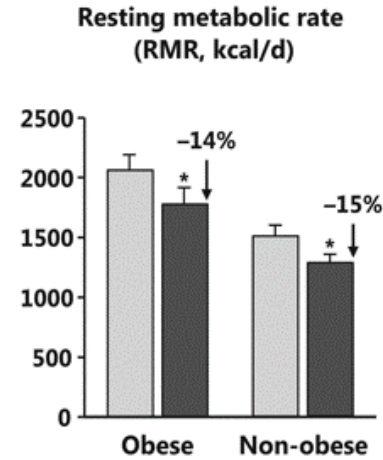
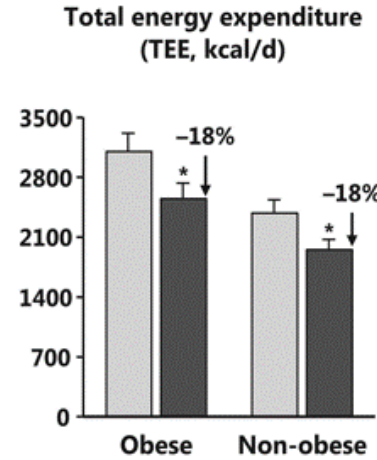
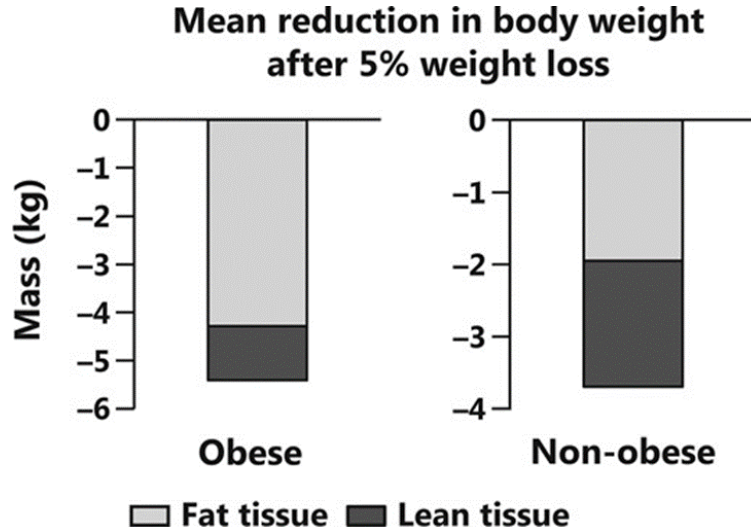


Mukaillen: Mountjoy ym. 2023 IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). BJSM 2023;57:1073-1097

terveurheilija

Laihdutuksen fysiologisia vaikutukset melko samanlaisia lihavilla vs. ei-lihavilla

Vain muutamia laihdutustutkimuksia <25 BMI tutkittavilla



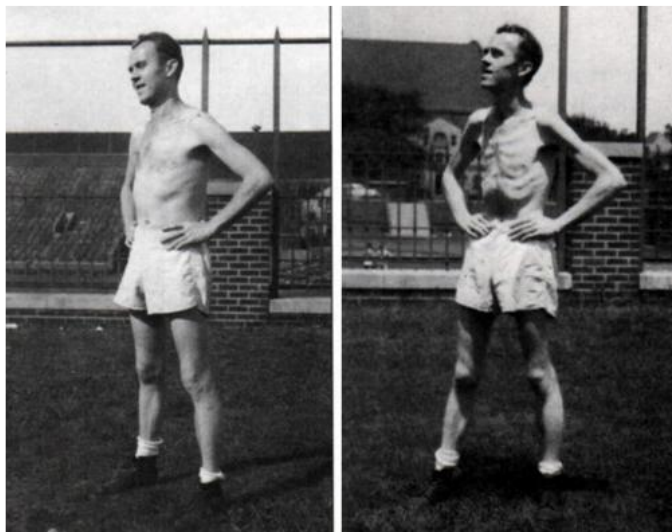
MUTTA:
urheilututkimukset ja tutkimukset, joissa laihdutus saatiin aikaan kokonaan tai osittain liikunnan lisäämisellä on poissuljettu näistä

Magkos ym. 2022



Fitness-urheilijat tieteen koekaniineina

- Fitness tutkimusmallina: mitä rankassa energiavajeessa ja painon jojoillessa tapahtuu: vapaaehtoinen rankka dieetti ja siitä palautuminen
- Fitnessurheilijan kilpailukaudella pyritään vähentämään kehon rasvaa säilyttämällä lihasmassan määrä
- Kilpailukaudesta pyritään palautumaan nopeasti
 - Energiansaanti $\uparrow$ ja kehonkoostumus palautuu



Minnesota starvation study (Ancel Keys)



Fitness-dieetti



Tutkimusasetelmat

- 4-5 kuukautta kestävän kilpailudieetin ja siitä palautumisen (4-5 kk) vaikutukset fitnessurheilijoiden fysiologiaan

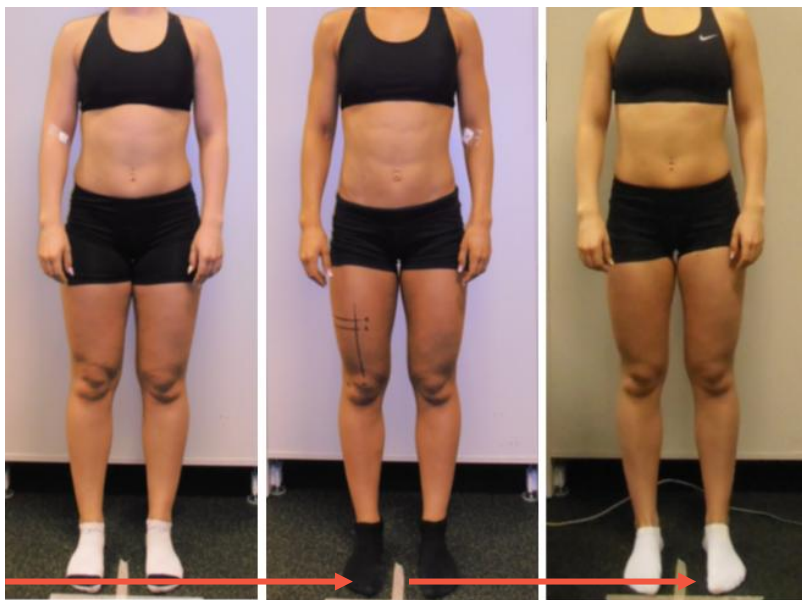
2015-2016

27 dieettaavaa naiskilpailijaa ja 23 ei-dieettaavaa naiskilpailijaa

PRE

MID

POST



Dieetti

Palautuminen

2020-2021

22 naista ja 23 miestä (23 dieettaavaa ja 22-ei dieettaavaa)

PRE

MID

Kisan jälk.

POST



Dieetti

KV

Palautuminen

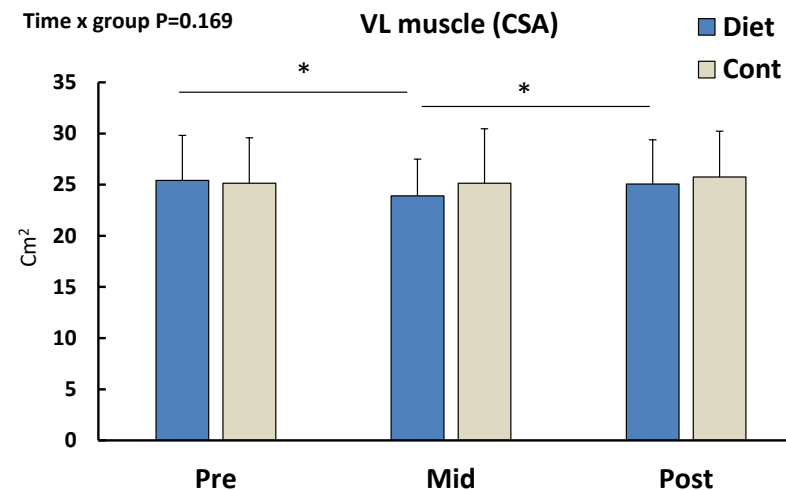
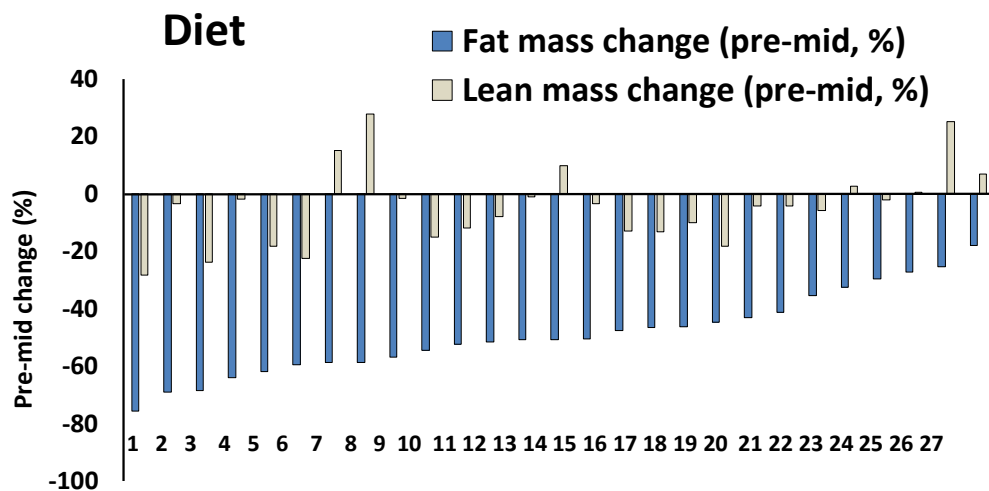


Rasvamassan suuri lasku vähäisellä rasvattoman massan muutoksella

Ville Isola



- Painonpudotus: erityisesti hiilihydraatit ↓ ja aerobinen harjoittelu ↑
 - Korkea voimaharjoittelun määrä ja proteiinin saanti
- Kokonais- ja viskeraalinen rasva ↓ 50-70 %
- Vain vähäinen lasku lihaskoossa ja rasvattomassa massassa naisilla



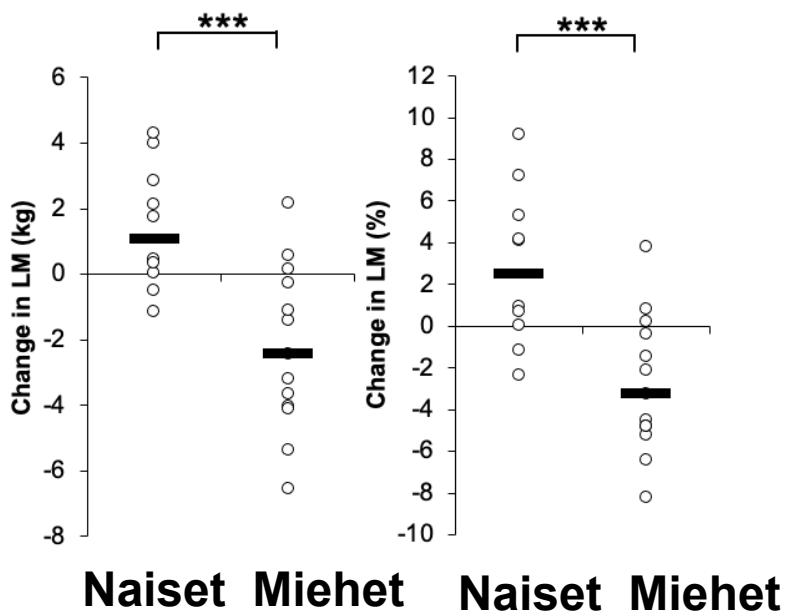
Hulmi ym. 2017



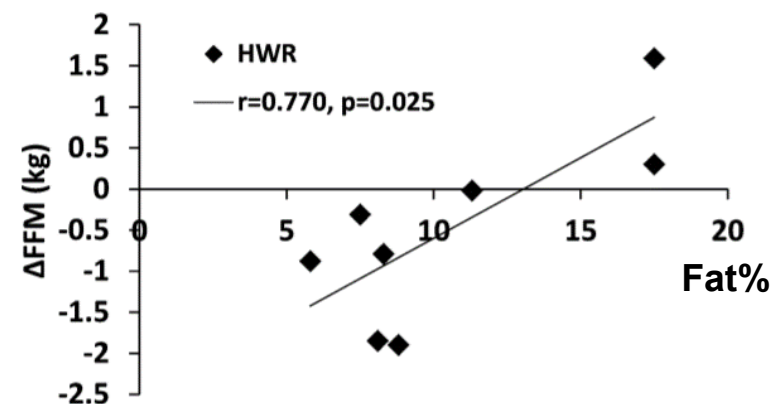
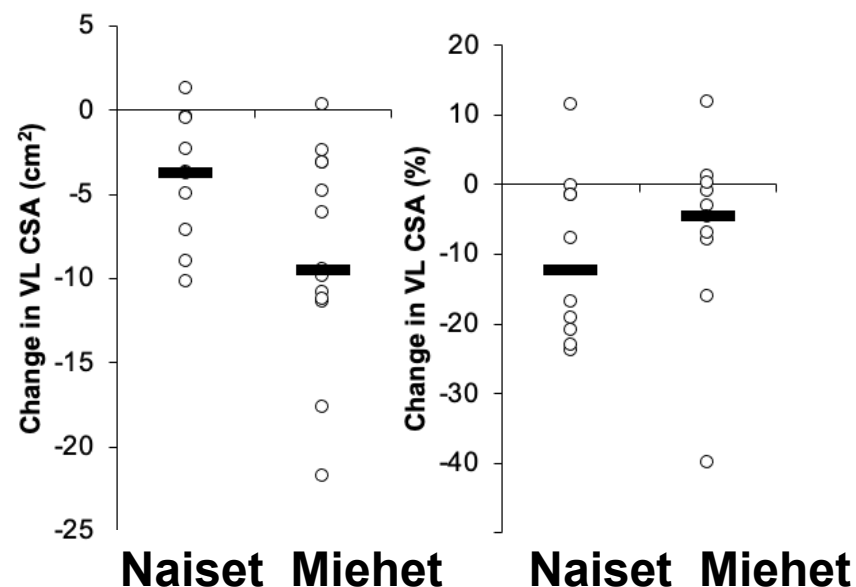
Miehet vs. naiset

- Miehillä lihasten koko pienenee absoluuttisesti enemmän
- Vähemmän rasvaa, isompi lihaskato?

Painonpudotusjakso: rasvaton massa



Painonpudotusjakso: lihaskoko



Huovinen ym. 2015

Isola ym. 2023

Ville Isola



Juha Ahtiainen



Heikki Huovinen



Antti Mero

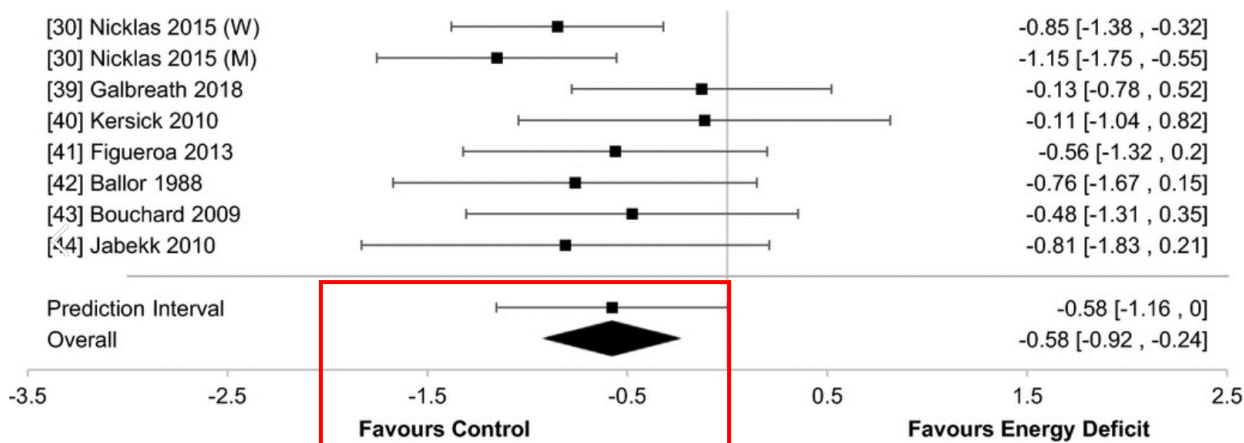




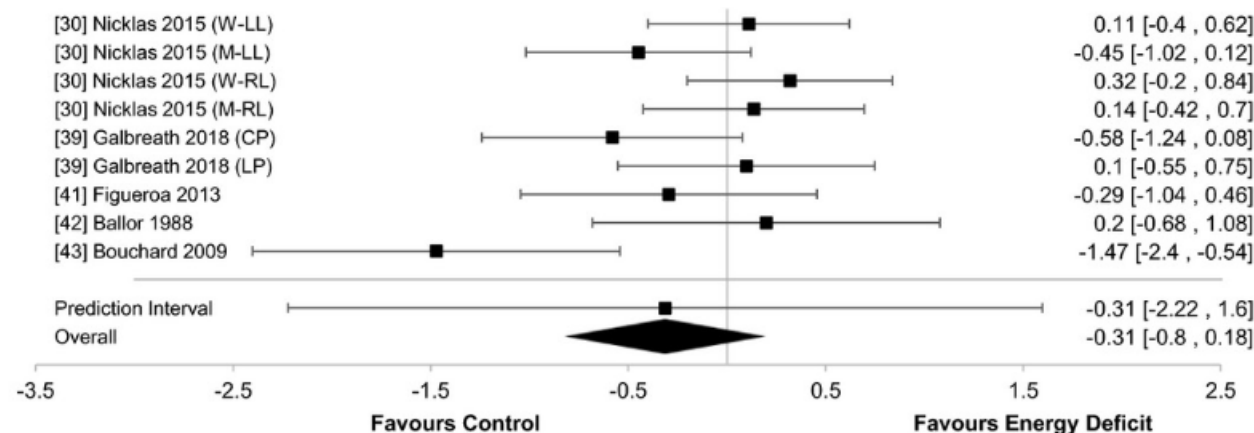
Rasvattoman massan (~puolet lihasta) kehittyminen voimaharjoittelussa on energiavajeessa heikompaa

- RCT-tutkimukset: koko kehon voimaharjoittelua energiavajeella tai ilman

Rasvaton massa



Maksimivoima

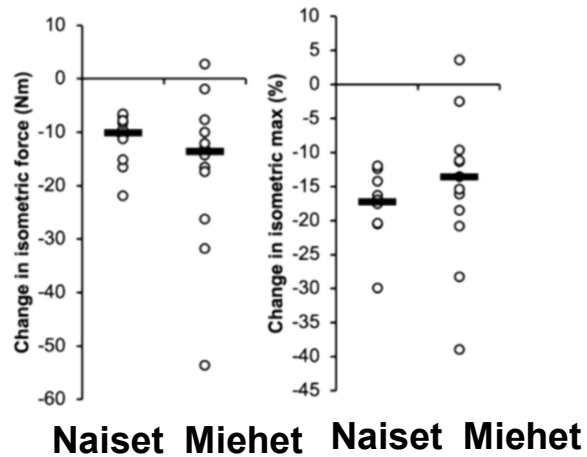




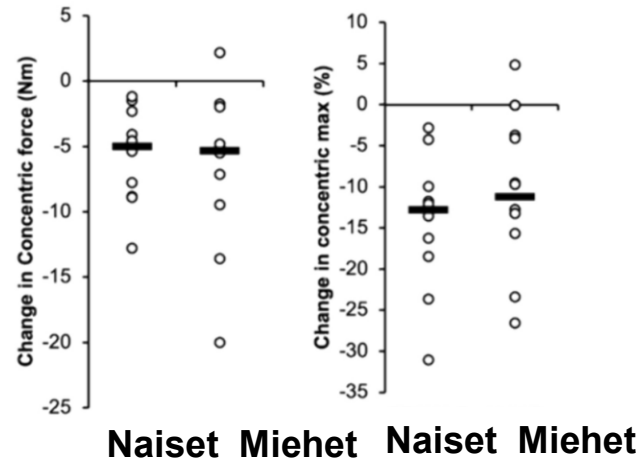
Maksimivoima voi laskea

- Selittyy kuitenkin lihaskoon laskulla

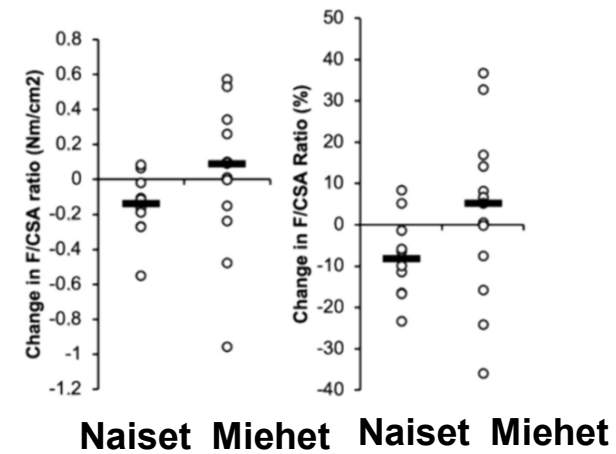
Painonpudotusjakso: isom. F



Painonpudotusjakso: Kons. F



Painonpudotusjakso: F / lihaskoko



Ville Isola



Juha Ahtiainen



Isola ym. 2025



Energiarajoituksella rasvaton massa ja lihaskoko laskee myös lihavilla lopulta

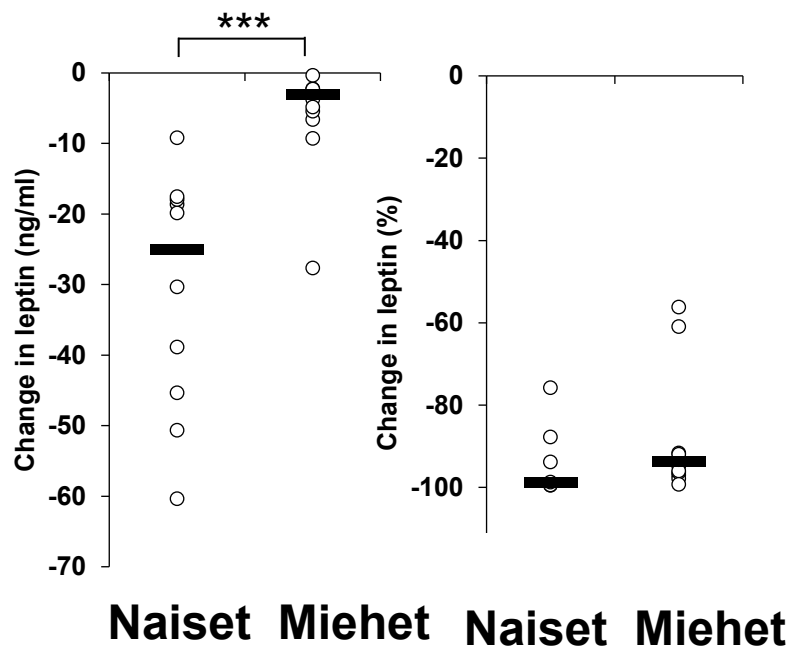
- Terveiltä ei liikunnallisilta mitattiin koko kehon lihasmassa MRI:llä kuukausien energiarajoituksen jälkeen ([Heymsfeld ym. 2023](#))
 - Huom: kokonaislihasmassa on eri asia kuin rasvaton massa tai pehmytkudosmassa

	Kiel		CALERIE	
	Males	Females	Males	Females
<i>n</i>	14	60	8	18
Δ Weight (kg)	-13.00 ± 4.40	-8.34 ± 3.84	-9.90 ± 1.61	-9.16 ± 3.11
Δ BMI (kg/m ²)	-4.00 ± 1.43	-2.93 ± 1.30	-3.12 ± 0.52	-3.41 ± 1.12
Δ AT (kg)	-7.38 ± 2.76	-5.85 ± 3.77	-6.20 ± 1.29	-7.29 ± 2.66
Δ ATMI (kg/m ²)	-2.27 ± 0.90	-2.05 ± 1.28	-1.95 ± 0.36	-2.72 ± 0.98
Δ SM (kg)	-2.94 ± 1.44	-0.79 ± 0.92	-2.00 ± 0.77	-1.49 ± 0.83
Δ SMI (kg/m ²)	-0.91 ± 0.46	-0.28 ± 0.31	-0.62 ± 0.21	-0.55 ± 0.29

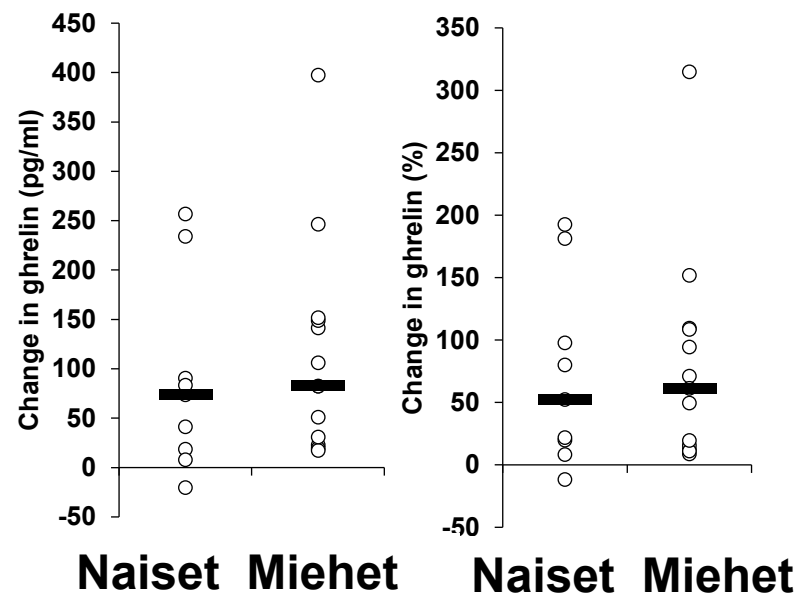


Isoja hormonaalisia muutoksia

Painonpudotusjakso: leptiini



Painonpudotusjakso: greliini



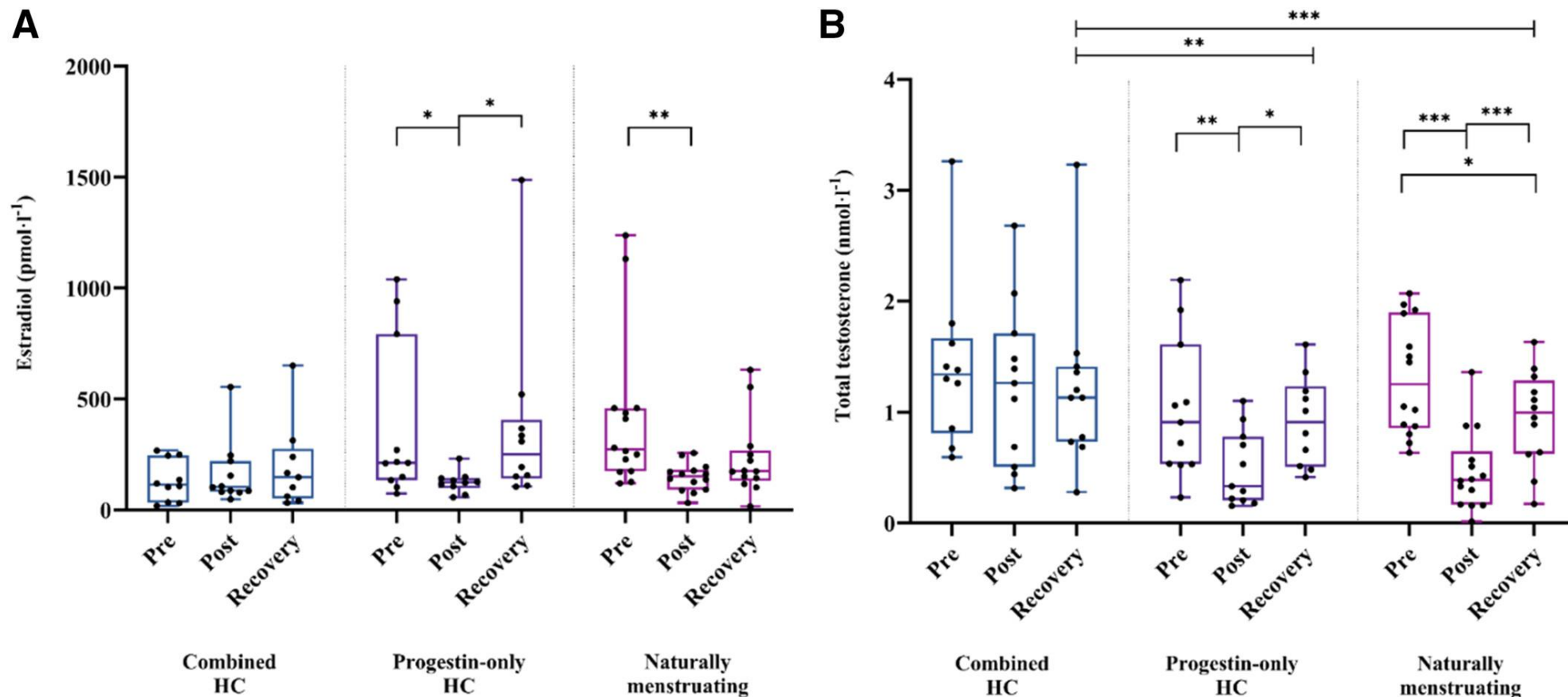
R U O K A A !!!



Isola ym. 2023



Sukupuolihormoneissa laskua, paitsi jos yhdistelmä- ehkäisy



Mikkonen ym. 2025

Ritva Mikkonen





Hormonaaliset muutokset painonpudotuksessa

Hormonin vapautumisen pääasiallinen paikka	Hormonin pääasiallinen vaikutus	↑ tai ↓ energiarajoituksessa
Ruoansulatuskanava		
Greliini (maha)	Lisää näläntunnetta	↑
GLP-1 (suolen limakalvo)	Vähentää ruoan ja energian saantia	↑ (↓ myöhemmin)
GIP (suolen limakalvo)	Edistää energian varastointia	↑
Kolekystokiniini (ohutsuoli)	Edistää kylläisyyttä	↓
Peptidi YY (ohutsuoli ja paksusuoli)	Edistää kylläisyyttä	↓
Haima		
Insuliini	Hidastaa rasva-aineenvaihduntaa	↓
Haimaperäinen peptidi	Vähentää ruokahalua ja ruoan saantia	↑
Rasvakudos		
Leptiini (valkoiset ja ruskeat rasvasolut)	Lisää ruokahalua	↓

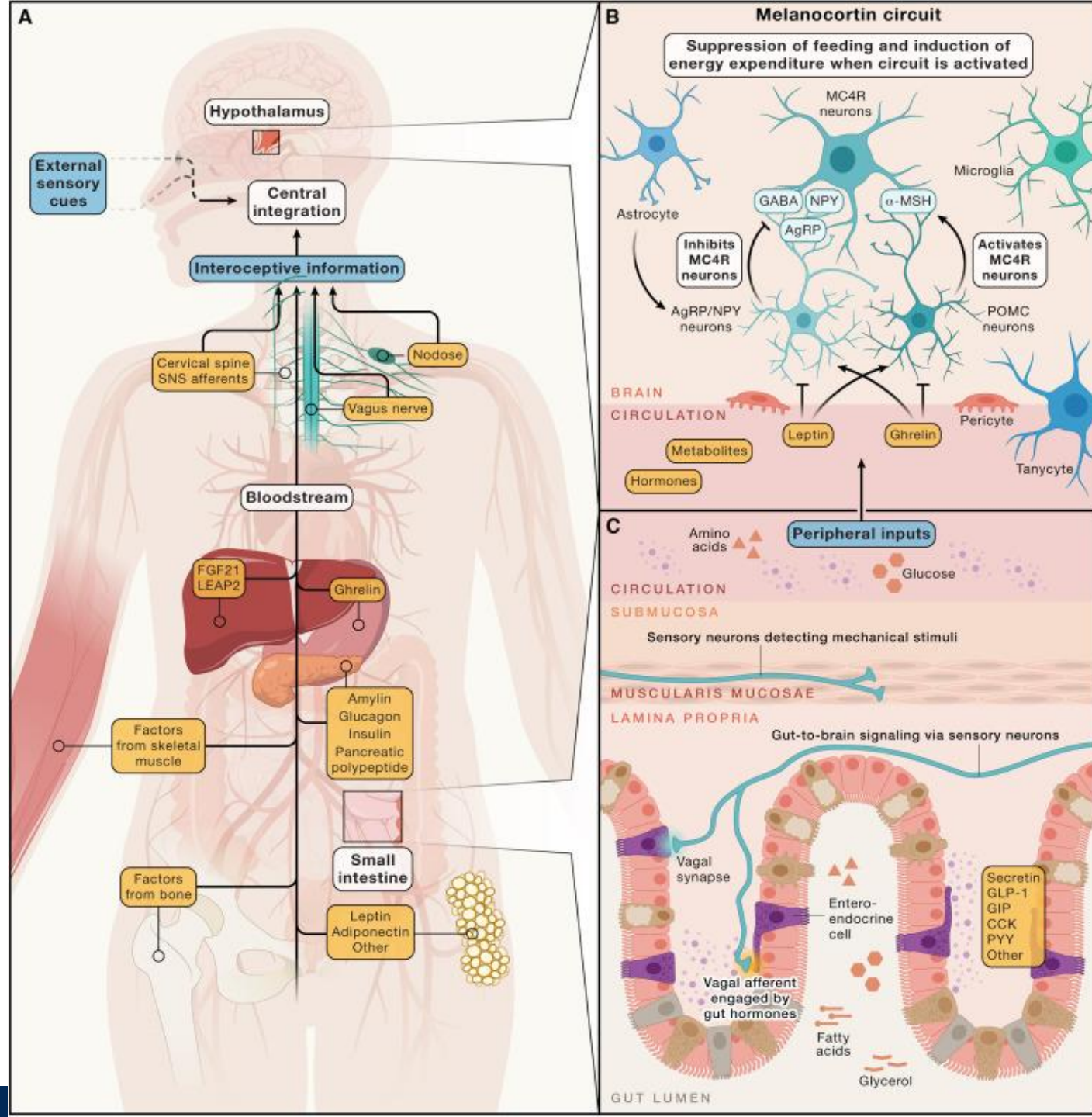
- Rasvojen lipolyysi ja vapautuminen ↑
- Rasvojen *suhteellinen* hapetus ↑
- Rasvojen lipogeneesi ja varastointi ↓

Evert ja Franz 2017



Iso joukko hormonaalisia, metabolisia ja neuraalisia muutoksia

Johansen ym. 2025





Myös suolistomikrobisto muuttuu

- Useissa bakteerisuvuissa oli muutoksia dieetillä
- Muutokset palautuivat osittain painon ja energiansaannin palautuessa

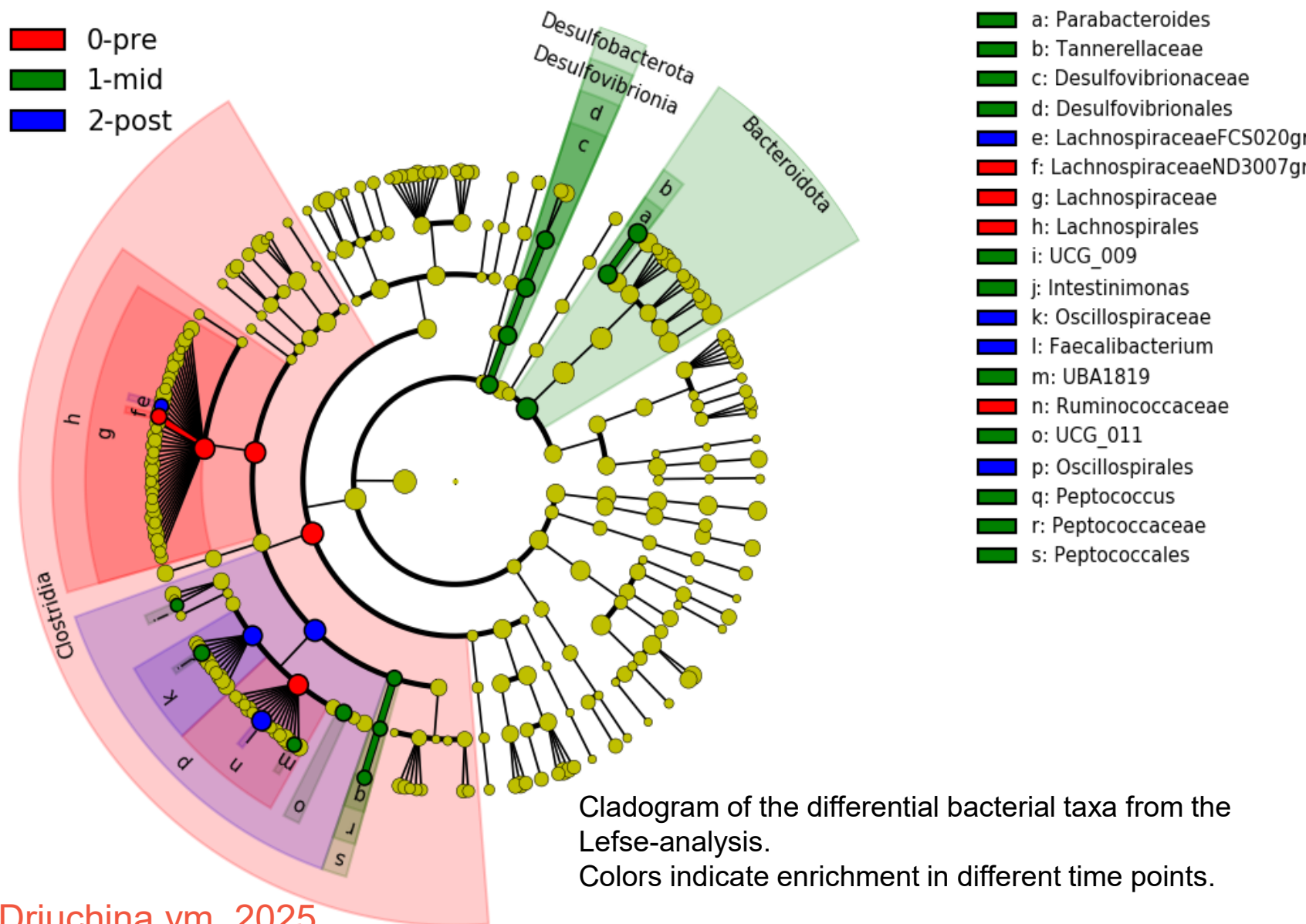
Satu Pekkala



Jukka Hintikka



Anastasiia Driuchina



Driuchina ym. 2025

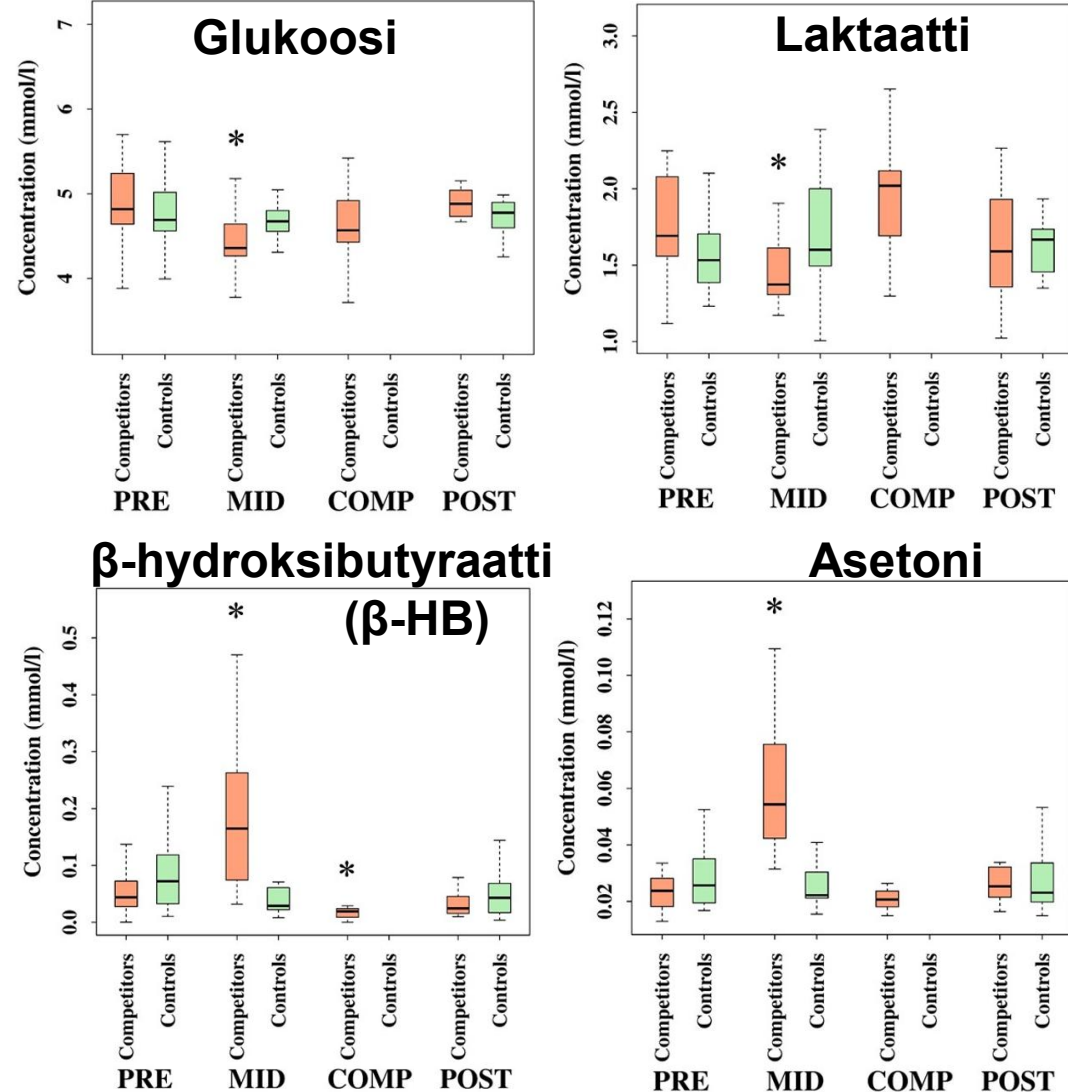


Mitkä painonpudotuksen vaikutuksista ovat seurauksia energiavajeesta eikä rasvanlähdöstä?

- Metabolomi ennen ja jälkeen rasvan lähdön ja kisaviikon
- Yksi viikko HH↑ ei kumonnut suurinta osaa rasvanlähdön muutoksista → monet kardiometaboliset muutokset liittynee **rasvanlähtöön**
- Viikon HH↑ kumosi osan rasvanlähdön / dieetin muutoksista mm.:
 - glukoosissa ja laktaatissa (↓)
 - ketoaineissa (β-HB ja asetoni) (↑)

→ Seurauksia **energia- ja hiilarivajeesta** eikä niinkään rasvanlähdöstä

Jouhki ym. 2024



Ida Jouhki

Heikki Sarin

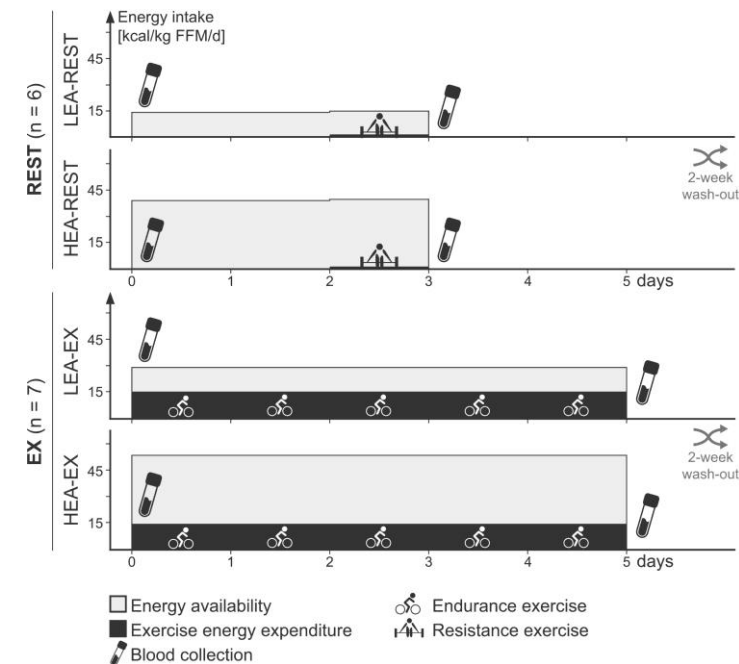
Markus Perola





Mitkä painonpudotuksen vaikutuksista ovat seurauksia energiavajeesta?

→ Lyhytkestoinen energiavaje



- 3-5 päivän alhaisen (15) tai korkean (40 kcal/FFM/päivä) energiansaatavuuden jakso (LEA)

→ Seerumin NMR-metabolomi

- Lipidi- ja aminohappoaineenvaihdunnan merkkiaineet ↓
- Ketoaineet ↑ (esim. β -hydroksibutyraatti $\uparrow \sim 10x$)

Valentin
Nusser



Karsten
Koehler

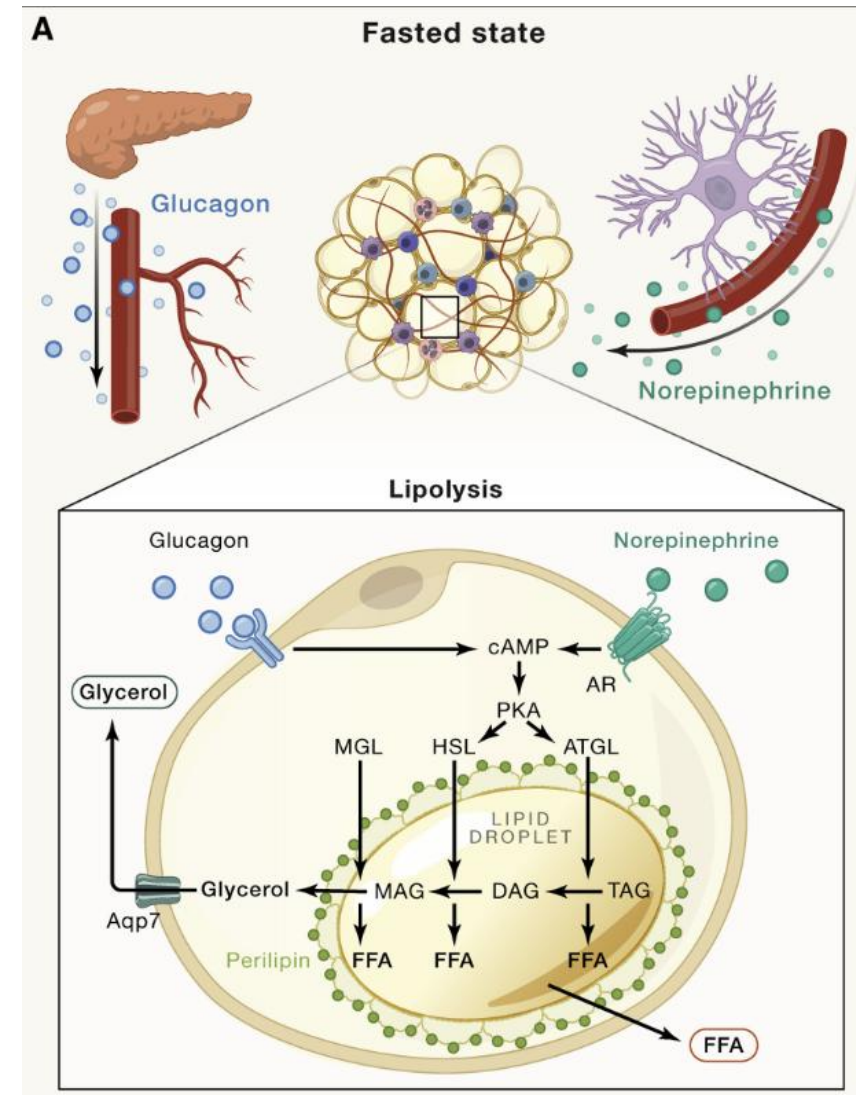


Nusser ym. 2025



Valkoinen rasvakudos ja sen rasvasolut energiavajeessa

- Energiavajeessa rasvasoluissa lipolyysi kasvaa
- Vapaita rasvahappoja ja glyserolia verenkiertoon
 - Rasvahapot hapetukseen (ATP:n tuottoon)
- Rasvasolun rasvapisaran koko pienenee → rasvasolun koko pienenee
- Rasvasolujen määrä ei vähene
 - Mutta voi kasvaa lihomisen yhteydessä ☹️
- Laihdutus vähentää myös mm. rasvakudoksen tulehdussolujen ja fibroosin määrää



Sakers ym. 2022



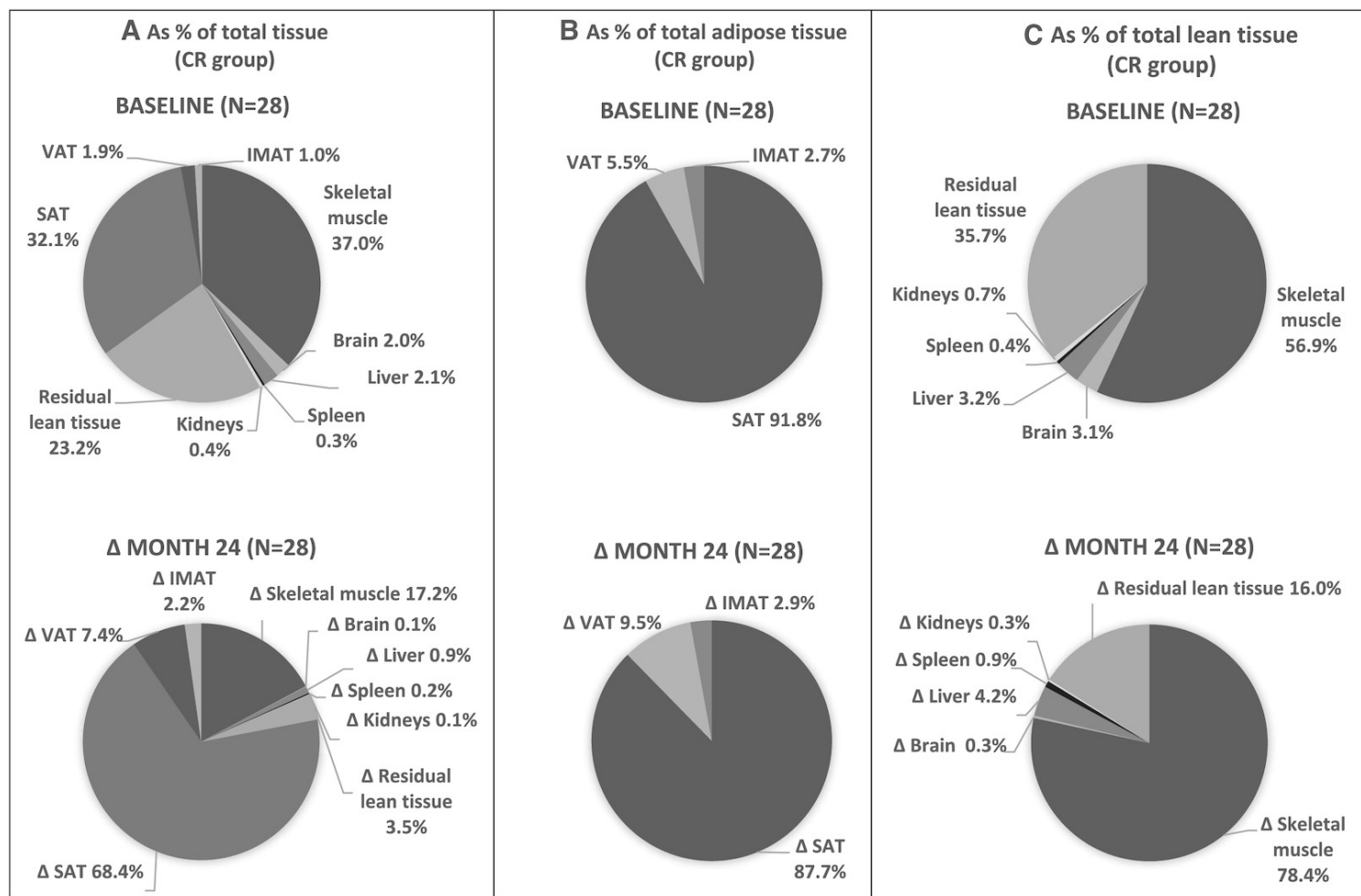
Eri elinten massa laskee energiarajoituksella

- 21 pv kalorirajoitus → ~4 kg painonlasku

	Basal state	CR	
SM, kg	30.8 ± 3.19	29.4 ± 3.20***	↓
Brain, kg	1.55 ± 0.13	1.50 ± 0.12**	↓
Heart, kg	0.25 ± 0.05	0.25 ± 0.05	
Liver, kg	1.68 ± 0.40	1.47 ± 0.31**	↓
Liver _c , kg	1.48 ± 0.19	1.33 ± 0.20**	
Kidneys, kg	0.24 ± 0.04	0.22 ± 0.04**	↓
Residual mass, kg	29.7 ± 3.6	29.1 ± 3.3	
Sum of organs, kg	3.74 ± 0.46	3.45 ± 0.41***	
Sum of OM/SM, kg/kg	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01	
TAT, kg	15.2 ± 4.93	13.3 ± 4.26**	↓

Muller ym. 2021

- 2 v kalorirajoitus → 6 kg painonlasku
- Rasvakudoksen, lihasten ja maksan massa ↓
- Aivojen, munuaisten ja pernan massa säilyi



Shen ym. 2021



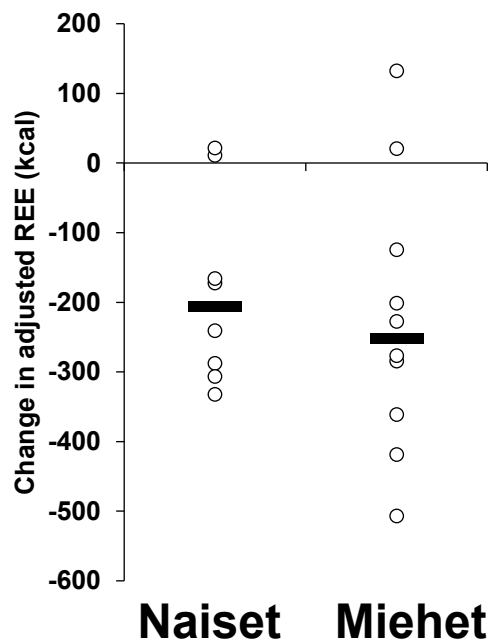
Metabolinen adaptaatio / adaptiivinen termogeneesi

Mitatun ja ennustetun lepoenergiankulutuksen (REE) välistä eroa kutsutaan metaboliseksi adaptaatioksi tai "adaptiiviseksi termogeneesiksi"

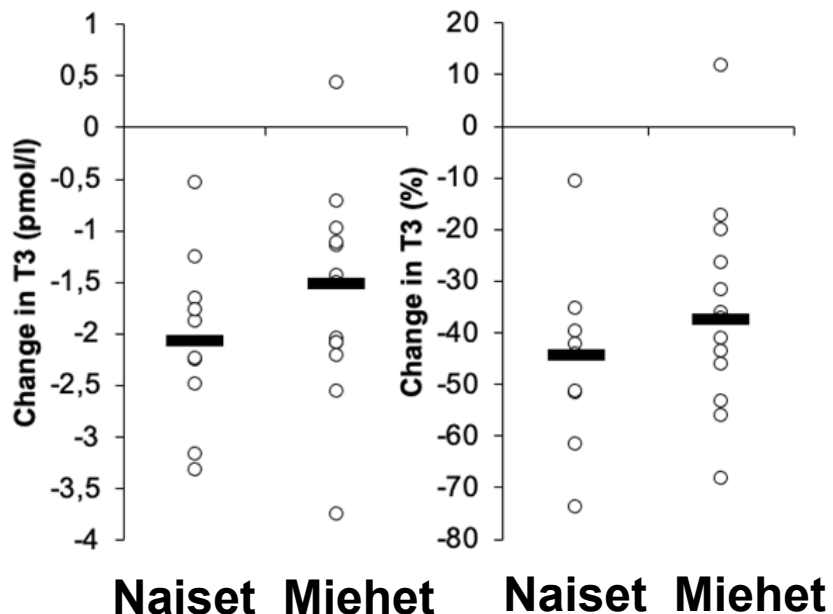
Adjustoitu rasva- ja rasvattomalla massalla

→ adaptiivinen termogeneesi: kehon kudsmassojen laskua suurempi energiankulutuksen lasku

Painonpudotusjakso



Painonpudotusjakso



Isola ym. 2023

Ville Isola



Jari Karppinen

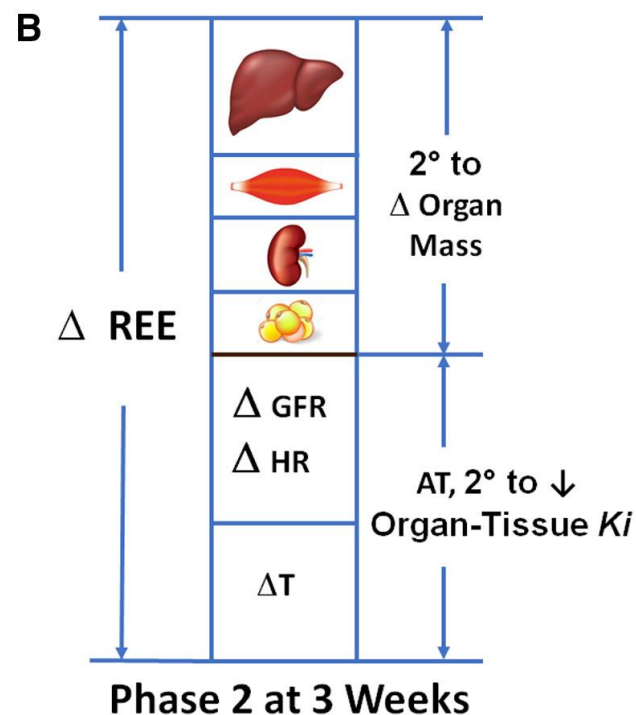
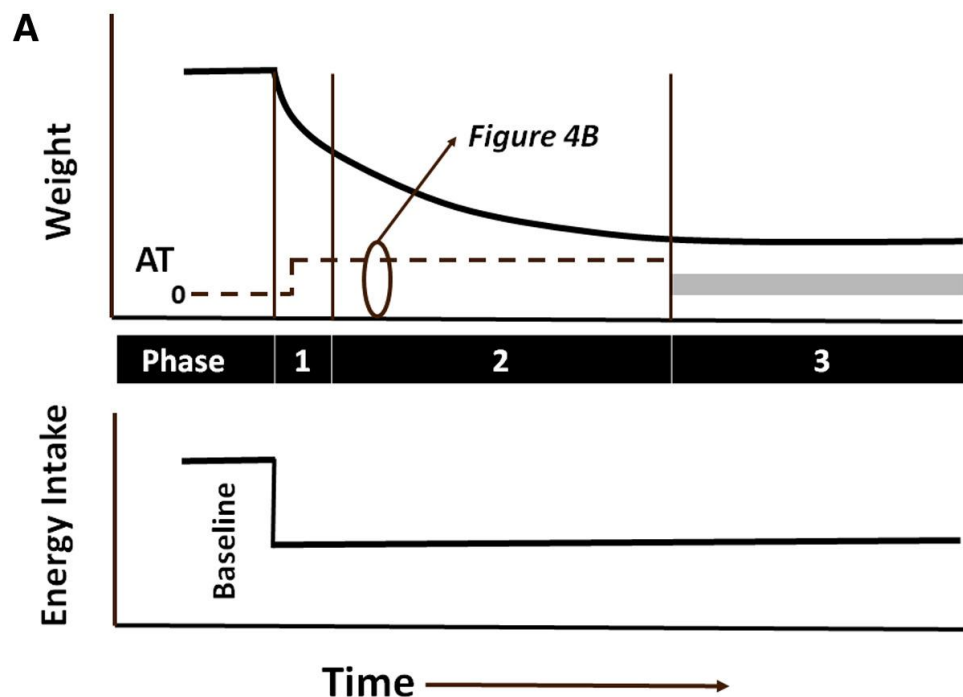




Energiankulutus eri elimissä: raju painonpudotus

Mitatun ja ennustetun lepoenergiankulutuksen (REE) välistä eroa kutsutaan metaboliseksi adaptaatioksi tai "adaptiiviseksi termogeneesiksi"

- ~Puolet REE:n laskusta maksan, lihasten, rasvakudoksen, munuaisten ja aivojen massan ↓
- Loput adaptiivista termogeneesiä → elinten aineenvaihdunnan nopeus ↓
 - Mm. syke, glomerulusten suodatusnopeus (GFR) ja ruumiinlämpö ↓



Heymsfeld ym. 2021



Adaptiivinen termogeneesi yliarvioidaan usein akuutin energiavajeen seurauksena

Metabolic adaptation is an illusion, only present when participants are in negative energy balance

Catia Martins^{1 2 3}  , Jessica Roekenes¹, Saideh Salamati², Barbara A Gower³,
Gary R Hunter³

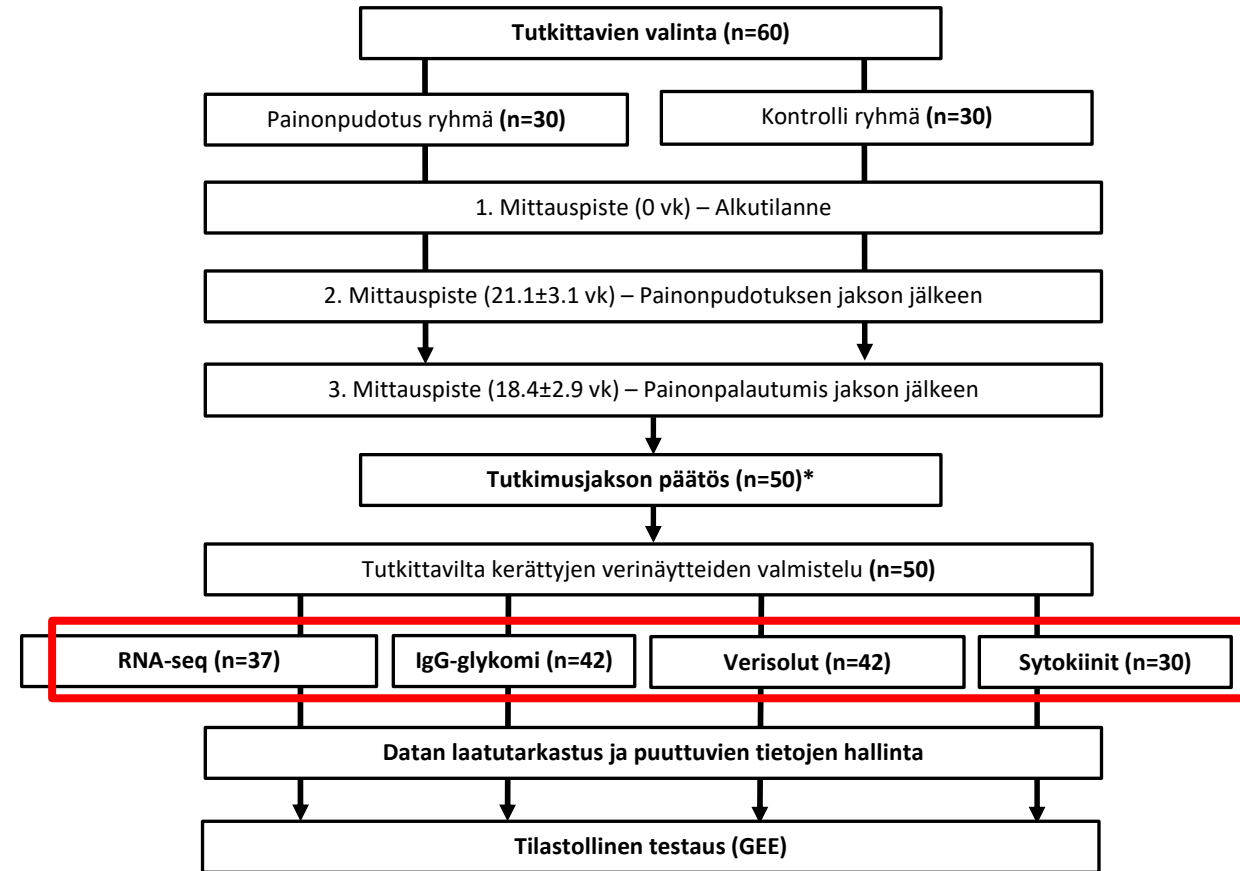
- 71 ylipainoista henkilöä
 - 8 viikkoa 1000 kcal → 4 vk painonvakautusjakso ja 9 kk painonpudotuksen ylläpito
 - Painonpudotus ~14 kg → adaptiivinen termogeneesi energiavajeessa n. 100 kcal
 - Painonpudotus pysähtyi vakautusjaksolla → adaptiivinen termogeneesi ~40 kcal
- Ei estä kenenkään laihtumista tai alentuneen painon ylläpitoa

Kehon immunologiaprosessien alasajo?

- Intensiivinen harjoittelu energiavajeessa ja riittämätön palautuminen on yhdistetty immunosuppressioon ja lisääntyneeseen infektioriskiiin urheilijoilla ([Drew ym. 2016](#))

→ Tutkittiin immunosuppressiota välittäviä systeemibiologisia reittejä veressä

Heikki Sarin



[Sarin ym. 2019](#)

Valkosolujen transkriptomiikka ja IgG glykomi muuttuu energiavajeessa

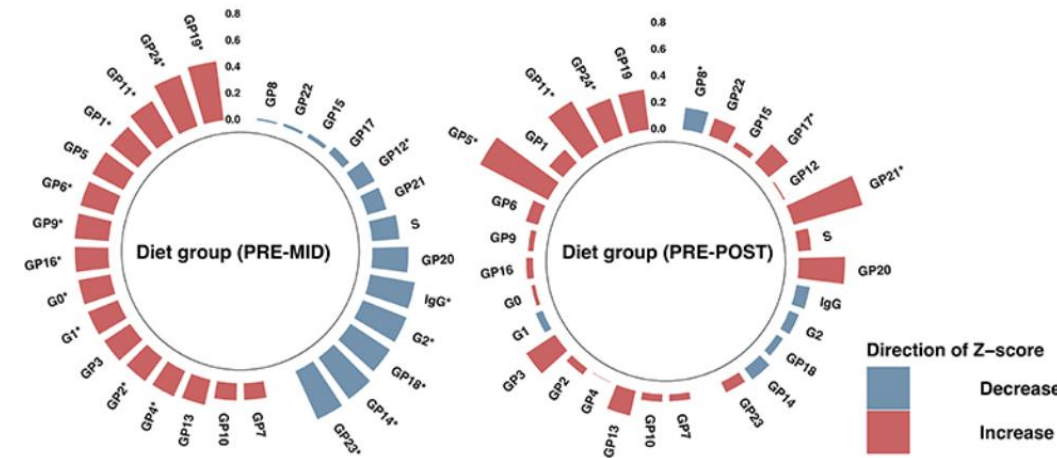
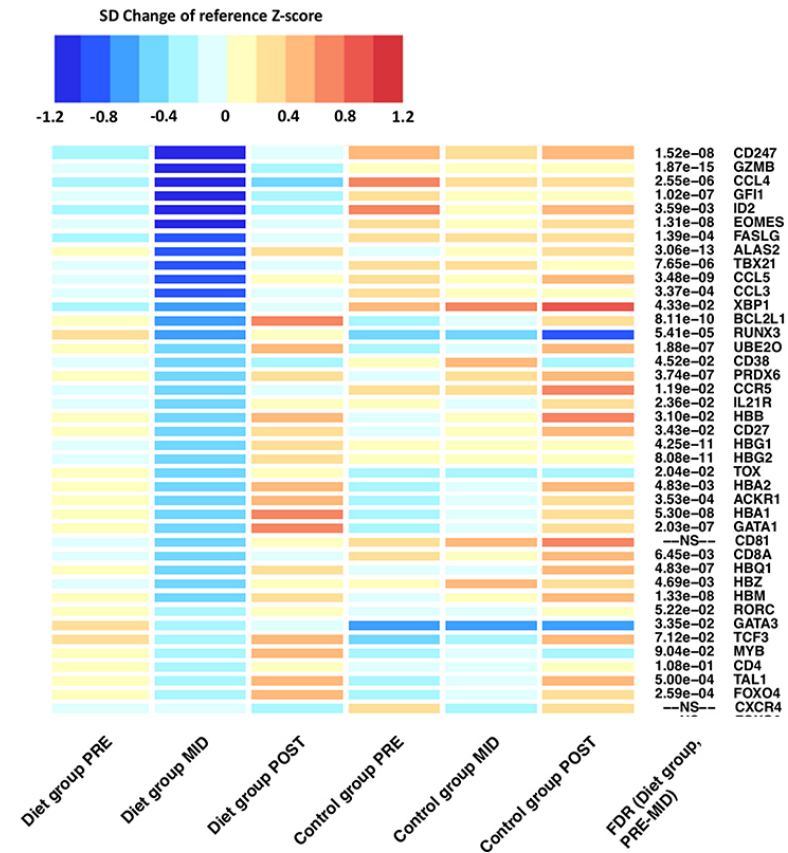
Dieetillä

- Puolustussolujen erilaistumisen ja eritystoiminnan geeniekspressio ↓
- IgG ↓
- IgG:n glykosylaation muutokset
→ immunosuppressio (?)

Painon palautumisen jälkeen

- Valtaosa muutoksista palautui

Sarin ym. 2019



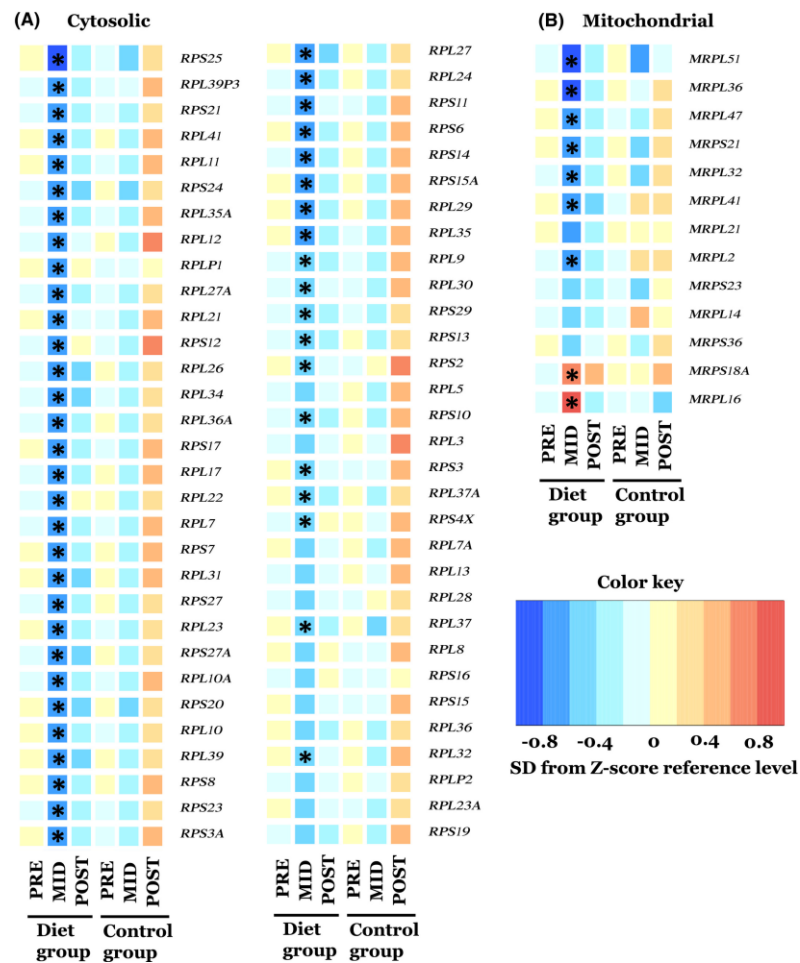
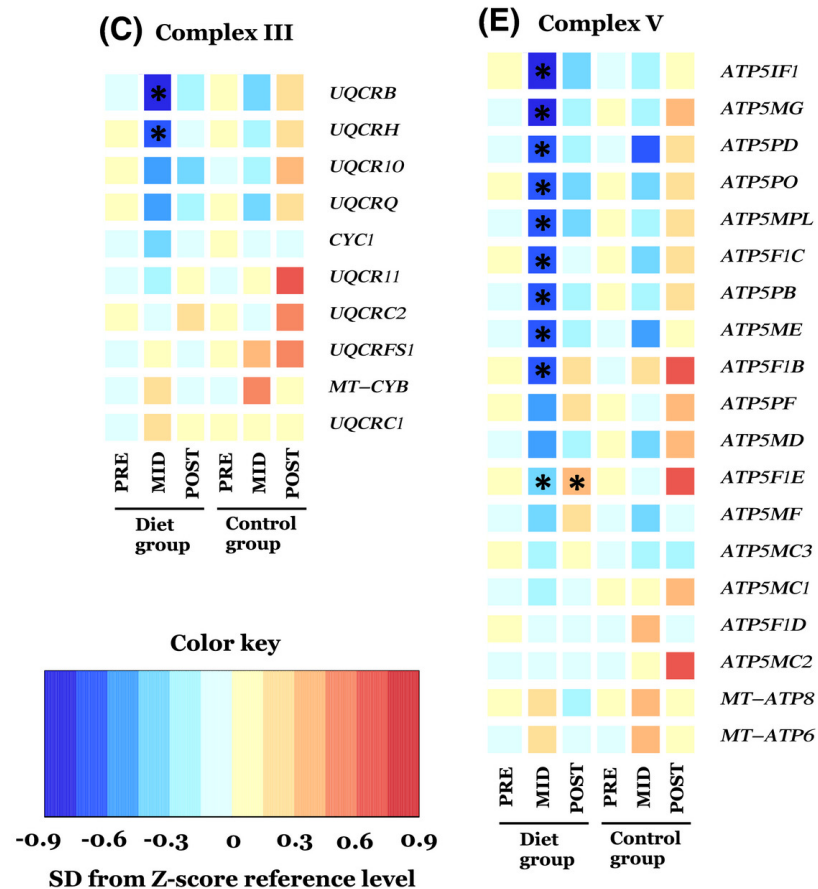
"Säästömoodi"?

- Sopeutumismekanismit käynnistyy → pyritään säästämään energiankulutusta

Valkosolujen geenien ilmentymisen *alasaajo* (↓):

mitokondrioiden oksidatiivisissa toiminnoissa (elektroninsiirtoketju)

proteiinisynteesissä tärkeissä ribosomaalisissa geeneissä



Eija Pirinen Kirsi Pietiläinen



Heikki Sarin

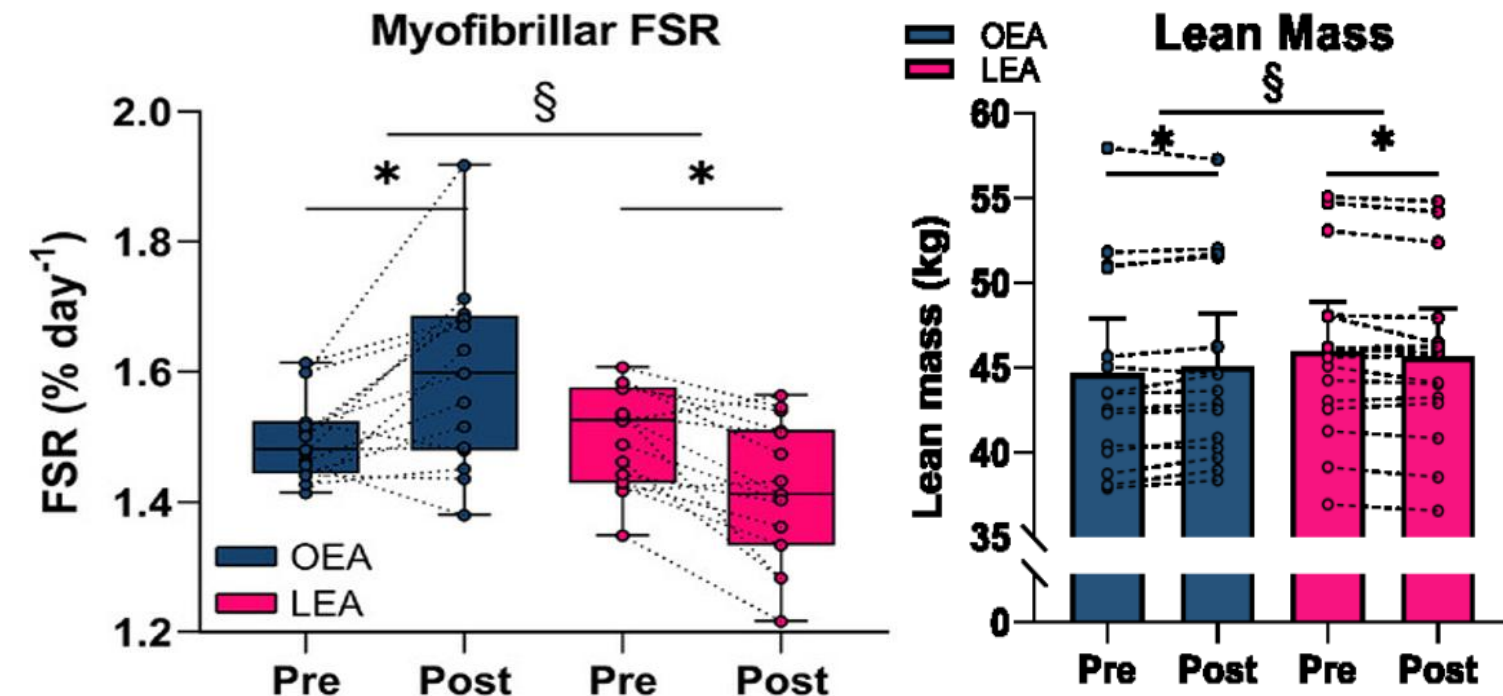


Sarin ym. 2021



Energiavaje vähentää lihasten proteiinisynteesiä ja vähentää rasvatonta massaa

- 30 naista: 10 päivää alhainen (25 kcal/FFM/päivä) tai korkea (OEA, 50 kcal) energiansaatavuus
- Ravinto sisälsi 2,2 g/kg/päivä proteiinia ja harjoittelu voima- ja kestävyysharjoittelua
- Päivittäinen lihasten proteiinisynteesi mitattiin D₂O-menetelmällä



Energiansaatavuus:

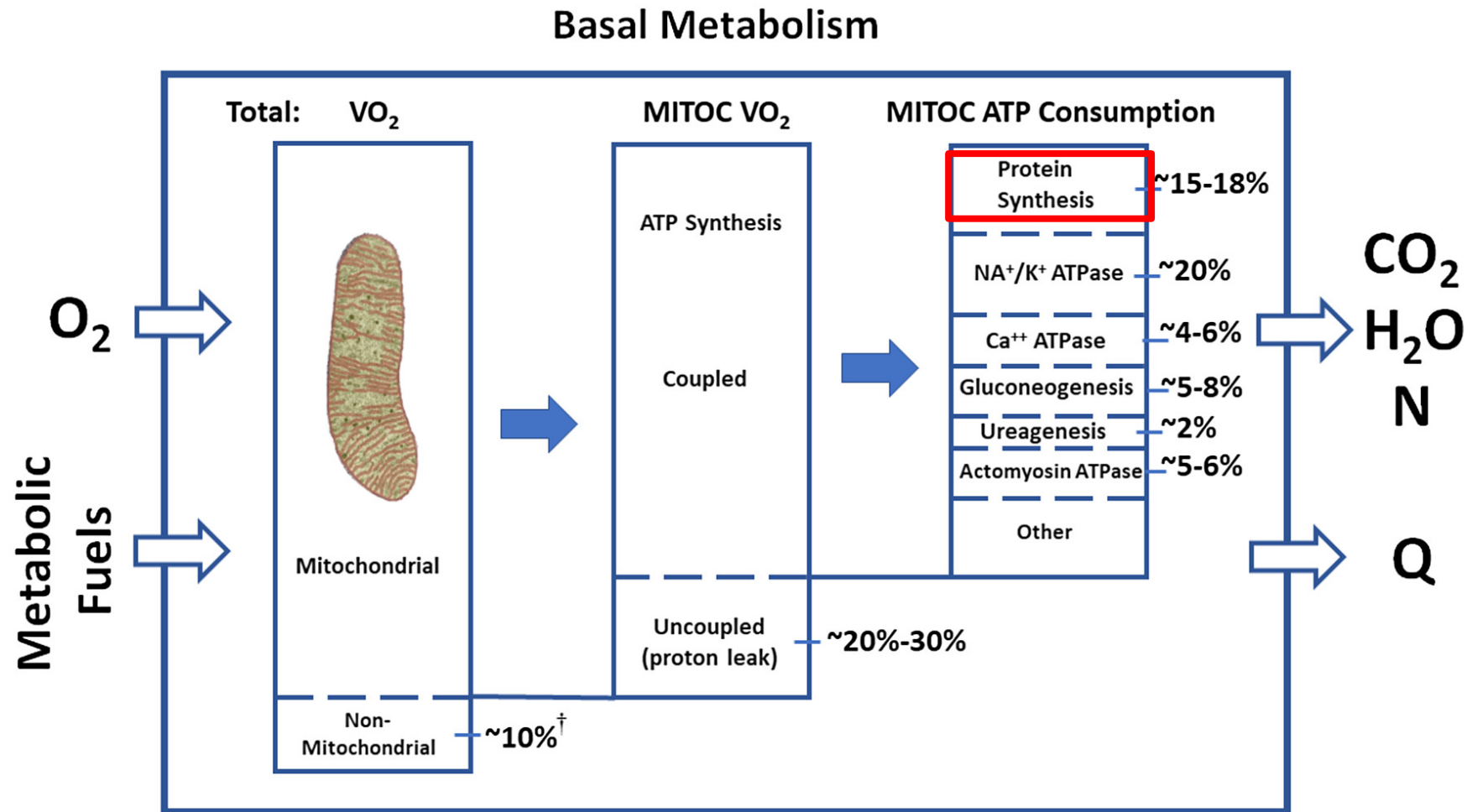
$$\frac{\text{Energiansaanti} - \text{liikunnan aikainen energiankulutus}}{\text{Rasvaton massa (FFM)}}$$

Oxfeldt ym. 2023



Proteiinisynteesi kuluttaa massiivisesti energiaa

- Energiaa kuluttavia prosesseja ajetaan energiavajeessa ↓



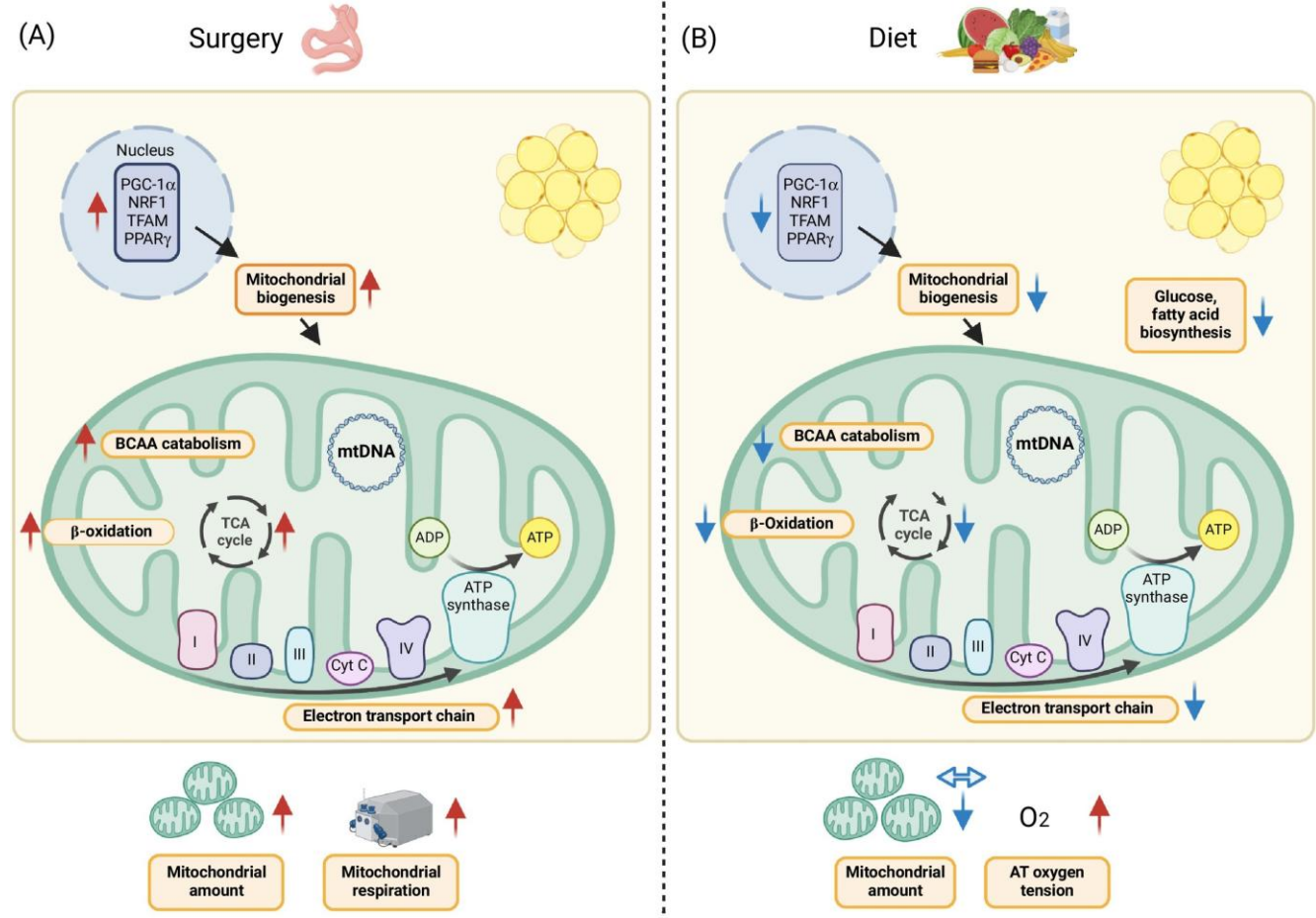
Heymsfeld ym. 2021



Rasvakudoksessa mitokondriomuutoksia painonpudotuksen seurauksena

- Energiarajoitus yleensä heikentää mitokondrioiden aineenvaihduntaa rasvakudoksessa
- Ohitusleikkaus voi säilyttää tai $\uparrow$ mitokondrioiden aineenvaihduntaa

Rasvakudos



Trends in Endocrinology & Metabolism

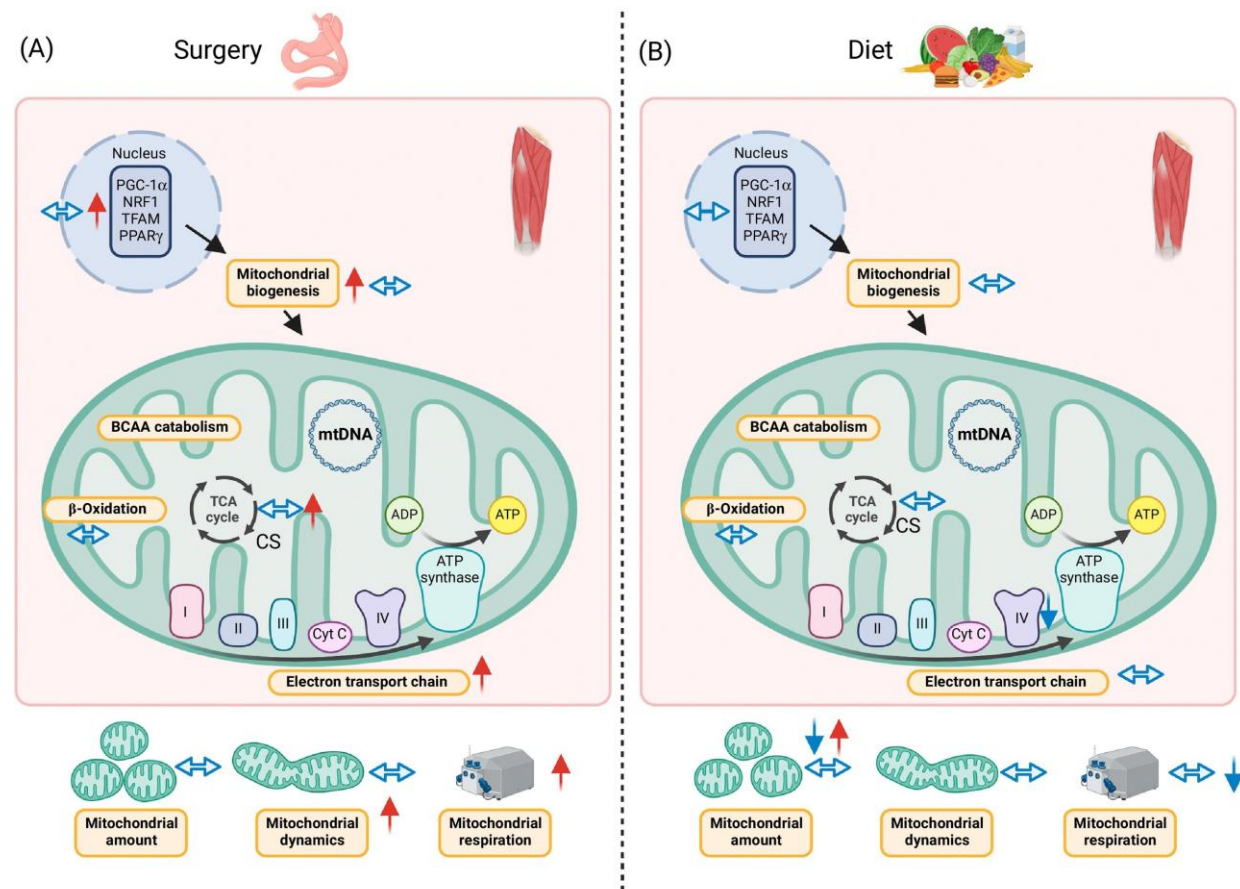
Van der Kolk, Pirinen, ... , Pietiläinen ja Heinonen 2025



Lihaksissa mitokondriomuutoksia painonpudotuksen seurauksena

- Luurankolihasohitusleikkaus voi $\uparrow$ mitokondrioiden aineenvaihduntaa
- Energiarajoitus ei yksinään yleensä vaikuta
- Liikunta yhdessä energiarajoituksen kanssa voi lisätä mitokondrioiden aktiivisuutta ([Nishimura ym. 2025](#))

Luurankolihas



Trends in Endocrinology & Metabolism

[Van der Kolk, Pirinen, ... , Pietiläinen ja Heinonen 2025](#)

Energy constraint -teoria

Pontzer ym. 2018

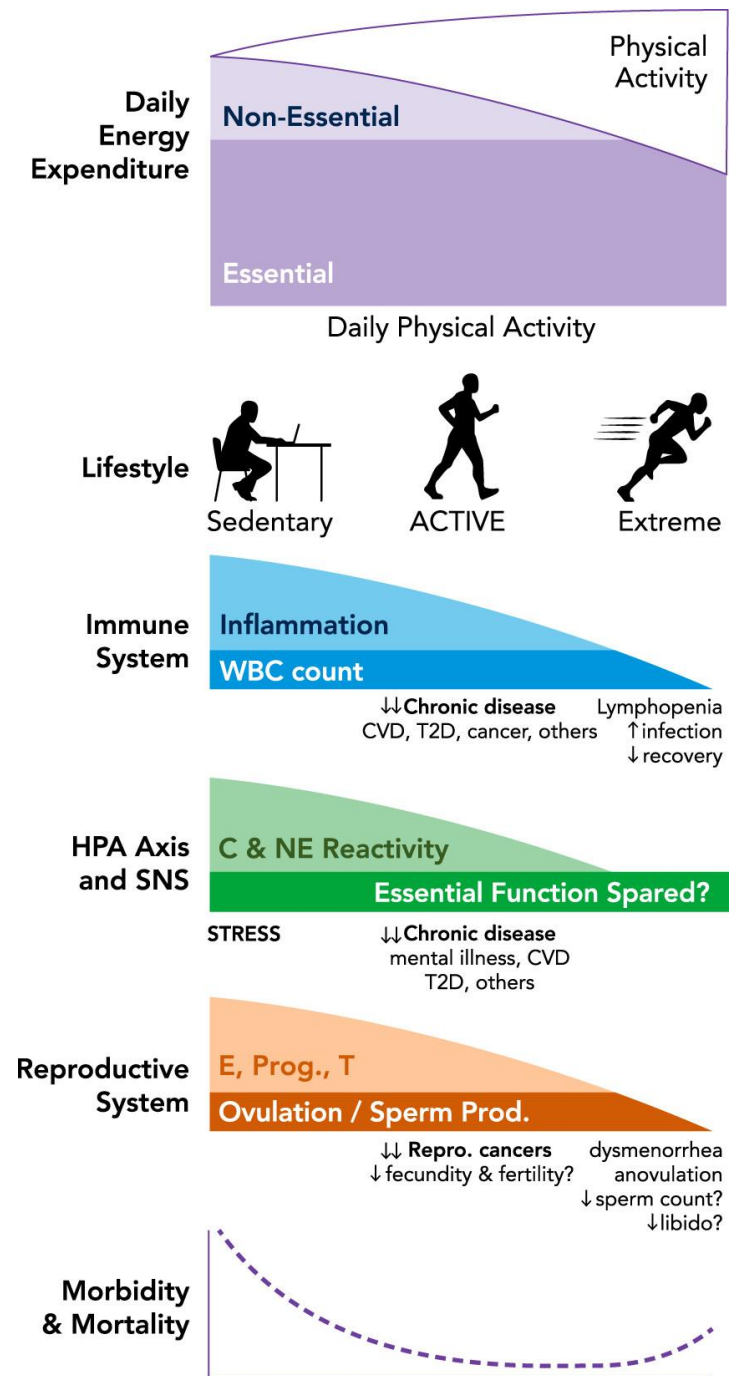
REVIEW

PHYSIOLOGY 33: 384–393, 2018.

Energy Constraint as a Novel Mechanism Linking Exercise and Health

Herman Pontzer

- Ihmiset sopeutuvat ylläpitämällä kokonaisenergiankulutusta kapealla alueella
 - Runsas määrä liikuntaa energianrajoituksella voi tukahduttaa kehon fysiologisia toimintoja ja siten energiankulutusta, esim.
 - Immunitettä, lisääntymiskapasiteettia ja stressireaktiota (esim. matala-asteinen tulehdus)
 - Osa vaikutuksia on hyviä, osa huonoja riippuen ilmiön suuruudesta ja yksilöstä
 - Voi selittää miksi liikunta toimii keskimäärin heikosti laihduttajana
 - Mutta yksilöllinen vaihtelu metabolisessa kompensaatiossa?
- MUTTA, teoriaa on myös kritisoitu (Howard ym. 2025)

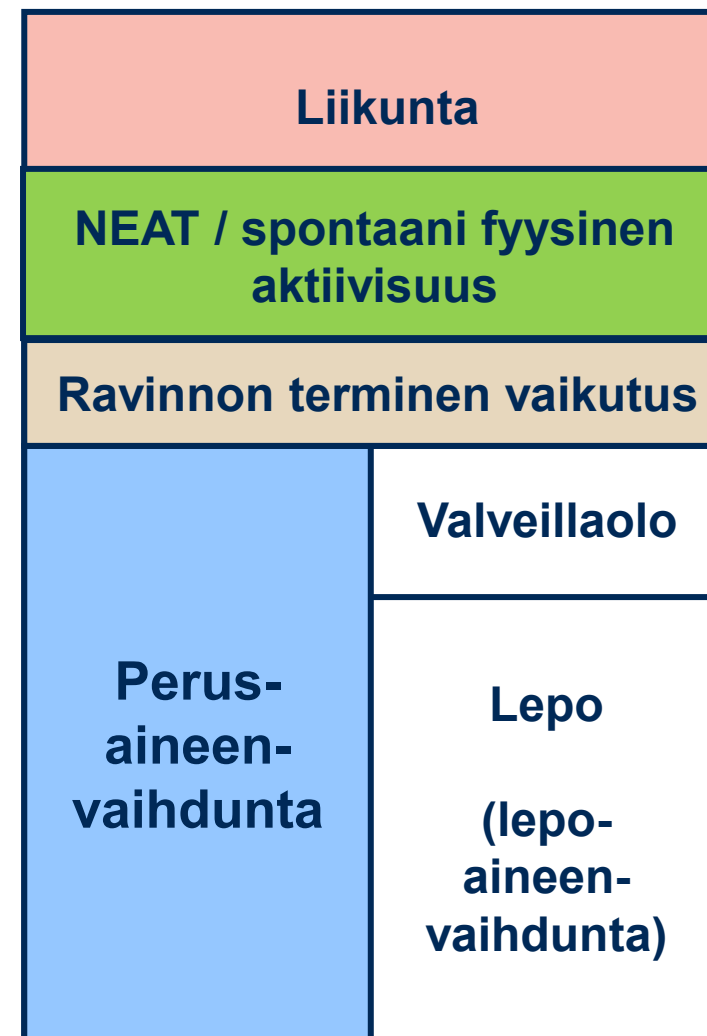




Yhteenveto

- Liikunnan vaikutus rasvanlähtöön ei suuri, mutta mahdollisesti yksilöllinen
 - Fitnessurheilija onnistuu pudottamaan painoa vähäisellä lihaksen ja rasvattoman massan vähentymisellä
 - Suuria, mutta palautuvia muutoksia seerumin hormoneissa ja metaboliassa
 - Osa painonpudotuksen vaikutuksista fysiologiaan liittyy rasvanlähdön suoriin vaikutuksiin ja osa energiavajeeseen
 - Lepoenergiankulutus usein laskee enemmän kuin kudossmassa
- adaptiivinen termogeneesi

Energiarajoituksen vaikutus



Muokattu: [Loeffelholz & Birkenfeld 2022](#)

Kiitos!

Ville



Marianna



Jarkko



Inga



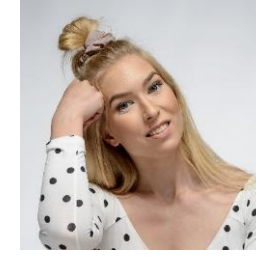
Pirita



Ritva



Vera



Theo



Keijo



Juha



Jari

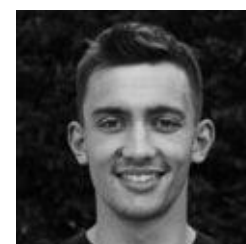


Satu



TUM

Valentin



Karsten



Eija



Kirsi



+

Muut tutkimusyhteistyökumppanit,
opiskelijat, tutkimusapulaiset ja
tutkittavat ja rahoittajat



Heikki



Ida



Markus



Kati



NZ Eric

