

**YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN  
KROONISET ADAPTAATIOT KESTÄVYSSUORITUS-  
KYKYYN JA TALOUDELLISUUTEEN: HARJOITTELU ERI  
PÄIVINÄ TAI SAMASSA HARJOITUKSESSA**

Kaisu Yli-Peltola

Pro-gradu tutkielma  
Valmennus- ja testausoppi  
Kevät 2016  
Liikuntabiologian laitos  
Jyväskylän yliopisto  
Työn ohjaajat:  
professori Keijo Häkkinen  
PhD. Moritz Schumann

## TIIVISTELMÄ

Yli-Peltola, Kaisu. 2016. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun krooniset adaptaatiot kestävyysuorituskykyyn ja taloudellisuuteen: harjoittelu eri päivinä tai samassa harjoituksessa. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin Pro gradu -tutkielma, 69 s.

Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu on yleisesti suuren mielenkiinnon kohteena, koska näiden molempien ominaisuuksien kehittäminen on tärkeää sekä kuntoilun että toimintakyvyn kuin myös kilpaurheilun kannalta. Ominaisuuksien yhtäaikainen harjoittaminen voi tuottaa sekä positiivisia että negatiivisia harjoitusadaptaatioita suorituskykyyn. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn ja taloudellisuuteen, kun näitä ominaisuuksia kuormitettiin samassa harjoituksessa (KV, VK) tai eri päivinä (K + V).

Tutkimuksen 55 aikaisemmin harjoittelematonta ja tervettä miestä jaettiin kolmeen yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun ryhmään, jotka harjoittelivat molempia ominaisuuksia samassa harjoituksessa omalla suoritusjärjestyksellään (KV n=16; VK n=18) tai eri päivinä (K + V n=21) 24 viikon ajan. Kaikkien koehenkilöiden harjoitteluvolyymi oli samanlainen ja kestävyys- ja voimaharjoituksia suoritettiin viikossa 2 – 3 kertaa. Harjoitusadaptaatioita mitattiin harjoitusjakson alussa, puolessavälissä ja sen jälkeen laboratorio-olosuhteissa. Maksimaalista kestävyysuorituskykyä ( $VO_{2max}$ ,  $W_{max}$ , testin loppuaika) ja pyöräilyn taloudellisuutta submaksimaalisten kuormien hapenkulutuksena ( $VO_2$ ) mitattiin suoralla maksimaalisella hapenottokykytestillä pyöräergometrilaitteella. Jalkojen maksimaalista voimaa ja lihasaktiivisuutta mitattiin dynaamisella horisontaalisella jalkaprässillä yhden toiston maksimin (1RM) protokollalla ja submaksimaalisessa voimakuormituksessa (50 % 1RM) pintaelektrodien (sEMG) avulla kerätyn vastuslateralisen (VL) lihasaktiivisuutena.

Kaikki ryhmät paransivat merkitsevästi pyöräergometritestin loppuaikaa ( $p < 0.001$ ), maksimaalista työn määrää ( $W_{max}$ ) ( $p < 0.001$ ) ja maksimaalista hapenottokykyä ( $VO_{2max}$ ) ( $p < 0.05$  –  $p < 0.001$ ) sekä jalkaprässin 1RM tulosta ( $p < 0.001$ ) 24 viikon harjoittelun jälkeen.  $VO_{2max}$  kasvoi loppumittauksissa 18 %:a ryhmällä K + V, joka oli merkitsevästi ( $p < 0.01$ ) enemmän kuin muilla ryhmillä (KV ja VK 7 %). Ainoastaan ryhmän VK hapenkulutus laski kuormilla 125 – 175W (5,2 – 7,4 %) ja ryhmien VK ja K + V välillä havaittiin tilastollista merkitsevyyttä lähestyvä muutos kuormalla 150W. Lihasaktiivisuudessa (VL) ei havaittu suuria muutoksia, vain ryhmällä VK EMG arvot nousivat merkitsevästi väli- ja loppumittauksissa ( $p < 0.05$ ).

Tutkimuksen päälöydöksenä oli, että kaikki harjoitusmuodot toivat merkitseviä adaptaatioita kestävyysuorituskykyyn ja maksimivoimaan, mutta eri päivinä tehtävällä harjoittelulla saatiin aikaan suurin muutos  $VO_{2max}$ :issa. Pyöräilyn taloudellisuus taas kehittyi ainoastaan yhdistetyn harjoittelun suoritusjärjestyksellä voima + kestävyys (VK).

Avainsanat: kestävyysuorituskyky, taloudellisuus, yhdistetty harjoittelu, suoritusjärjestys

## KÄYTETYT LYHENTEET

EMG	lihassähkökäyrä (ts. elektromyografia)
CSA	poikkipinta-ala (cross-sectional area)
K	pelkkä kestävyysharjoittelu
KV	yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu samassa harjoituksessa, järjestyksellä kestävyys + voima
K + V	yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu eri päivinä
RFD	voimantuottonopeus (rate of force development)
VK	yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu samassa harjoituksessa, järjestyksellä voima + kestävyys
V	pelkkä voimaharjoittelu
VO <sub>2</sub>	hapenkulutus (ml/kg/min)
VO <sub>2max</sub>	maksimaalinen hapenottookyky (ml/kg/min)
1RM	yhden toiston maksimi
%VO <sub>2max</sub>	maksimaalisen hapenottoyvyn prosentuaalinen käyttösuhde

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	5
2 YLEISET KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN KROONISET ADAPTAATIOT .....	6
3 YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN KROONISET ADAPTAATIOT .....	12
3.1 Hengitys- ja verenkiertoelimistö .....	12
3.1.1 Kestävyys suorituskyky .....	12
3.1.2 Kardiorespiratorinen taloudellisuus .....	15
3.2 Hermo-lihasjärjestelmä .....	16
3.2.1 Voimantuotto-ominaisuudet .....	17
3.2.2 Neuromuskulaarinen taloudellisuus .....	17
3.3 Neuromuskulaarisen taloudellisuuden vaikutus hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyyn .....	19
4 KESTÄVYYS SUORITUSKYVYN JA LIHASVOIMAN SAMANAIKAINEN KEHITTÄMINEN .....	21
4.1 Ilmeneekö häiritsevyyttä? .....	21
4.2 Kestävyys- ja voimaosiot eri harjoituksissa .....	26
4.3 Kestävyys- ja voimaosiot samassa harjoituksessa .....	29
4.3.1 Harjoituksen suoritusjärjestyksen vaikutus .....	31
4.3.2 Optimaalinen suoritusjärjestys kestävyden kehittymisen kannalta .....	33
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT .....	34
6 MENETELMÄT .....	37
6.1 Koehenkilöt .....	37
6.2 Koeasetelma .....	38
6.3 Mittaukset .....	39
6.3.1 Hengitys- ja verenkiertoelimistö .....	39
6.3.2 Hermo-lihasjärjestelmä .....	40
6.4 Harjoittelu .....	42
6.5 Tilastolliset menetelmät .....	44

7 TULOKSET .....	46
7.1 Kestävyyssuorituskyky .....	46
7.2 Maksimivoima.....	48
7.3 Taloudellisuus .....	49
8 POHDINTA .....	52
8.1. Muutokset kestävyysuorituskyvyssä ja taloudellisuudessa .....	53
8.2 Muutokset voimassa ja lihasaktiivisuudessa.....	55
8.3 Tutkimuksen vahvuuden ja heikkoudet .....	56
8.4 Yhteenveto ja käytännön sovellutukset.....	56
9 LÄHTEET .....	59

# 1 JOHDANTO

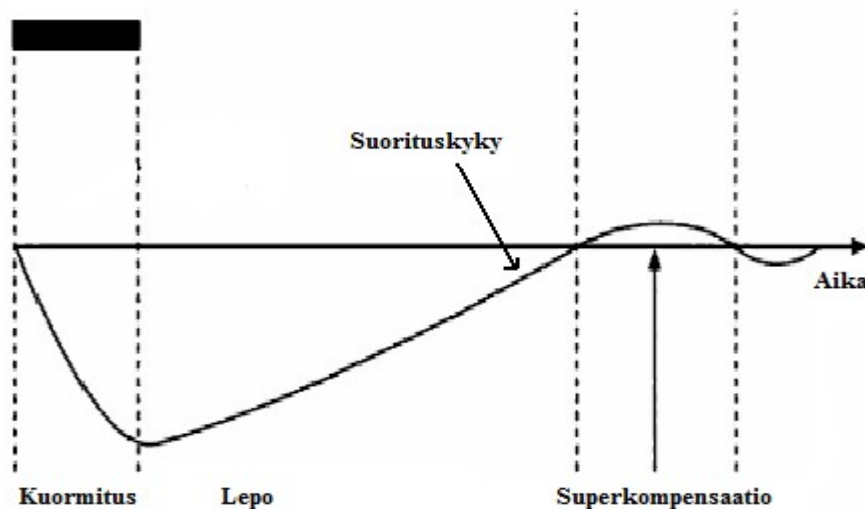
Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu on tällä hetkellä suuren mielenkiinnon kohteena, koska näiden molempien ominaisuuksien kehittäminen on tärkeää sekä kuntoilun että toimintakyvyn kuin myös kilpaurheilun kannalta. Hickson ym. esittivät teoriansa ominaisuuksien yhtäaikaiseen kehittämiseen liittyvästä häiritsevyydestä eli ns. ”interference theoryn” jo vuonna 1980. Molempien ominaisuuksien yhtäaikainen harjoittaminen voi lukuisien tutkimuksien mukaan tuottaa sekä positiivisia että negatiivisia harjoitusvasteita suorituskykyyn. Suurin osa lajisuorituksista ja jokapäiväinen arki kuitenkin vaatii sekä kestävyys- ja voimaominaisuuksia, mutta niiden yhdistäminen voi olla vaikeaa kummankin erilaisuuden takia.

Yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua voidaan toteuttaa harjoitusohjelman sisällä kahdella tapaa eli molempia ominaisuuksia toteutetaan samassa harjoituksessa tai vastaavasti ne tehdään eri päivinä. Samassa harjoituksessa tehdyn yhdistetyn harjoittelun suoritusjärjestykselläkin saattaa olla vaikutusta saavutettuihin harjoitusvasteisiin. Aihepiiriin liittyvän tutkimustiedon vertailussa on siis otettava huomioon tutkimuksien ominaisuus ennen kuin voidaan tehdä lopullisia johtopäätöksiä erilaisten harjoitusmallien sopivuudesta kullekin kohderyhmälle.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla kahta erilaista yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun harjoitusprotokollaa, jossa harjoitusosiot olivat samassa harjoituksessa tai eri päivinä. Koeasetelma mahdollisti myös samassa harjoituksessa tehtävän yhdistetyn harjoittelun suoritusjärjestyksen vaikutuksen tutkimisen aikaisemmin harjoittelemattomilla miehillä. Harjoitusadaptaatioita tarkasteltiin sekä kestävyys- ja suorituskyvyn että kardiorespiratorisen ja neuromuskulaarisen taloudellisuuden näkökulmista.

## 2 YLEISET KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN KROONISET ADAPTAATIOT

Kaikella harjoittelulla tähdätään elimistön kuormittamiseen siten, että kehon homeostaasi eli tasapainotila järkkyyisi. Tämä vaatii harjoittelulta ylikuormittamisen periaatteen toteutumista, jossa harjoitus on suoritettava normaalia korkeammalla teholla. (McArdle ym. 2010, 453.) Harjoituksen jälkeen elimistön suorituskyky laskee akuutisti, mutta optimaalisen palautumisen avulla on mahdollisuus saavuttaa ”suorituskyvyn ylikorjaus” eli superkompensaatio (Kuva 1). Levon aikana keho korjaa itsensä hieman vahvemmaksi, jolloin suorituskyky nousee. (Singh 1981.)



KUVA 1. Kuormitus, lepo ja superkompensaatio (Mukaeltu Zatriorsky & Kraemer 2006, 10).

Kestävyys- ja voimaharjoittelu ovat muodoltaan lähes päinvastaisia. Voimasuoritus sisältää suhteellisen pienen määrän maksimaalisia tai lähellä maksimia olevia lihassupistuksia (Sale ym. 1990), mikä edistää lyhytaikaista anaerobista energiantuottoa ja voimakapasiteettia rekrytoitujen lihassolujen osalta (Laursen ym. 2005). Kestävyysuoritus sen sijaan sisältää suuren määrän submaksimaalisia lihassupistuksia (Sale ym. 1990), mikä kehittää spesifisti harjoitettujen lihassolujen energiakapasiteettia (Laursen ym. 2005). Harjoitusvasteet ovat siis erilaisia kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena ja joskus jopa täysin vastakkaisia. (Sale ym. 1990.)

*Kestävyys.* Kestävyydellä tarkoitetaan väsymisen vastustamiskykyä fyysisen kuormituksen aikana (Keskinen ym. 2010). Tärkeimpiä kestävyysuorituksista ennustavia tekijöitä ovat maksimaalinen hapenottokyky  $VO_{2max}$ ,  $VO_{2max}$ :n prosentuaalinen käyttösuhde ( $\%VO_{2max}$ ) ja suorituksen taloudellisuus. Maksimaalisella hapenottokyvyllä tarkoitetaan suurinta nopeutta, jolla elimistö pystyy kuljettamaan ja hyödyntämään sisään hengitettyä happea kuormituksen aikana.  $VO_{2max}$ :a käytetään yleisesti kuvaamaan hengitys- ja verenkiertoelimistön kapasiteettia sekä sen avulla mitataan kokeellisesti harjoittelun vasteita ja pitkäaikaisadaptaatioita. (Bassett & Howley 2000.)

Optimaalinen kestävyysharjoittelu tuottaa elimistöön adaptaatioita, joiden kautta kestävyysuorituksen kannalta ratkaisevat tekijät paranevat. Kestävyysharjoittelun seurauksena hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta paranevat. Tällöin lihassolujen mitokondrioiden koko ja määrä (Hoppeler 1986), kapillaarien tiheys (hiusverisuonitus) sekä entsyymien aktiivisuus lisääntyvät, jolloin mitokondrioiden hapellinen energia-aineenvaihdunta (ATP, adenosiniinifosfaatti) tehostuu (Bassett & Howley 2000, Hawley 2002). Kestävyysharjoittelu myös lisää lipolyysiä eli rasvahappojen hapettumista energiantuotantoa varten levossa sekä submaksimaalisessa kuormituksessa. Myös hiilihydraattimetabolia tehostuu maksimaalisessa kuormituksessa (McArdle ym 2010, 459 - 460.)

*Taloudellisuus.* Liikkumisen taloudellisuus kuvaa tietyn harjoituksen ja sen intensiteetin, esimerkiksi juoksunopeuden tai tehon metabolisia vaatimuksia. Taloudellisuus on sitä parempi, mitä vähemmän tarvitaan happea suorituksen toteuttamiseen ja ylläpitämiseen ja täten myös metabolinen lämmöntuotto on pienempi. (Laursen ym. 2005.) Mekaaninen hyötysuhteen avulla on esimerkiksi mahdollista tarkastella taloudellisuutta. Tämä lasketaan kaavalla:

$$\text{mekaaninen hyötysuhde (\%)} = \text{tuotettu mekaaninen työ} : \text{energianluku} \times 100 \%$$

Ihmiskehossa mekaaninen hyötysuhde ei kuitenkaan koskaan saavuta lähellekään 100 %:a, vaan tutkimuksien mukaan se on kävellessä, juostessa ja paikallaan pyöräillessä 20 – 25 %. Mekaanisen hyötysuhteen arvioimiseen käytetään yleensä kilokaloreita (kcal). Yksilön mekaaniseen hyötysuhteeseen vaikuttavat kehon koko, sukupuoli, kuntotaso ja



taidot. (McArdle ym. 2010, 208.) Taloudellisuus voikin vaihdella esim. hyvin harjoitteleiden kilpapyöräilijöiden ryhmässä jopa 15 % korreloiden tyyppin 1 lihassolujen prosentuaaliseen osuuteen. Tutkijoiden mukaan erot pyöräilytekniikassa eivät selitä tätä vaihtelua kilpapyöräilijöiden ryhmässä. (Coyle ym. 1991 & 1992).

*Kestävyysharjoittelu ja taloudellisuus.* Kestävyysharjoittelu parantaa aikaisemmin harjoittelemattomien koehenkilöiden taloudellisuutta (Hintzy ym. 2005). Hintzyn ym (2005) tutkimuksessa yhdeksän aikaisemmin harjoittelematonta nais-koehenkilöä paransivat pyöräilyn taloudellisuuttaan 6 viikon kestävyysharjoittelulla merkitsevästi, jolloin kokonaishyötysuhde parani 11,1 % ja nettohyötysuhde 9,1 %. Tutkijoiden mukaan kehityksen taustalla olivat pyöräilytekniikan ja lihaskoordinaation kehittyminen sekä saman työn tuottamiseen tarvittavan suhteellisen energiankulutuksen ( % VO<sub>2</sub>) selvä väheneminen.

Hopkerin ym. (2009) mukaan pyöräilyä tutkittaessa harjoittelulla ei ole yleensä ollut kuitenkaan yhteyttä taloudellisuuteen, koska tutkimuksissa on vertailtu poikittaisasetelmalla eri harjoitustaustaisia henkilöitä. Tällöin ei voida suoraan tehdä johtopäätöksiä harjoitusvaikutuksista (Hintzy ym. 2005). Lisäksi tutkimuksien toteuttamistavat eivät ole olleet tarkoituksenmukaisia (ryhmäkoot, kuormitusten kesto ja intensiteetti, biomekaanisten tekijöiden vakiointi), jotta vaikutuksia taloudellisuuteen voitaisiin havaita. Tuoreimman tiedon mukaan harjoittelulla – erityisesti korkean intensiteetin – on kuitenkin mahdollista parantaa pyöräilyn taloudellisuutta (kokonaishyötysuhde, GE). Potentiaalisia mekanismeja tämän muutoksen takana ovat mahdollisesti lihassolutyypin muutos, lihasten sisäinen aerobinen entsyymikapasiteetti ja oksidatiiviseen fosforylaatioon vaikuttavien eri proteiinien (PGC1  $\alpha$ , ANT, UCP3) määrä lihassoluissa. (Hopker ym. 2009.)

*Voima.* Voimaharjoittelun tarkoituksena on lisätä hermo-lihasjärjestelmän voimantuotokapasiteettia. Ensimmäisten kahden tai neljän viikon aikana voiman nopea kehittyminen on osoitettu olevan suurimmaksi osaksi seurausta hermostollisista adaptaatioista harjoitteluun (Moritani & DeVries 1979, Häkkinen & Komi 1983). Tarkat mekanismit tämän taustalla ovat vielä epäselviä, mutta on ehdotettu, että lisääntynyt hermostollinen ohjaus aiheuttaa muutoksia motoristen yksikköjen käyttäytymisessä siten, että voiman

kasvun taustalla ei ole ainoastaan yksi mekanismi, vaan että adaptaatioiden taustalla on sekä supraspinaalinen ja spinaalinen taso. (Folland & Williams 2007.)

Alun hermostollisten adaptaatioiden jälkeen tärkeään rooliin voiman kehittymisen taustalla nousevat morfologiset tekijät, kuten 2 tyypin lihassolujen hypertrofia eli lihasmassan kasvu, lihassolun pennaatiokulman kasvaminen ja radiologinen tiheys. Lihassolujen hypertrofia on todetusti yksi tärkeimmistä muuttujista. Lyhemmille harjoitusjaksoilla (6 – 10 viikkoa) hypertrofiaa on esiintynyt ainoastaan 2 tyypin lihassoluissa, mutta pidemmällä interventioilla on mahdollisuus saada muutoksia myös 1 tyypin lihassoluihin. (Häkkinen ym. 1981, Folland & Williams 2007.)

Voimaharjoittelun ei ole yleensä osoitettu kehittävän hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyä tai harjoituskynnyksiä (Loveless ym. 2005). Minahanin ja Woodin (2008) mukaan aikaisemmin harjoittelemattomien miesten on kuitenkin mahdollista pitkittää pyöräilyn supramaksimaalista väsymystä 8 viikon voimaharjoittelulla. Lihasväsymyksen pitkittymisen taustalla voi olla lihasten hapellisen metabolian lisääntyminen maksimaalisessa pyöräilysuorituksessa, jolloin substraattien fosforylaation tarve ja solutason homeostasian häiriöt vähenevät.

*Voimaharjoittelu ja taloudellisuus.* Taloudellisuutta voidaan mitata myös hermo- lihasjärjestelmän näkökulmasta, jolloin tarkastellaan EMG-elektrodien avulla lihasaktiivisuutta työtä tekevissä lihaksissa. Voimaharjoittelun seurauksena voidaan mahdollisesti vaikuttaa liikkumisen taloudellisuuteen, koska vahvemmat yksilöt voivat suorittaa aerobisen työn prosentuaalisesti alhaisemmilla voimatasoilla. Tällöin rekrytoidaan vähemmän nopeita, tyypin 2 lihassoluja ja enemmän oksidatiivisia hitaita, tyypin 1 lihassoluja. Näin ollen energian tuottamiseen käytetään pääosin oksidatiivista metaboliaa, mikä ehkäisee väsymistä ja on taloudellisempaa. (Johnston ym. 1997, Mikkola ym. 2007a, Cadore ym. 2011c).

Cadoren ym. (2011a, 2011b, 2011c) tulokset osoittavat EMG aktiivisuuden laskeneen submaksimaalisessa pyöräilysuorituksessa ja submaksimaalisessa isometrisessä voimakuormituksessa, kun koehenkilöinä olivat iäkkäämmät ( $65 \pm 4$  v.) miehet. Pyöräilysuorituksessa lihasaktiivisuuden väheneminen eli neuromuskulaarinen taloudellisuus parani

myös pelkällä voimaharjoittelulla, mutta adaptaatiot olivat suurempia kestävyysharjoitelleilla ryhmillä (K, KV). Submaksimaalisessa isometrisessä voimakuormituksessa lihasaktiivisuuden vähenemistä oli kuitenkin havaittavissa ainoastaan pelkän voimaharjoittelun seurauksena. Tutkijat ehdottavat koehenkilöiden rekrytoineen suorituksissa vähemmän motorisia yksikköjä, mikä on taloudellisempaa hermo-lihasjärjestelmän kannalta. Lisäksi negatiivinen korrelaatio submaksimaalisen pyöräilysuorituksen lihasaktiivisuuden ja voimamuuttujien (maksimivoima, RFD) välillä osoittaa, että vahvemmat miehet ovat neuromuskulaarisella tasolla taloudellisempia, koska alhaisemman syttymiskynnyksen motorisia yksikköjä rekrytoidaan saman kuorman saavuttamiseksi, jolloin EMG aktiivisuus vähenee. (Cadore ym. 2011a, 2011b, 2011c.)

Heggelund ym. (2013) mukaan yksilönsisäisellä tutkimusasetelmalla (intra-individual) maksimaalinen voimaharjoittelu paransi taloudellisuutta (30 %), maksimivoimaa (50 %) ja RFD:tä (155 %) enemmän kuin tavanomainen voimaharjoittelu (17 %, 35 %, 83%) ilman muutoksia kestävyysuorituskyvyssä. Taloudellisuus mitattiin hapenkulutuksen muutoksina yhden jalan pyöräergometrikuormituksessa. Tutkijoiden mukaan suorituksen taloudellisuuden parantamiseen sopii siis parhaiten sellainen voimaharjoittelu, joka kehittää voimantuottonopeutta ja maksimivoimaa. Lisäksi suorituksen nopeus näyttäisi olevan yksi tekijä tutkimuksessa saaduille eroille. Näiden johtopäätösten linjassa myös Loveless ym. (2005) paransivat 8 viikon maksimaalisella jalkoihin kohdistuvalla voimaharjoittelulla aikaisemmin harjoittelemattomien koehenkilöiden pyöräilyn taloudellisuutta, maksimivoimaa ja pyöräilyn maksimitehoa.

Taloudellisuuden tutkimiseksi koehenkilöt tekivät neljä kertaa seitsemän minuutin tasavauhtisen pyörätestin eri intensiteeteillä maksimaalisesta pyörätestistä analysoidun anaerobisen kynnyksen molemmin puolin (30 %, 60 %, 90 % ja 120 %). Näistä testeistä taloudellisuus analysoitiin hapenkulutuksen ja työn tehon muutosten suhteen eri intensiteettien välillä. Tutkijoiden mukaan taloudellisuuden parantumisen taustalla voisi olla nopeiden lihassolujen alhaisempi aktivoiminen korkeammilla intensiteeteillä harjoittelun seurauksena. Tutkimuksen ensimmäisen neljän viikon harjoittelun seurauksena esiintyi myös hypertrofiaa, mutta muutoksia ei havaittu enää toisella neljän viikon jaksolla. Tämä voisi osoittaa voiman ja taloudellisuuden parantumisen johtuneen neuraalisista adaptaatioista. Pyöräilyn aikana lihas-jänne-kompleksin liikkeiden pituus ja nopeus

on melko pakotettua, joten alaraajojen lihasvoiman lisääntyminen ei luultavasti muuta pyöräilyn biomekaniikkaa. Näin ollen voidaan päätellä, että voiman lisääntyminen yksin ei selitä taloudellisuuden parantumista. Tätä oletusta tukevat myös tavanomaisemmalla voimaharjoittelulla (hitaat liikkeet, toistot yli 8) toteutetut tutkimukset, joissa on saatu aikaan voiman kehittymistä ilman taloudellisuuden parantumista. (Loveless ym. 2005.)

## **3 YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN KROONISET ADAPTAATIOT**

### **3.1 Hengitys- ja verenkiertoelimistö**

Hengityselimistöllä tarkoitetaan keuhkojen, hengitysteiden ja hengityselimistöjen muodostama kokonaisuutta, minkä tehtävänä on huolehtia keuhkotuuletuksesta ja kaasujen vaihdosta keuhkojen ja veren välillä. Sydän, veri ja verisuonisto muodostavat verenkiertoelimistön, jonka tehtävänä on veren kierrättäminen sydämen, kudosten ja keuhkojen välillä. Hengitys- ja verenkiertoelimistön yhteistoiminnan tavoitteena on huolehtia hapen ja hiilidioksidin tehokkaasta kuljettamisesta verenkiertoelimistössä. (Mero ym. 2007, 73.)

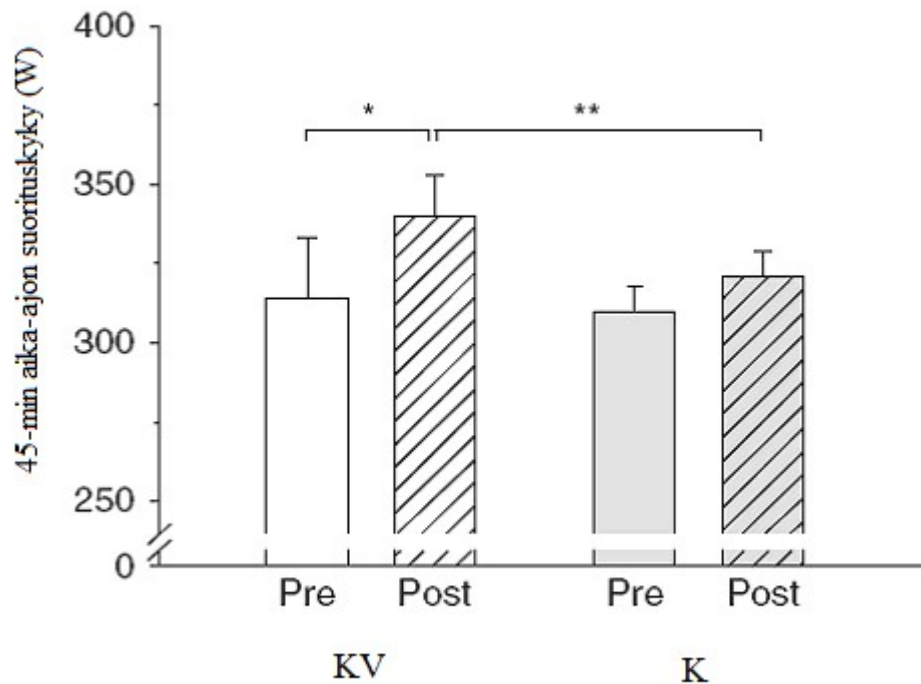
Yksi harjoitus aiheuttaa elimistöön akuutteja vasteita, kuten muutoksia verenkiertojärjestelmässä, kun sydämen toiminnan tehostuessa ja perifeerisen vastuksen vähentyessä, iskutilavuus kasvaa ja syke nousee. (McCartney 1999). Toistettujen harjoitusten jälkeen akuutit vasteet taas kumuloituvat kroonisiksi adaptaatioiksi, jolloin on mahdollista huomata suorituskyvyn kehittymistä. Krooniset adaptaatiot siis ovat seurausta pitkäaikaisesta harjoittelusta ja ne säilyvät pitkäaikaisina muutoksina lihassolujen toiminnassa ja rakenteessa. (Hawley 2002.)

#### **3.1.1 Kestävyys- ja voimaharjoittelun suorituskyky**

Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tai voimaharjoittelun lisäämisen kestävyys- ja voimaharjoittelun rinnalle on todettu olevan yhtä tehokasta kuin pelkkä kestävyys- ja voimaharjoittelu (Hickson ym., 1980, 1988; Hoff ym. 1999, 2002; Aagaard ym. 2011, Marcinik ym. 1991, Psilander ym. 2015 jne.) ja useissa tapauksissa myös tehokkaampaa (Vikmoen ym. 2016, Ferketich ym. 1998, Østerås ym. 2002, Rønnestad ym. 2010, Støren ym. 2008). Tutkimuksissa on osoitettu voimaharjoittelun parantavan sekä lyhyt- (Hickson ym., 1980, 1988; Hoff ym. 1999, 2002; Støren ym. 2008, Paton & Hopkins 2005, Østerås ym. 2002) että pitkäkestoista (Vikmoen ym. 2016; Hickson ym. 1980, 1988; Mar-



lisääntyminen) kanssa. Tyypin 2a lihassolut eivät väsy yhtä nopeasti, mutta pystyvät tuottamaan supistusvoimaa yhtä hyvin kuin tyypin 2X lihassolut (Bottinelli ym. 1999).



KUVA 2. Pitkäaikainen kestävyysuorituskyky (W) 45 minuutin aika-ajossa eliittipyöräilijöillä ennen ja jälkeen 16 viikon harjoitusjakson: yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu (VK) ja pelkkä kestävyysharjoittelu (K). pre = alkumittaus, post = loppumittaus. (mukaeltu Aagaard ym. 2010)

Koska hypertrofiaa Aagaardin ym. (2011) tutkimuksessa ei ilmennyt, ovat tulokset seurausta hermoston adaptaatioista: motoristen yksiköiden maksimaalisen syttymistiheyden parantuminen ja spinaalisten alfa-motoneuronien synaptisen inhibition vastustaminen tai/ja väheneminen. RFD:n kehittyminen ehkä myös mahdollistaa lihaksen pitkittyneen relaksaatiovaiheen estämättä veren virtausta (Hoff ym. 1999), jolloin myös verenvirtauksen dynamiikka voi olla ratkaiseva tekijä Aagaardin ym. (2011) saamissa tuloksissa. Vikmoen ym. (2016) kuitenkin osoittivat pitkäaikaisessa pyöräilyuorituksessa tuotetun voiman korreloivan reisilihaksen poikkipinta-alan (CSA), jolloin pitkäkestoisesta kestävyysuorituskyvyn kehittymisen taustalla vaikutti myös hypertrofia lihasvoiman lisääntymisen ohella. Lihaksen hypertrofian seurauksena on mahdollista aktivoida suurempi määrä lihasmassaa ja aktivoida näin enemmän mitokondrioita, jolloin suorituksessa pystyy hyödyntämään korkeampaa  $VO_{2max}$ :n käyttösuhdetta. Tämän määrittää pääosin aerobisten entsyymien määrä ja mitokondrioiden tarve tietyn  $VO_2$  jakamiseen. Jos

aerobisten entsyymien määrä työskentelevässä lihaksessa ei kasva, niiden kokonaismäärän tulee lisääntyä tietyn tehon saavuttamiseen. Tämä voi mahdollistaa kasvaneen työtehon ylläpitämisen ilman, että mitokondrioiden suhteellinen kuormitus muuttuu, mikä vuorostaan auttaa hyödyntämään korkeampaa  $VO_{2max}$ :n käyttösuhdetta. (Vikmoen ym. 2016.)

Voimaharjoittelun on todettu vahvistavan mitokondrioiden biogeneesin signaalivastetta kasvattamalla oksidatiiviseen fosforylaatioon vaikuttavan proteiinin PGC1  $\alpha$  määrän kaksinkertaiseksi (Wang ym. 2011). Tämän perusteella Psilander ym. (2015) oletivat kestävyysharjoituksen perään liitetyn jalkaprässikuormituksen (KV) edistävän kestävyysharjoittelun lihasadaptaatioita. Näin ei kuitenkaan käynyt, vaan ainoastaan kestävyysharjoitteluryhmällä (K) lihaksen oksidatiivisen kapasiteetin markerit lisääntyivät.

### 3.1.2 Kardiorespiratorinen taloudellisuus

Hengitys- ja verenkiertoelimistön taloudellisuus on sitä parempi, mitä vähemmän saman työn suorittamiseen tarvitaan energiaa eli toisin sanoen hapenkulutus ( $VO_2$ ) on vähäisempää (Laurson ym. 2005). Harjoittelun vaikutusta hengitys- ja verenkiertoelimistön taloudellisuuteen voidaan tarkastella vertailemalla hapenkulutusta samoilla kuormilla ennen ja jälkeen harjoitusjakson. Vähentyneen hapenkulutuksen kautta on mahdollista liikkua suuremmalla nopeudella tai liikkua pidempään tietyllä nopeudella - näin ollen suorituskyky on myös parantunut (Johnston ym. 1997).

Vikmoen ym. (2016) tutkimuksessa hyvin harjoitelleiden ( $\geq 4$  aerobista harjoitusta viikossa, ei systemaattista voimaharjoittelua) naispyöräilijöiden hapenkulutus väheni nopeavassa pyöräergometrikuormituksessa 150 W:n kuormalla 3,5 % 11 viikon harjoitusjakson jälkeen, kun raskasta voimaharjoittelua lisättiin kestävyysharjoittelun rinnalle (K + V). Ero oli merkitsevästi ( $p = 0,004$ ) suurempi kuin pelkällä kestävyysharjoitteluryhmällä. Hapenkulutuksen muutos korreloi myös reisilihaksen poikkipinta-alan (CSA) kasvun kanssa, minkä mukaan parantunut pyöräilyn taloudellisuus oli yhteydessä reisilihaksen kasvuun. Myös Barrett-O'Keefe ym. (2012) osoittivat kestävyysharjoittelun rinnalle lisätyn 8 viikon maksimivoimaharjoittelun vähentävän hapenkulutusta submaksimaalisella kuormalla (n. 60 %  $VO_{2max}$ ) harjoitelleilla pyöräilijöillä, mikä oli



seurausta työtä tekevien lihasten hyötysuhteen parantumisesta. Myös työtä tekevien lihasten verenvirtaus väheni ja a-vO<sub>2</sub> ero (valtimo- ja laskimoveren välinen happiero) pysyi muuttumattomana mikä tarkoittaisi suorituksen metabolisten vaatimusten vähenemistä voimaharjoittelun seurauksena.

Psilander ym. (2016) tulokset ovat kuitenkin erilaisia, sillä kestävyysharjoitukseen yhdistetty (KV) jalkaprässikuormitus miespyöräilijöillä (harjoittelua n. 7h/vko) ei tuottanut parannuksia pyöräilyn taloudellisuuteen (W/ml O<sub>2</sub>). Näihin tuloksiin saattoivat vaikuttaa harjoitusjakson lyhyys, alhainen harjoitteluintensiteetti ja varsinkin voiman harjoittaminen välittömästi kestävyysharjoituksen perään.

Em. tutkimuksien lisäksi hyvin harvoissa tutkimuksissa on esitetty taloudellisuuden muutoksia hapenkulutuksen muutoksina eri intensiteeteillä. Epäsuoria päätelmiä taloudellisuudesta voidaan tehdä kuitenkin esimerkiksi sykkeen, laktaatin ja harjoituskynnyksien tehojen avulla. Izquierdo ym. (2004a, 2004b) tutkimuksessa maksimaalisen pyörätestin sykkeet laskivat keski-ikäisillä miehillä kuormilla 150 ja 180 W kestävyysharjoitelleilla ryhmillä (K ja K + V) sekä ikääntyneillä miehillä kuormilla 90, 120 ja 150 W merkitsevästi lähes kaikilla ryhmillä (K, V, K + V). Samoissa tutkimuksissa koehenkilöiden 4 mmol/l laktaattia vastaava teho kasvoi merkitsevästi 16 viikon harjoittelun jälkeen molemmilla ikäryhmillä ilman merkitseviä eroja harjoitusryhmien välillä kummassakaan tutkimuksessa. Ikääntyneiden ryhmässä esimerkiksi tehot kasvoivat 7, 11 ja 15 % ryhmillä V, K ja K + V. Myös Cadoren ym. (2011c) tutkimuksessa 61 – 70 -vuotiaat miehet pystyivät polkemaan maksimaalisessa pyörätestissä suuremmilla tehoilla harjoitusjakson jälkeen: molemmat kestävyysharjoitelleet ryhmät K ja VK kehittyivät anaerobisella kynnyksellä (2. ventilatory threshold) 22,1 ja 21,2 %, mutta ainoastaan ryhmässä VK oli havaittavissa merkitsevä (26,9 %) muutos aerobisella kynnyksellä (1 ventilatory threshold).

### **3.2 Hermo-lihasjärjestelmä**

Hermosto-lihasjärjestelmä on laaja kokonaisuus, johon kuuluvat hermosto, lihaksisto, jänteet, sidekudokset ja luut. Hermosto-lihasjärjestelmä on koneisto, jonka avulla voiman tuottaminen ja liikkuminen on mahdollista. (Mero ym. 2007, 37.)

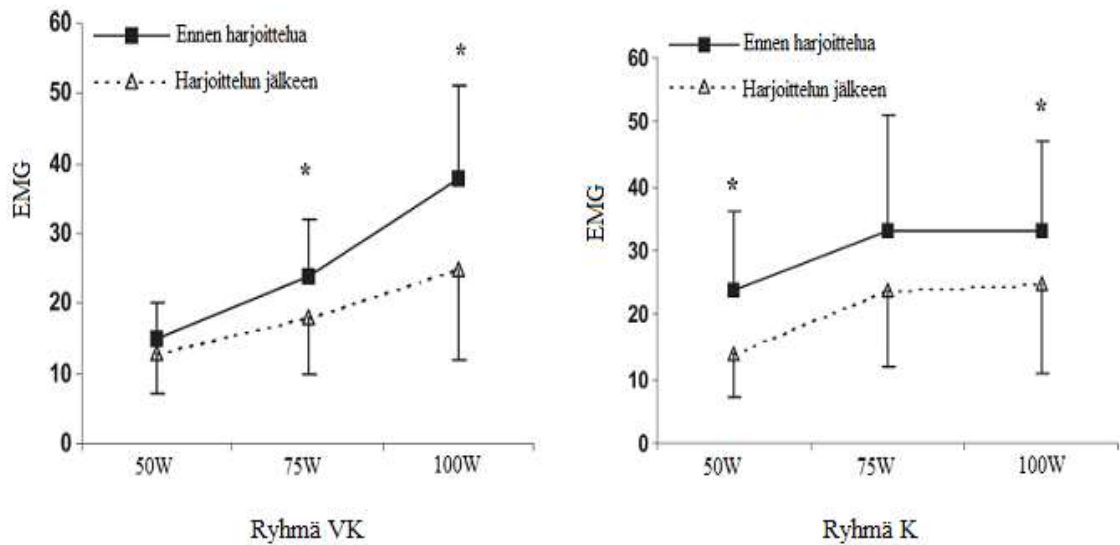
### 3.2.1 Voimantuotto-ominaisuudet

Hermo-lihasjärjestelmän kuormittamisen eli voimaharjoittelun seurauksena esiintyy hypertrofiaa sekä hermostollisia muutoksia (Moritani & DeVries 1979, Häkkinen & Komi 1983, Folland & Williams 2007). Voimaominaisuuksien kehittäminen voimaharjoittelun avulla on kuitenkin osoitettu olevan mahdollista ilman hypertrofiaakin (Hickson ym. 1988, Bishop ym. 1999, Aagaard ym. 2011). Tämä on kiinnostavaa urheilijoiden kannalta, koska heille hypertrofia ja kehon massan lisääntyminen olisi epäedullista suorituskyvyn kannalta varsinkin lajeissa, joissa on toimittava painovoimaa vastaan (kuten juoksu ja pyöräily ylämäkeen) (Aagaard ym. 2011).

Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu voi periaatteessa joissakin tapauksissa saada aikaa samanlaisia mutta ei välttämättä samansuuruisia muutoksia hermo-lihasjärjestelmässä kuin pelkkä voimaharjoittelukin. Myöhemmissä kappaleissa kuitenkin käsitellään vielä sitä, vaikuttaako yhdistetty harjoittelu saatujen parannuksien suuruuteen tai onko suoritusjärjestyksellä vaikutusta.

### 3.2.2 Neuromuskulaarinen taloudellisuus

Cadore ym. (2011a) tutki yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vasteita kestävyteen ja pyöräilyn neuromuskulaariseen taloudellisuuteen vanhemmilla miehillä (61 - 70 v.). Tulokset osoittavat yhdistetyn harjoittelun parantavan kestävyys- ja pyöräilyssä suorituskykyä sekä pyöräilyn taloudellisuutta samassa määrin kuin pelkkä kestävyys- ja pyöräilyharjoittelu. Taloudellisuutta mitattiin pyöräilyn submaksimaalisten kuormien (50, 75, 100 W) lihasaktiivisuutena (EMG) ulommasta ja suorasta (pitkä pää) reisilihaksesta, kaksipäisestä reisilihaksesta ja ulommasta pohjelihaksesta (Kuva 3).



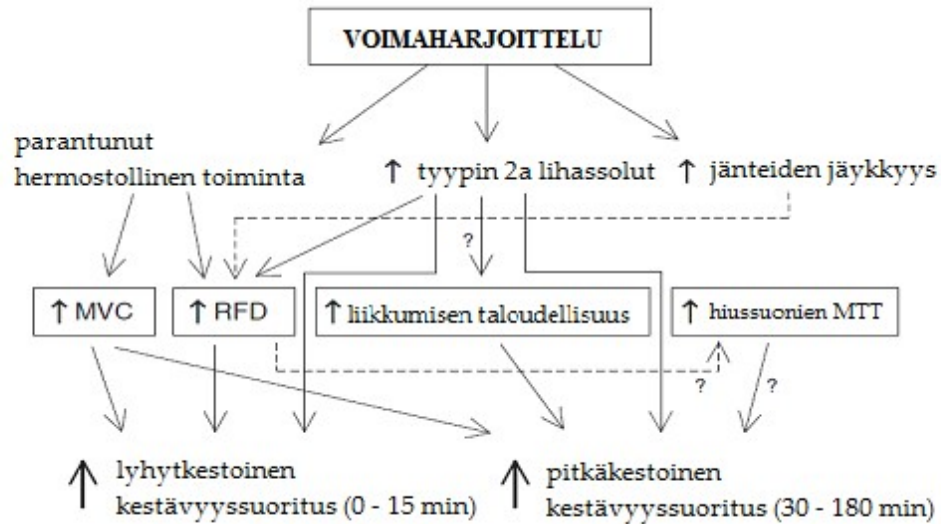
KUVA 3. Rectus femoriksen lihasaktiivisuus (normalisoitu EMG) eri kuormilla polkupyöräergometritestin aikana ennen harjoitusjaksoa ja sen jälkeen yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoitteluryhmällä (VK) ja kestävyysryhmällä (K). \*Merkitsevä ero alkumittaukseen nähden. (muokattu Cadore ym. 2011a).

Harjoittelun seurauksena havaittiin merkitsevä lihasaktiivisuuden (EMG) väheneminen suorassa reisilihaksessa ryhmillä K ja VK kuormilla 50, 75 ja 100 W (Kuva 3.) sekä kaikilla ryhmillä (K, V, VK) uloimmaisessa reisilihaksessa kuormalla 100 W. Selvimät erot oli havaittavissa kestävyysharjoitelleilla ryhmillä ja voimaharjoittelu toi vasteita vain yhdessä lihaksessa ja yhdellä kuormalla. Luultavasti maksimaalisen aerobisen tehon kehittyessä submaksimaalisten kuormien suhteellinen intensiteetti väheni harjoittelun seurauksena, jolloin tietyn työn tuottaminen vaatii vähäisempää lihasten motoristen yksikköjen rekrytoimista laskien suhteellista lihasaktiivisuutta. Nämä tulokset antavat ymmärtää, että liikkumisen taloudellisuuden parantuminen harjoittelun seurauksena ilmenee lähinnä perifeerisellä tasolla. Mahdollista on myös oksidatiivisten tyypin 1 lihassolujen ensisijainen rekrytoiminen myös kovemmassa kuormituksessa, jolloin hyödynnetään enemmän hapellista ja taloudellisempaa energiantuottoa. (Cadore ym. 2011a).

### 3.3 Neuromuskulaarisen taloudellisuuden vaikutus hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyyn

Sunden ym. (2010) mukaan pyöräilijöiden on mahdollista parantaa kestävyysharjoittelun rinnalle lisätyn maksimivoimaharjoittelun avulla pyöräilyn taloudellisuutta ja tehokkuutta sekä pitkittää uupumusta maksimaalisen aerobisen tehon pyöräilyssä. Pyöräilijät paransivat sekä absoluuttista että painoon suhteutettua taloudellisuuttaan 8 viikon harjoittelujakson jälkeen. Tutkijoiden mukaan tulosten taustalla ovat positiiviset hermostolliset adaptaatiot. Kuitenkin hypertrofiallakin saattaa olla pieni vaikutus, mutta tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu kehon koostumusta.

Tulokset Sunden ym. (2010) tutkimuksessa osoittivat merkittävän yhteyden alkumittausten kyykkytestin voimantuottonopeuden (RFD) ja pyöräilyn taloudellisuuden välillä, mutta loppumittauksissa samaa yhteyttä ei ollut nähtävissä. Loppumittauksissa taas parantuneella kyykkytestin RFD:llä ja väsymyksen pitkittymisellä oli vahva korrelaatio. Jos siis kyykyn RFD:llä ja pyöräilyssä käytettävien lihaksien supistumisajalla on yhteys, odotettavissa on lyhempi supistumisaika ja pidempi lihasten relaksaatiovaihe. Relaksaatiovaiheen piteneminen vähentää supistuksen aiheuttamaa lihaksen okklusiota, mikä parantaa verenvirtausta. Näin ollen veren keskimääräinen kuljetusaika (MTT, mean transit time) pitenee tietyllä poljinfrekvenssillä, jolloin hapen ja substraattien pääsy työskenteleviin lihaksiin paranee, koska sydäimestä tuleva veri virtaa lähes kokonaan supistuksien välisenä aikana (Shoemaker ym. 1994, Aagaard & Andersen 2010) ja keskimääräisen kuljetusajan on osoitettu korreloivan kudoksiin jäävän hapen määrän kanssa (Saltin 1985) (Kuva 4.). Lisäksi MTT:n piteneminen voi edistää supistuvien lihassolujen tuottamien metaboliittien poistumista, joka voi parantaa pitkäkestoista kestävyysuorituskykyä (Aagaard & Andersen 2010). Myös Støren ym. (2008) ovat saaneet hyvin harjoitelleilla pitkän matkan kestävyysjuoksijoilla samankaltaisen parannuksen juoksun taloudellisuudessa maksimivoimaharjoittelun seurauksena ilman muutoksia  $VO_{2max}$ :ssa.



KUVA 4. Mekanismit, joiden avulla kestävyys harjoittelun rinnalle lisätty voimaharjoittelu saattaa kehittää kestävyttä hyvin harjoitella kestävyysurheilijoilla. MVC = maksimivoima, RFD = voimantuoton nopeus ( $\Delta$ voima/ $\Delta$ aika), MTT = keskimääräinen kuljetusaika, taloudellisuus =  $VO_2$  muutos samalla kuormalla, yhtenäiset viivat kuvaavat stimuloivaa vaikutusta ja katkoviivat mahdollista yhteyttä muuttujien välillä. (muokattu Aagaard ym. 2010).

Kiensin ym. (1993) mukaan keskimääräisen kuljetusajan pidentyminen edesauttaisi myös kohtuullisen suurikokoisten vapaiden rasvahappojen diffuusiota lihassoluihin. Tämän seurauksena lihasten glykogeenivarastojen käyttäminen vähentyisi ja väsyminen pitkittyisi. Lihasväsymyksen on osoitettu johtuvan myös supraspinaalisesta ja spinaalisesta tasosta, joten lihastason perifeeristen tekijöiden lisäksi väsymykseen vaikuttaa myös keskushermoston kyky sytyttää motoneuroneja (Gandevia 2001). Odotettavissa on siis, että lihaksen väsyminen ja täten uupumus tietyn intensiteetin työssä pitkittyy, jos saman työn tuottamiseksi tarvitsee rekrytoida vähemmän motorisia yksikköjä yhtäaikaaisesti (Hoff ym. 2002). Sunden ym. (2010) ehdottavat, että väsymyksen pitkittyminen heidän tutkimuksessaan on seurausta parantuneesta taloudellisuudesta. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että taloudellisuuden parantuminen yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun jälkeen on seurausta voimaharjoittelun aiheuttamista adaptaatioista.

## 4 KESTÄVYYSSUORITUSKYVYN JA LIHASVOIMAN SAMANAIKAINEN KEHITTÄMINEN

### 4.1 Ilmeneekö häiritsevyyttä?

Useat tutkimukset ovat yrittäneet osoittaa, onko kestävyys- ja voimaominaisuuksien yhtäaikaisella harjoittelemisella heikentävä vaikutus ominaisuuksien kehittymiseen (Hickson ym. 1980, Häkkinen ym. 2003, Valizadeh ym. 2010, McCarthy ym. 1995, Chtara ym. 2005, Collins & Snow 1993, Cadore ym. 2011, Nelson ym. 1990, Ferketich ym. 1998, Wood ym. 2001, Bell ym. 2000 jne.). Tutkimuksien tulokset eivät noudata täysin yhtenäistä linjaa, vaan johtopäätelmien mukaan: a) kestävyysharjoittelu voi heikentää voimaominaisuuksien kehittymistä hyvin pitkällä harjoitusjaksolla, b) voimaharjoittelulla voi olla positiivinen vaikutus kestävyysominaisuuksien kehittymiseen tai c) yhdistetyn harjoittelun adaptaatiot eivät eroa adaptaatioista, jotka saavutetaan vain toista ominaisuutta kehittäväällä harjoittelulla. Tässä kappaleessa on tarkoitus selvittää, häiritseekö kestävyys- ja voimaominaisuuksien yhtäaikainen harjoittelu ominaisuuksien kehittymistä.

Brunetin ym. (2008) mukaan yhdistetyssä harjoittelussa ensimmäisen harjoitusosion aiheuttama väsymys toiseen harjoitusosioon ja täten toisen harjoitusosion ominaisuuksien kehittymisen heikentyminen selittyy kahden hypoteesin avulla: a) akuutti hypoteesi eli harjoituksen välittömät vaikutukset, sekä b) krooninen hypoteesi eli systemaattisen harjoittelun aiheuttama kehittymisen kompensoituminen. Perifeeriset väsymyksen tekijät, kuten lihasvauriot ja glykogeenin loppuminen on yhdistetty mahdollisiksi mekanismeiksi akuutin hypoteesin taustalla (Leveritt ym. 1999). Kroonisen hypoteesin mukaan yhdistetty harjoittelu voi aiheuttaa ylirasitusta ja ylikuntoa stimuloiden kilpailevia adaptaatioita pidemmän harjoitusjakson aikana, kun lihakset eivät pysty sopeutumaan metabolisesti tai morfologisesti molempiin harjoitusmuotoihin yhtäaikaisesti (Leveritt ym. 1999). Ylirasituksen aiheuttajiksi nähdään yleensä korkean intensiteetin, volyymin ja frekvenssin harjoittelujaksot, varsinkin harjoituksen aiheuttaessa suuria lihassoluvaurioita (Halsen & Jeukendrup 2004). Näin ollen on todennäköistä, että ylirasitusta kärjistä-

vät kestävyysharjoittelun elementit aiheuttavat teoriassa suurempaa häiritsevyyttä (Wilson ym. 2012).

Ominaisuuksien yhtäaikaiseen kehittämiseen vaikuttavat monet tekijät ja näiden vuoro-vaikutus harjoitusprotokollaan liittyen, kuten harjoittelun määrä, intensiteetti, frekvenssi, harjoitusjakson pituus, harjoitustapa, yksilön harjoittelustatus sekä tapa, jolla ominaisuuksien samanaikainen kehittäminen yhdistetään. (Sale ym. 1990, Leveritt ym. 1999, Wilson ym. 2012, Hopker ym. 2009). McCarthy ym. (1995) esittävät harjoittelun frekvenssin olevan ehkä tärkein tekijä yhdistetyssä harjoittelussa – varsinkin jos halutaan kehittää voimaominaisuuksia. Chtaran ym. (2005) mukaan muita häiriöitä aiheuttavia tekijöitä ovat: a) lihaksen kyvyttömyys adaptoitua optimaalisesti kahteen ärsykkeeseen, jotka vaativat kahden eri energiatuottojärjestelmän käyttämistä saman harjoituksen aikana (Bell ym. 2000, McCarthy ym. 1995), b) ensimmäisen harjoitusosion aiheuttama lihasväsymys toiseen harjoitusosioon (Hennessy & Watson 1994), c) kestävyys- ja voimaharjoittelun tyyppi, luonne ja spesifisyys (Häkkinen ym. 1985) sekä yksilön fyysinen kunto ja ikä (Paavolainen ym. 1999, Millet ym. 2002, McCarthy ym. 1995), d) harjoittelun volyymi, useus ja intensiteetti voi vaikuttaa myös häirinnän tasoon (Bishop ym. 1999, McCarthy ym. 1995), ja e) harjoitusjärjestyksellä voi olla myös vaikutus harjoittelulla saavutettuihin vasteisiin (Sale ym. 1990, Bell ym. 1988, Collins & Snow 1993).

Suurin osa tutkimuksista ei ole osoittanut yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tai voimaharjoittelun lisäämisen kestävyysharjoittelun rinnalle häiritsevän kestävyysominaisuuksien kehittymistä (Hickson 1980, Bell ym. 2000). Joissain tutkimuksissa on jopa havaittu voimaharjoittelun olevan edullisempaa kestävyysominaisuuksien kehittymisen kannalta verraten pelkkään kestävyysharjoitteluun (Hickson 1980, Marcinik ym. 1991, McCarthy ym. 1995, Ferketich ym. 1998, Wood ym. 2001.) Hicksonin ym. (1988) tutkimuksen mukaan voimaharjoittelu voi erityisesti parantaa kestävyysuorituksia, joissa vaaditaan nopeiden lihassolujen rekrytoimista.

Kestävyysharjoittelun rinnalle lisätyn voimaharjoittelun vaikutusta kestävyysuorituskykyyn on myös tutkittu hyvin harjoitelleilla urheilijoilla: Tutkimukset osoittavat, että voimaharjoittelulla on positiivinen vaikutus kestävyysuorituskykyyn hyvin harjoitel-

leilla hiihtäjillä (Losnegard ym. 2011, Hoff ym. 2002, Mikkola ym. 2007a), uimareilla (Aspenes ym. 2009), kestävyysjuoksijoilla (Paavolainen ym. 1999, Millet ym. 2002, Støren ym. 2008, Taipale ym. 2013, Mikkola ym. 2011, Sale ym. 1990), nuorilla kestävyysjuoksijoilla (Mikkola ym. 2007b), yliopistossa opiskelevilla urheilijoilla (Davis ym. 2008). Pyöräilijöillä tehdyt tutkimukset ovat kuitenkin tuottaneet ristiriitaisia tuloksia osan tuoden positiivisia adaptaatiota kestävyysuorituskykyyn (Paton & Hopkins 2005) ja toisten osoittaessa voimaharjoittelun lisäämisen tuovan samanlaisia vasteita kuin pelkkä kestävyysharjoittelu (Bishop ym. 1999, Gregory ym. 2009, Bastiaans ym. 2001, Jackson ym. 2007). Selvintä näyttäisi kuitenkin olevan, että voimaharjoittelulla voidaan parantaa lyhytkestoista pyöräilyn suorituskykyä ja taloudellisuutta (Paton & Hopkins 2005). Raskailla painoilla tehtävän voimaharjoittelun lisääminen kestävyysharjoittelun rinnalle on myös osoittautunut parantamaan liikkumisen taloudellisuutta ja täten suorituskykyä, mutta ilman muutoksia VO<sub>2</sub>max:ssa kestävyysurheilijoilla (Vikmoen ym. 2016, Millet ym. 2002). Nelsonin ym. (1990) tutkimuksessa voimaharjoittelu kuitenkin häiritsi kestävyysominaisuuksien kehittymistä 20 viikon harjoitteluintervention aikana. 11 viikkoa harjoittelun jälkeen kestävyys- ja yhdistelmäryhmien kehitys VO<sub>2</sub>max:n suhteen oli samanlainen, mutta viimeisen yhdeksän viikon aikana yhdistelmäryhmä ei saavuttanut lisää kehitystä toisin kuin kestävyysryhmä. Intervention pituus saattoi olla osasyynä tuloksiin.

Kestävyden ja voiman yhtäaikainen kehittäminen on erityisesti vanhemmille henkilöille (60 – 84-vuotiaat) edullista. Heillä yhdistetty harjoittelu ei myöskään vaaranna voimaominaisuuksien kehittymistä. Vanhemmalla väestöllä yhdistetyn harjoittelun on todettu myös olevan parempi keino optimoida funktionaalisen kunnan osatekijöitä pelkkään voima- tai kestävyysharjoitteluun verraten (Ferketich ym. 1998, Wood ym. 2001, Izquierdo 2004b), lisäävän pyöräilyn hyötysuhdetta voimantuotto-ominaisuuksien kehittymisen avulla (Louis ym. 2012) ja parantavan pyöräilyn neuromuskulaarista taloudellisuutta (Cadore ym. 2011a).

Monet tutkimukset ovat osoittaneet, että yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu häiritsee voimaominaisuuksien kehittymistä pelkkään voimaharjoitteluun verraten, mikä näkyy sekä maksimivoimassa (Chtara ym. 2008, Rønnestad ym. 2011, Hickson 1980, Kraemer ym. 1995, Cadore ym. 2010, Hunter ym. 1987, Dudley & Djamil 1985) että

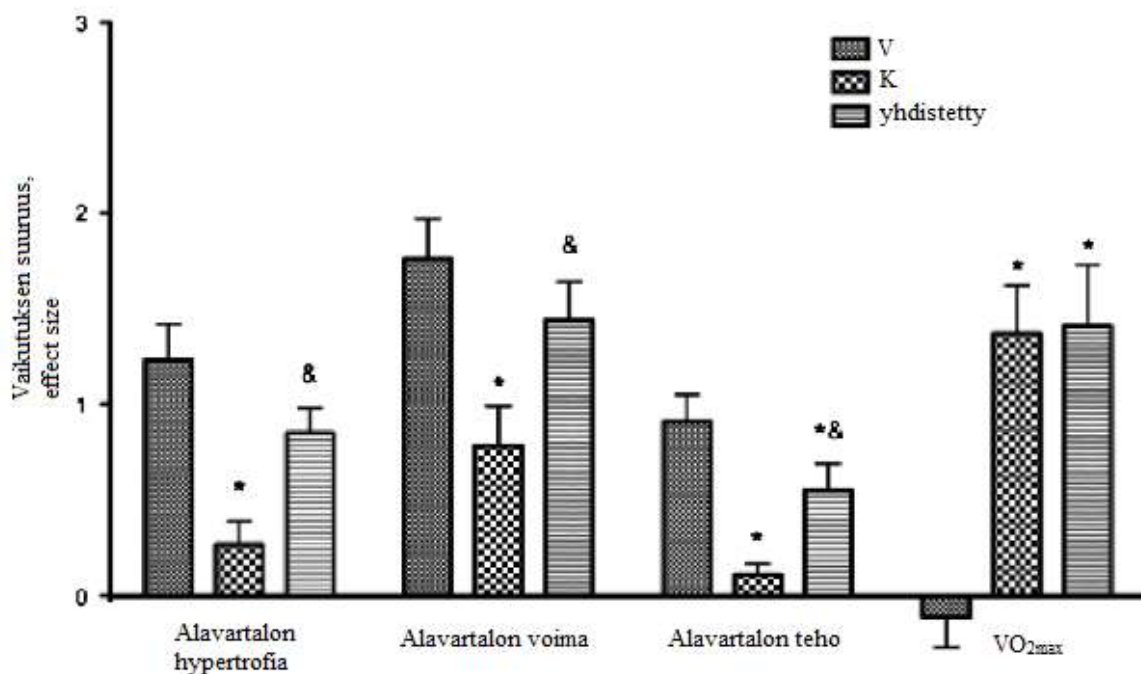


voimantuottonopeudessa varsinkin pitkällä harjoitusjaksoilla (Häkkinen ym. 2003). Kestävyyssurheilijoilla (pyöräilijät) suuri kestävyysharjoittelun volyyymi varsinkin ehkäisee voimaominaisuuksien kehittymistä samanaikaisesti (Rønnestad ym. 2011). McCarthy ym. (1995) toteavat, että aihepiirin tutkimuksissa voimaharjoitteluun on käytetty epätavallisia protokollia, joka mahdollisesti vaikuttaa tuloksiin. Esimerkiksi Hickson (1980) ja Hunter ym. (1987) harjoittivat tutkimuksissaan samoja lihasryhmiä 5 ja 4 kertaa viikossa, minkä voisi joidenkin mielestä laskea jo yliharjoitteluksi. Yleensä samaa lihasryhmää harjoitetaan ainoastaan kaksi tai kolme kertaa viikossa. Dudley & Djamil (1985) ja Sale ym. (1990) käyttivät voimaharjoittelussa epätavallisen korkeita toistomääriä (26 – 28 ja 15 – 20) sarjoissa. McCarthy ym. (1995) uskovat tavanomaisten voimaharjoitteluprotokollien olevan parempi vaihtoehto kestävyuden ja voiman välisen vuorovaikutuksen tutkimiselle. Myös Dudley & Fleck (1987) ehdottavat voimaominaisuuksien häiriintymisen johtuvan yliharjoittelusta ja kroonisesta lihasglykokeenin loppuun kulumisesta.

Wilsonin ym. (2012) mukaan yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena tehon kehittyminen häiriintyy eniten, mutta hypertrofiaan ja maksimivoimaan vaikutus ei ole yhtä vahva. Kuvassa 5 on esitetty heidän tekemänsä meta-analyysin tuloksia yhdistetystä harjoittelusta verrattuna pelkkään kestävyys- tai voimaharjoitteluun. Jos halutaan kehitystä maksimivoimassa, hypertrofiassa ja kestävyudessa, tulisi kestävyysharjoittelun muodoksi valita sellainen, joka vastaa eniten omaa lajia. Tällöin voidaan parhaiten välttää kilpailevien adaptaatioiden esiintyminen. Lisäksi voimaa ja tehoa vaativissa lajeissa kestävyysharjoittelu tulisi suorittaa korkealla intensiteetillä, jolloin voimaominaisuuksien heikentyminen voidaan minimoida.

Kestävyysharjoittelun suorittamistapa (modality) näyttäisi kuitenkin olevan tärkein tekijä yhdistetyn harjoittelun häiritsevyyden taustalla harjoitteluvolyymin vaikuttaessa vähemmän. Lisäksi häiritsevyys on yleensä kehonosakohtaista: voimaominaisuuksien häiriintymistä on havaittu alaraajoissa, mutta ei yläraajoissa, jos kestävyysharjoittelussa on kuormitettu myös alavartaloa. Juoksun yhdistäminen voimaharjoittelun kanssa voi häiritä voimaominaisuuksien kehittymistä enemmän kuin pyöräily, koska pyöräilyn biomekaniikka vastaa paremmin yleisesti käytettyjä voimaliikkeitä ja juoksun suuri ek-

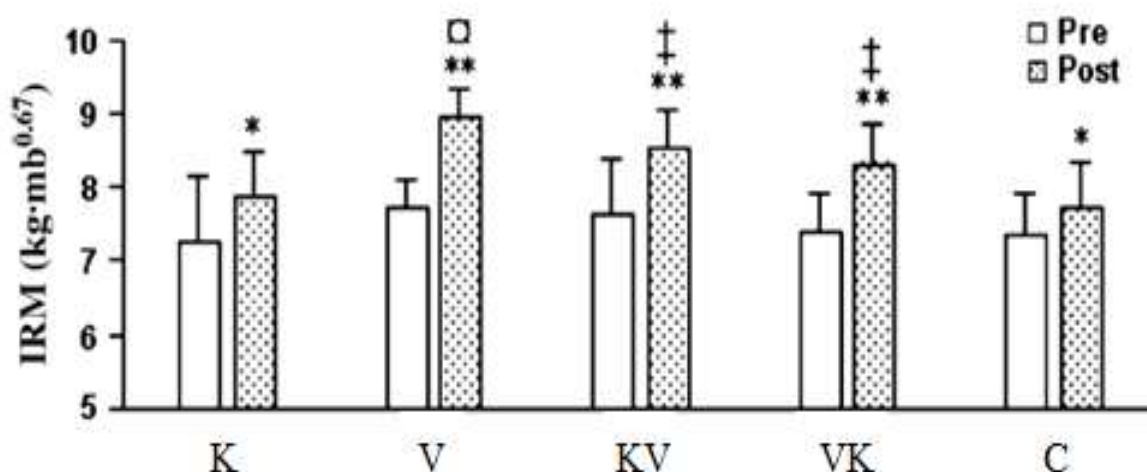
sentrinen komponentti voi aiheuttaa suurempia lihassoluvaurioita kuin pääosin konsentrisen pyöräilyosuuden. (Wilson ym. 2012.)



KUVA 5. Keskiarvoistetut korrelaatioiden tieteelliset vaikuttavuudet (effect size) voima- (V), kestävyys-, (K) ja yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun (yhdistetty) alaraajojen hypertrofialle, voimalle, teholle ja maksimaaliselle hapenottoakyvyille (VO<sub>2max</sub>). \* = tilastollinen ero ( $p < 0,05$ ) voimaharjoitteluun, & = tilastollinen ero ( $p < 0,05$ ) kestävyysharjoitteluun. (muokattu Wilson ym. 2012.)

McCarthy ym. (1995) mukaan myös voiman kehittymisen mittaaminen maksimaalisen tahdonalaisen voimasuorituksen aikana on paljolti riippuvainen lihassupistuksen nopeudesta ja voimantuottavasta sekä käytetäänkö mitattavasta liikkeessä yhtä vai useampaa niveltä (Kraemer ym. 1995). Kraemerin ym. (1995) tutkimus osoittaa, että kovatehoisen kestävyuden ja voiman kehittäminen yhtäaikaaisesti häiritsee voiman kehittymistä, jos molemmat harjoitustavat koskevat samoja lihasryhmiä. Niinpä voima, teho ja hypertrofia kehittyvät heikommin kuin pelkästään voimaa harjoitellessa. Myös seerumin kortisolien määrä lisääntyy, jonka kautta testosteronin ja kolesterolin suhde huononee ja syntyy harjoittelulle epäsuotuisa katabolinen tila. Kun voimaa harjoitetaan yksin, kortisolien määrä päinvastoin laskee ja elimistöön kehittyy anabolinen tila, joka edesauttaa harjoittelua.

Chtaran ym. (2008) toteuttamassa tutkimuksessa 12 viikon harjoittelujakso osoitti samanaikaisen kestävyys- ja voimaharjoittelun kompensoivan saatuja parannuksia voimamuuttujissa, koska pelkällä voimaharjoittelulla kehitys oli merkitsevästi suurempaa kuin muilla ryhmillä (Kuva 6). Koehenkilöt olivat aikaisemmin säännöllisesti harjoitteleemattomia opiskelijoita. Joidenkin tutkimuksien mukaan yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu ei kuitenkaan ole häirinnyt (McCarthy ym. 1995, Wood ym. 2001) vaan jopa edesauttanut voimaominaisuuksien kehittymistä (Hoff ym. 2002,) pelkkään voimaharjoitteluun verraten.



KUVA 6. 12 viikon kestävyys- (K), voima- (V), yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun (KV ja VK) vaikutus kyykyn ykköstoistomaksimiin (IRM). pre = alkumittaus, post = loppumittaus, C = harjoittelematon kontrolliryhmä. (muokattu Chtara ym. 2008.)

## 4.2 Kestävyys- ja voimaosiot eri harjoituksissa

Yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua voidaan toteuttaa harjoitusohjelman sisällä kahdella tapaa: kuormitusosiot tehdään eri harjoituksissa sekä mahdollisesti eri päivinä tai ne suoritetaan samassa harjoituksessa peräkkäin. Tähän päivään mennessä harjoitusprotokollia vertailevaa tutkimusta on toteutettu äärimmäisen vähän (Arazi ym. 2011, Robineau ym. 2016, Sale ym. 1990). Arazin ym. (2011) tutkimuksen päätulos oli se, että molemmat harjoitusprotokollat tuottivat samankaltaisia vasteita voimaan, kestävyyteen ja kehonkoostumukseen. Robineau ym. (2016) mukaan kuitenkin kestävyys- ja

voimaharjoitusten välinen palautumisaika vaikuttaa saatuihin adaptaatioihin. Eri päivinä suoritettu harjoittelu (palautuminen 24 h) tuo optimaalisimmat adaptaatiot hermo-lihasjärjestelmään ja kestävyysuorituskykyyn verrattuna kuuden tunnin palautumisaikaan ja entistä selvemmin verrattuna samassa harjoituksessa suoritettuun yhdistettyyn harjoitteluun (VK). Tutkimuksen koehenkilöt olivat rygbyn harrastelijoita ja voimaa harjoiteltiin aina ennen juosten tehtyä korkean intensiteetin intervalliharjoitusta seitsemän viikon ajan. Kestävyysuorituskyvyn ( $VO_{2max}$ ) kehityksen häiriintyminen 0 ja 6 tunnin palautumisryhmissä saattoi tutkijoiden mukaan johtua voimaharjoituksen aiheuttamasta akuutista hermo-lihasjärjestelmän väsymisestä huonontuen kestävyysuorituksen laatua ja vähentäen aerobisen potentiaalin kehittymistä harjoitusjakson aikana. Myös Salen ym. (1990) tutkimuksessa eri päivinä toteutettu yhdistetty harjoittelu kehitti enemmän maksimivoimaa ilman eroja kestävyysuorituskyvyssä harjoitusprotokollien välillä.

Taulukossa 1 on esitetty kooste tutkimustuloksista yhdistetyn harjoittelun suhteen, kun kuormitusosuudet tehdään eri harjoituksissa. Siitä voidaan huomata, että tehdyissä tutkimuksissa ikäryhmät (nuoret vs. iäkkäät), harjoittelutavat (juoksu vs. pyöräily) ja tutkimuskohteet vaihtelevat aika paljon, jolloin vertailusta tulee vaikeampaa. Näiden tulosten perusteella eri päivinä suoritettu yhdistetty harjoittelu ei kompensoi kestävyysuorituksen tai voiman kehittymistä, jos verrataan yhdistetyn harjoittelun ryhmää vain kestävyysuorituksen tai voiman harjoitteluun kerralla. Selvästi on kuitenkin huomattavissa, että yleensä kestävyysuorituksen avulla ei saada vasteita voimaominaisuuksiin (Izquierdo ym. 2004 a ja b, Glowacki ym. 2004) tai voimaharjoittelulla kestävyysuorituksen (Izquierdo ym. 2004 b, Glowacki ym. 2004, Bell ym. 2000). Häkkisen ym. (2003) tulokset myös antavat viitteitä siitä, että yhdistetty harjoittelu kompensoi räjähtävää voimantuottoa verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun. Taloudellisuuden muutoksia ei suoranaisesti ole tutkittu alla olevissa tutkimuksissa ollenkaan, joskin ainoastaan Izquierdo ym. (2004 a ja b) raportoivat harjoittelun seurauksena laskeneesta sykkeestä eri kuormilla sekä pyöräilytehon kasvusta 4 mmol/l laktaatin tasolla.

Taulukko 1. Kooste yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tutkimuksista, kun kuormitusosiot suoritetaan eri päivinä.

<b>Tekijät ja vuosi</b>	<b>Koehenkilöt</b>	<b>Harjoittelu</b>	<b>Tulokset</b>
Izquierdo ym. 2004a	31 miestä, harjoittelemattomia & terveitä, 40 – 46 v.	<b>K)</b> 2/vko, <b>V)</b> 2/vko, <b>K + V)</b> 1 + 1/vko <b>K:</b> pyöräily 30 – 40 min, jatkuvaa & intervalleja <b>V:</b> raskas & räjähtävä voimaharj. 45 – 60 min <b>yht. 16 vkoa</b>	<b>voima</b> ↑ <b>K</b> & <b>K + V</b> > <b>E</b> (kyykky: 45 % & 37%) <b>kestävyys</b> ↑ <b>K + V</b> , <b>K</b> , <b>V</b> ( $W_{max}$ : 14%, 12%, 10%) <b>syke</b> ↓ kuormilla 150 W, 180 W ryhmillä <b>K + V</b> ja <b>K</b> <b>W<sub>4mmol/l</sub></b> ↑ <b>K + V</b> , <b>K</b> , <b>V</b>
Izquierdo ym. 2004b	31 miestä, harjoittelemattomia & terveitä, 65 - 74 v.	<b>K)</b> 2/vko, <b>V)</b> 2/vko, <b>K + V)</b> 1 + 1/vko <b>K:</b> pyöräily 30 – 40 min, jatkuvaa & intervalleja <b>V:</b> raskas & räjähtävä voimaharj. 45 – 60 min <b>yht. 16 vkoa</b>	<b>voima</b> ↑ <b>V</b> & <b>K + V</b> > <b>K</b> (kyykky: 41 %, 38%, 11%) <b>kestävyys</b> ↑ <b>K + V</b> & <b>K</b> > <b>V</b> ( $W_{max}$ : 18%, 16%, 10%) <b>syke</b> ↓ kuormilla 90 W, 120 W ja 150 W merkitsevästi lähes kaikilla ryhmillä <b>W<sub>4mmol/l</sub></b> ↑ <b>K + V</b> , <b>K</b> , <b>V</b> (15%, 11%, 7%)
Häkkinen ym. 2003	32 miestä, harjoittelemattomia & terveitä, n. 37 v.	<b>K)</b> 2/vko, <b>K + V)</b> 2 + 2/vko <b>K:</b> pyöräily tai kävely 30 – 90 min, jatkuvaa 6 intervalleja <b>V:</b> koko vartalon max. & räjähtävä voimaharj. <b>yht. 21 vkoa</b>	<b>voima</b> ↑ <b>K</b> , <b>K + V</b> (cons. bilateral 1RM: 21%, 22%) <b>max iEMG (VL)</b> ↑ <b>V</b> , <b>K + V</b> (26/19%, 29/22%) <b>RFD</b> ↑ vain <b>V</b> <b>CSA (QF)</b> ↑ <b>V</b> , <b>K + V</b> (6%, 9%) <b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ <b>K + V</b> 18,5%
Glowacki ym. 2004	45 miestä, harjoittelemattomia & terveitä, 18 – 40 v.	<b>K)</b> 2-3/vko, <b>V)</b> 2-3/vko, <b>K + V)</b> 5/vko <b>K:</b> juoksu matolla tai ulkona 20 – 40 min, 65 – 80 % HRR <b>S:</b> 6 – 10 x 75 – 85 % 1RM x 3 <b>K + V:</b> E 2-3/vko + S 2-3/vko yht. 5/vko <b>yht. 12 vkoa</b>	<b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ <b>K</b> , <b>V</b> , <b>K + V</b> (8%, 3,7%, 2,8%) <b>voima</b> ↑ <b>V</b> & <b>K + V</b> > <b>K</b> (jalkaprässi: 40,8%, 39,4%, 20,4%)
Bell ym. 2000	45 miestä ja naista, harjoittelemattomia & terveitä, n. 22 v.	<b>K)</b> 3/vko, <b>V)</b> 3/vko, <b>K + V)</b> 3 + 3/vko, <b>C)</b> ei harjoittelua <b>K:</b> pyöräily 2/vko jatkuvaa 30 – 42 min + 1/vko intervalli <b>V:</b> koko vartalon voimaharj. <b>yht. 12 vkoa</b>	miehillä absoluuttisesti suuremmat tulokset, mutta kehitys samankaltaista <b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ <b>K</b> & <b>K + V</b> > <b>V</b> & <b>C</b> <b>voima</b> ↑ <b>V</b> & <b>K + V</b> (jalkaprässi)

### 4.3 Kestävyy- ja voimaosiot samassa harjoituksessa

Samaan harjoitukseen integroitua yhdistettyä harjoittelua on tutkittu hieman enemmän (Taulukko 2). Näissäkin tutkimuksissa em. piirteet vaihtelevat suuresti, mutta suunnilleen samanlaiset peruseriaatteet näyttävät pätevän, kuin eri päivänä tehdyn yhdistetyn harjoittelun vasteet voimaan ja kestävyuteen. Ainoastaan Chtara ym. (2005) raportoivat yhdistetyn harjoittelun tuovan merkitsevästi parempia vasteita kestävyysuorituskykyyn kuin pelkkä kestävyysharjoittelu. Harjoittelu suoritettiin kuitenkin juosten ja koehenkilöt olivat tutkimuksenkin ohella aktiivisia liikunnanopiskelijoita, millä on oma vaikutuksensa harjoittelun kokonaisvolyymiin ja mahdollisesti harjoitusvasteisiin. Cadore ym. (2011 a) ovat tehneet ainutkertaista tutkimusta pyöräilyn taloudellisuudesta tarkastelemalla lihasaktiivisuuden (EMG) käyttäytymistä eri kuormilla maksimaalisen pyörätestin aikana. Tuloksien mukaan taloudellisuuden kehittyminen on suurempaa kestävyysharjoitelleilla ryhmillä kuin pelkällä voimaharjoittelulla ja yhdistetyllä harjoittelulla voi olla positiivisempi vaikutus harjoituskynnyksien pyöräilytehoon.

Taulukko 2. Kooste yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tutkimuksista, kun kuormitusosiot suoritetaan samassa harjoituksessa peräkkäin.

<b>Tekijät ja vuosi</b>	<b>Koehenkilöt</b>	<b>Harjoittelu</b>	<b>Tulokset</b>
Chtara ym. 2005	48 mies-opiskelijaa, terveitä & fyysisesti aktiivisia	<b>K, V, VK, KV, C</b> 2/vko <b>K:</b> juoksu radalla, vetoja (5) lähellä vVO <sub>2max</sub> nopeutta <b>V:</b> koko vartalon kiertoharj., kesto-voima & räjähtävä voima <b>yht. 12 vkoa</b>	<b>4 km juoksu-testi</b> ↑ KV > K > VK > V (8,57%, 5,69%, 4,66%, 2,47%) <b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ (ml/min) KV > VK > K > V (14,05%, 11,96%, 11,05%, 8,29%)
Cadore ym. 2011a	29 miestä, harjoittelematomia & terveitä, 61-70 v.	<b>K, V, KV</b> 3/vko <b>K:</b> pyöräily, lämmittely + 6x4 – 30 min x 80 – 100 % HR <sub>Ank</sub> <b>V:</b> n. 40 min, koko vartalon kesto-voima, hypertrofinen- & max.voimaharj. <b>yht. 12 vkoa</b>	<b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ K, KV > V (20,4%, 22%, 5,7%) <b>W<sub>max</sub></b> ↑ KV, K > V (20,4±10,6%, 22±20,7%, 5,7%) <b>EMG</b> ↓ kaikilla ryhmillä VL-lihaksessa kuormalla 100W sekä K & KV ryhmillä RF-lihaksessa kuormilla 50, 75 ja 100W

Cadore ym. 2011c	26 miestä, harjoittelemattomia & terveitä, 61-70 v.	sama kuin ed.	<b>W<sub>AerK</sub></b> ↑ vain KV (26,9%) <b>W<sub>AnK</sub></b> ↑ KV, K (21,2%, 22,1%) <b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ KV, K (8,1%, 9,3%) <b>W<sub>max</sub></b> ↑ KV, K (19,9%, 24,1%) <b>voima</b> ↑ KV > K (35,1%, 22%)
McCarthy ym. 1995	30 miestä, harjoittelemattomia & terveitä, 25 - 30 v.	<b>K, V, KV/VK</b> 3/vko <b>K:</b> pyöräily 5 min lämmittely + 45 min 70 % HR <sub>max</sub> <b>V:</b> koko vartalon high intensity voimaharj. <b>KV/VK:</b> suoritusjärj. vaihteli <b>yht. 10 vkoa</b>	<b>voima</b> ↑ V & KV/VK > K <b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ (ml/min) KV/VK & K > V (19%, 16%, 10%)
McCarthy ym. 2002	sama kuin ed.	sama kuin ed.	<b>tyypin 1 lihassolujen pinta-ala</b> ↑ V > KV/VK (18,5%, 12,5%) <b>tyypin 2 lihassolujen pinta-ala</b> ↑ V & KV/VK (24%, 28%) <b>FT/ST suhde</b> ↑ V & KV/VK (5%, 15%) <b>max RMS-EMG amplitudi</b> ↑ V & KV/VK (13,5%, 10,6%)
Dolezal & Potteiger 1998	30 miestä, harjoittelemattomia & terveitä, n. 20 v.	<b>K, V, VK</b> 3/vko <b>K:</b> 25 – 40 min juoksu/hölkä, 65 – 85 % HR <sub>max</sub> <b>V:</b> koko vartalon voimaharj. <b>yht. 10 vkoa</b>	<b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ K > VK (13%, 7%) <b>voima</b> ↑ V & VK (kyykky: 23%, 19%)
Tarasi ym. 2011	50 miestä, harjoittelemattomia & terveitä, n. 18 v.	<b>K, V, KV, VK, C</b> ?/vko <b>K:</b> juoksu 16 – 30 min, 65 - 80 % HR <sub>max</sub> <b>V:</b> koko vartalon kiertoaharj. <b>yht. 8 vkoa</b>	<b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ K, VK, KV (2,6%, 1,96%, 1,9%) <b>voima</b> ↑ V, KV, VK > K
Collins & Snow 1993	yhteensä 23 miestä ja naista, harjoittelemattomia & terveitä,	<b>KV, VK, C</b> 3/vko <b>K:</b> juoksu 20 – 25 min, 60 – 90 % HR reservi <b>V:</b> 2 x 3 – 12 x 50 – 90 % 1RM <b>yht. 7 vkoa</b>	<b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ VK, KV (6,7%, 6,2%) <b>voima</b> ↑ VK, KV (11,9%, 14,0%)
Valizadeh ym. 2010	28 miestä, harjoittelemattomia & terv. opiskelijoita.	<b>KV, VK, C</b> 3/vko <b>K:</b> juoksu 25 – 40 min, 65 – 85 % HR <sub>max</sub> <b>V:</b> koko vartalon voimaharj. <b>yht. 8 vkoa</b>	<b>VO<sub>2max</sub></b> ↑ VK, KV (11,1%, 11,7%) <b>voima</b> ↑ VK, KV (jalkaprässi: 46,1%, 52,2%)

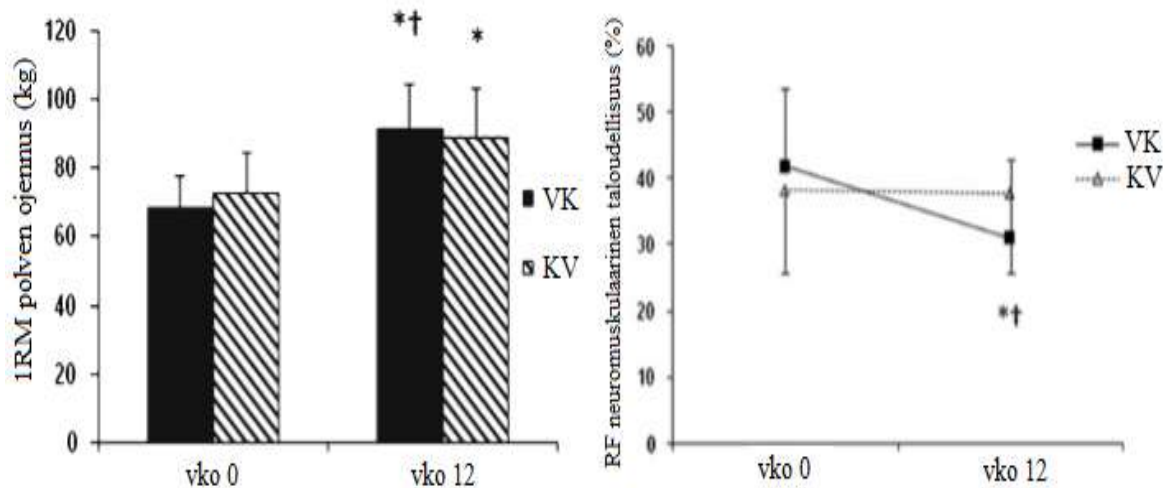
### 4.3.1 Harjoituksen suoritusjärjestyksen vaikutus

Suoranaisesti yhdistetyn harjoittelun harjoitusjärjestyksen vaikutusta kroonisiin adaptaatioihin on tutkittu melko vähän niin, että sekä kestävyys- että voimaharjoittelun osiot suoritetaan peräkkäin samana päivänä ja molemmat harjoitusprotokollat on edustettuna (KV ja VK) (Cadore ym. 2013, Collins & Snow 1993, Chtara ym. 2008, 2005, Valizadeh ym. 2010, Tarasi ym. 2011). Akuutteja vasteita laktaattiin, sykkeeseen ja hapenottoon on tutkinut Brunetti ym. (2008), energiankulutukseen Cutts & Burns (2010), hermo-lihasjärjestelmään ja metaboliaan Taipale ym. (2014a), voimantuottoominaisuuksiin ja hapenottoon Taipale ym. (2014b) ja hormoneihin ja voimaan Schumann ym. (2014).

Tämänhetkisen tutkimustiedon perusteella on vallalla kolme käsitystä siitä, missä järjestyksessä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun osiot tulee suorittaa. Ensimmäisen mukaan suoritusjärjestyksellä ei ole väliä ominaisuuksien kehittymisen kannalta (Sale ym. 1990, Collins & Snow 1993, Chtara ym. 2008, Tarasi ym. 2011), toisen mukaan kestävyysosio tulee suorittaa ensin, jos halutaan kehittää erityisesti kestävyysominaisuuksia (Chtara ym. 2005, Valizadeh ym. 2010) ja kolmannen mukaan voimaosio tulee suorittaa ensin, jos halutaan kehittää alaraajojen voimantuotto-ominaisuuksia ja taloudellisuutta (Cadore ym. 2013).

Cadoren ym. (2013) tutkimuksessa terveet vanhemmat ( $64.7 \pm 4.1$ ) miehet suorittivat 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelujakson omalla suoritusjärjestyksellään (KV tai VK), joka koostui kolme kertaa viikossa tehtävästä yhdistetystä polkupyöräergometrikuormituksesta ja voimaharjoituksesta (etenevä ohjelmointi kestovoimasta maksimivoimaan). Kuvan 7 mukaisesti voimaharjoituksen suorittaminen ennen kestävyyskuormitusta (VK) toi paremmat vasteet alavartalon voimaan ja mahdollisesti neuraalisiin adaptaatioihin, koska myös neuromuskulaarinen taloudellisuus (EMG, rectus femoris) parani enemmän kuin KV ryhmällä. Morfologisissa adaptaatioissa ei ollut eroja ryhmien välillä, joten harjoitusjärjestys vaikutti voimaan, muttei hypertrofian määrään.





KUVA 7. 12 viikon samassa harjoituksessa tehdyn yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutukset alavartalon yhden toiston maksimiin (1RM, kg) ja neuromuskulaariseen taloudellisuuteen (%). VK = suoritusjärjestys voima + kestävyys, KV = suoritusjärjestys kestävyys + voima, RF = rectus femoris. (muokattu Cadore ym. 2013.)

Molemmat suoritusjärjestykset paransivat hermo-lihasjärjestelmän maksimaalista aktiivaatiota ja vähensivät EMG aktiivisuutta lihaksessa VL, mutta vain ryhmällä VK oli havaittavissa EMG aktiivisuuden väheneminen lihaksessa RF. Tutkijoiden mukaan neuromuskulaarisen taloudellisuuden suurempi paraneminen ryhmällä VK ja hypertrofian puuttuminen osoittaa hermostollisten tekijöiden mahdollisesti vaikuttavan voiman erilaiseen kehittymiseen ryhmillä ja kestävyysosion suorittamisen ennen voimaa vaikuttavan negatiivisesti näihin adaptaatioihin. (Cadore ym. 2013.) Nämä päätelmät ovat linjassa aikaisempien yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelututkimusten kanssa joiden mukaan vain voimaharjoittelu yksin tehtynä lisää nopeaa hermoston aktivointia (Häkkinen ym. 2003) ja maksimaalista hermo-lihasjärjestelmän aktiivaatiota (Cadore ym. 2010). Lisäksi kestävyysharjoituksen tekeminen ennen voimaosuutta saattoi tutkijoiden mukaan vaikuttaa negatiivisesti voimaharjoituksen suorituskykyyn ja johti alhaisempaan työmäärään voimaharjoituksen ohjelmoinnissa. Voimaharjoitusten suhteellinen intensiteetti oli varsinkin harjoittelujakson loppupuolella ryhmällä KV pienempi. (Cadore ym. 2013.)

### 4.3.2 Optimaalinen suoritusjärjestys kestävyiden kehittymisen kannalta

Näyttäisi siis siltä, että kestävyysominaisuuksia kehittäessä suotuisampaa saattaisi olla suorittaa kestävyysosio ensin, koska osa tutkimuksista osoittaa näin (Chtara ym. 2005, Valizadeh ym. 2010) ja muiden tutkimuksien mukaan suoritusjärjestyksellä ei ole väliä. Tutkimusten tulokset eivät ole kuitenkaan kovin selkeitä eivätkä erot ryhmien välillä ole suuria. Ensimmäisen harjoitusosion aiheuttama lihasväsymys (Hennessy & Watson 1994) oletettavasti heikentää toisen harjoitusosion tehoa (Leveritt ym. 1999), jolloin suoritusjärjestyksen valitseminen kannattaa mahdollisesti tehdä omien tavoitteidensa mukaan eli kumman ominaisuuden kehittämiseen haluaa keskittyä enemmän.

Molemmat em. tutkimukset (Chtara ym. 2005, Valizadeh ym. 2010) on toteutettu myös juoksemalla ja koehenkilöiksi on valittu tutkimuksen ohella aktiivisia liikunnanopiskelijoita. Tutkijoiden mukaan kestävyiden kehittyminen on parempaa, kun kestävyysosio suoritetaan ensin, koska tällöin lihaksia ei ole vielä väsytetty voimaharjoittelulla. Tällöin voimaharjoittelu ei vaikuta fysiologisiin vasteisiin, joita kestävyysarjoittelulla voidaan saavuttaa. Lisää tutkimusta kuitenkin kaivataan aiheeseen liittyen ja että harjoittelutavat, koehenkilöryhmät ja tutkimuskohteet valittaisiin tarkoin tavoitteiden suunnassa.

## 5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia, millaisia harjoitusvaikutuksia 24 viikon yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoitteluinterventio saa aikaan harjoittelemattomilla 18 – 40 -vuotiailla miehillä, kun harjoitusohjelma suoritettiin kolmella eri tavalla: Kaksi ryhmä teki kestävyys- ja voimaosiot samassa harjoituksessa oman suoritusjärjestyksensä mukaan (KV tai VK), kun taas kolmas ryhmä teki osiot vuoroittaisina päivinä. Tarkastelun kohteena ovat kestävyys- ja voimaosien suorituskyky sekä kardiorespiratorinen ja neuromuskulaarinen taloudellisuus. Kokeellisen aselman vuoksi oli myös mahdollista tutkia, onko suoritusjärjestyksellä vaikutusta adaptaatioihin, kun kestävyys- ja voimaharjoittelun osiot suoritetaan samassa harjoituksessa. Aikaisemman tieteellisen tutkimustiedon perusteella tutkimukselle on asetettu tutkimusongelmat, hypoteesit ja perustelut:

*1. Tutkimuskysymys:* Aiheuttaako yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu erilaisia harjoitusvaikutuksia kestävyyteen tai taloudellisuuteen, kun kuormitusosiot suoritetaan samassa harjoituksessa tai eri päivinä?

*1. Hypoteesi:* Eri päivinä suoritettulla yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla on paremmat harjoitusvaikutukset kestävyys- ja voimaosien suorituskykyyn, mutta taloudellisuuden kehittyminen voi olla samankaltaista molemmilla tavoilla.

*1. Perustelu:* Ainostaan Arazi ym. (2011) ovat tutkineet näiden kahden harjoitusprotokollan harjoitusvasteiden eroja ja heidän mukaansa valinnalla ei ole väliä. Robineau ym (2016) mukaa kuitenkin eri päivinä suoritettu harjoittelu (palautuminen 24 h, K + V) tuo optimaalisimmat adaptaatiot hermo-lihasjärjestelmään ja kestävyys- ja voimaosien suorituskykyyn verrattuna samassa harjoituksessa suoritettuun yhdistettyyn harjoitteluun (VK). Psilander ym (2015) suosittelevat myös urheilijoiden harjoitteleman näitä kahta eri ominaisuutta eri päivinä, koska voimaharjoituksen lisääminen välittömästi kestävyys- ja voimaosien harjoituksen jälkeen ei näytä edistävän harjoittelun tuomia adaptaatioita lihasten oksidatiiviseen kapasiteettiin jo harjoitelleilla henkilöillä. Tässä tutkimuksessa koehenkilöinä olivat kuitenkin aikaisemmin harjoittelemattomat miehet.

2. *Tutkimuskysymys:* Onko neuromuskulaarisella taloudellisuudella yhteys kestävyys-suorituskykyyn pyöräilyssä ja ilmeneekö se yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena?

2. *Hypoteesi:* Neuromuskulaarisen taloudellisuuden kehittyminen yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena tuottaa oletettavasti myös harjoitusvaikutuksia kestävyys-suorituskykyyn.

2. *Perustelu:* Pyöräily lajina vaatii alaraajojen hyvää voimantuottoa ja Wilsonin ym. (2012) mukaan alavartalon voima kehittyy yhdistetyn harjoittelun avulla lähes yhtä hyvin kuin pelkällä voimaharjoittelulla. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun on osoitettu parantavan myös hermo-lihasjärjestelmän taloudellisuutta (Cadore ym. 2011a) ja tämän taustalla voivat olla muutokset lihassolujen rekrytoinnissa ja syttymistiheydessä. Tällä on oletettavasti myös vaikutus kestävyys-suorituskykyyn pyöräilyssä, jossa on samat lihasryhmät käytössä. Sunden ym. (2010) ehdottavat, että pyöräilijöiden kestävyys-suorituskyvyn kehittyminen heidän tutkimuksessaan oli seurausta parantuneesta taloudellisuudesta. Heidän mukaansa yleisesti ottaen voidaan sanoa, että taloudellisuuden parantuminen yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun jälkeen on seurausta voimaharjoittelun aiheuttamista adaptaatioista hermo-lihasjärjestelmän toimintaan.

3. *Tutkimuskysymys:* Vaikuttaako samassa harjoituksessa suoritettujen yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun suoritusjärjestys kestävyys-suorituskykyyn?

3. *Hypoteesi:* Kestävyysosion suorittaminen ennen voimaosiota saattaa tuottaa parempia vasteita kestävyys-suorituskykyyn.

3. *Perustelu:* Voimaosuuden tekeminen ennen kestävyyttä on osoittanut kehittävän paremmin alavartalon voimaa ja neuraalisia adaptaatioita (Cadore ym. 2013), mutta näiden kahden suoritusjärjestyksen vaikutusta kestävyteen on tutkittu vähän ja tutkimustulokset eivät myöskään anna minkäänlaista lopullista vastausta. Suurimmassa osassa näitä tutkimuksia on kestävyys-harjoittelu suoritettu juosten, jolloin pyöräilyyn täysin vertaaminen on mahdotonta näiden liikuntamuotojen eroavaisuuksien takia. Näyttäisi kuitenkin siltä, että kestävyysominaisuuksia kehittäessä suotuisampaa saattaisi olla suorittaa

kestävyyssosio ensin (Chtara ym. 2005, Valizadeh ym. 2010). Ensimmäisen harjoitusosion aiheuttama lihasväsymys (Hennessy & Watson 1994) oletettavasti heikentää toisen harjoitusosion tehoa (Leveritt ym. 1999), jolloin suoritusjärjestyksen valitseminen kannattaa mahdollisesti tehdä omien tavoitteidensa mukaan eli jos tavoitteena on parantaa kestävyysuorituskykyä, on optimaalisempi kehittää ensin tätä ominaisuutta.

## 6 MENETELMÄT

Tutkimus toteutettiin Jyväskylän yliopiston Liikuntabiologian laitoksen toimesta vuosien 2011 ja 2013 välisenä aikana. Tämä tutkimus oli osa laajempaa projektia, jossa oli tarkoitus tutkia yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun akuutteja ja pitkäaikaisia adaptaatioita neuromuskulaariseen ja kardiorespiratoriseen suorituskyykyyn, hormonaalisiin toimintoihin, kehon koostumukseen ja terveyden parametreihin. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin vain yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun pitkäaikaisiin adaptaatioihin kestävyys- ja voimaharjoittelun sekä kardiorespiratorisen ja neuromuskulaarisen taloudellisuuden osalta.

### 6.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöiksi valittiin yhteensä 55 tervettä 18 – 40 -vuotiasta aikaisemmin harjoittelematonta (ei systemaattista kestävyys- tai voimaharjoittelua edellisen vuoden aikana), mutta fyysisesti aktiivista miestä (max. 3 krt/vko kevyttä liikuntaa). Koehenkilöt rekrytoitiin Jyväskylän alueelta ja standardoidun puhelinhaastattelun avulla suoritettiin terveydentilan ja aktiivisuustason alkukartoitus. Koehenkilöiden tuli olla terveitä sekä normaalipainoisia ( $BMI < 31 \text{ kg/m}^2$ ) ilman akuutteja sairauksia tai vammoja. Koehenkilöiden poissulkemisen aiheita olivat myös: metabolinen oireyhtymä (WHO, NCEP), 2 tyypin diabetes, lääkitty hengitys- ja verenkiertojärjestelmän sairaus ja liikuntaelimestön sairaudet, jotka estävät pitkäaikaisen fyysisen aktiivisuuden. Koehenkilöiden taustatiedot on esitetty taulukossa 3.

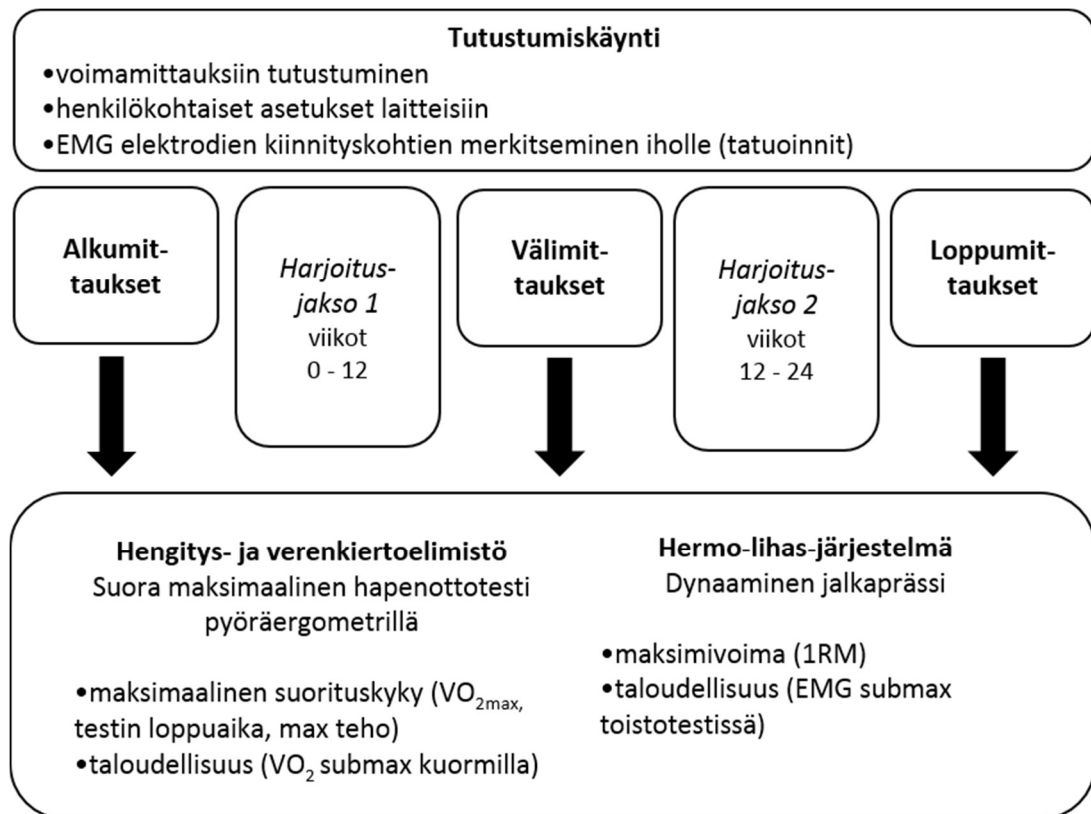
TAULUKKO 3. Koehenkilöiden taustatiedot ryhmittäin.

n = 55	ikä (v.)	pituus (cm)	paino (kg)	BMI ( $\text{kg/cm}^2$ )
KV = 16	30 ± 6	178 ± 6	81 ± 12	25 ± 3
VK = 18	30 ± 4	179 ± 5	76 ± 9	24 ± 2
K + V = 21	29 ± 6	180 ± 7	82 ± 11	26 ± 4

Koehenkilöitä informoitiin tarkasti tutkimuksen tarkoituksesta, protokollasta ja mahdollisista riskitekijöistä. Ennen koehenkilöiden lopullista hyväksymistä suoritettiin lääkärin hyväksymä terveystarkastus, mikä sisälsi myös levossa tehdyn EKG-mittauksen. Koehenkilöt jaettiin ryhmiin satunnaistetusti antropometrinen ja suorituskykytekijöiden avulla ja ryhmäkoot jakautuivat seuraavasti: KV = 16, VK = 18 sekä K + V = 21. Kaikille koehenkilöille suoritettiin samat mittaukset.

## 6.2 Koeasetelma

Tutkimus toteutettiin pitkittäistutkimuksena, jotta harjoittelun vasteet saatiin esille. Tutkimuksen kokonaiskesto oli 24 viikkoa, joka sisälsi 24 viikkoa ohjattua harjoittelua sekä mittaukset kolmessa ajankohdassa kuvan 8 mukaisesti. Harjoittelujakson aikana koehenkilöitä pyydettiin ylläpitämään tavanomaista liikunta-aktiivisuuttaan (kevyt kävely, pyöräily ja satunnaiset joukkuelajit). Koska tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun eri toteutusmuotojen eroja, mukaan ei otettu kontrolliryhmää.



KUVA 8. Tutkimuksen koeasetelma.

Suoritusjärjestyksen tutkimiseksi koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään: toinen ryhmä suoritti yhden harjoituskerran sisällä kestävyys- ja voimaharjoituksen ennen voimaharjoitusta (KV) ja vastaavasti toinen ryhmä suoritti voimaharjoituksen ennen kestävyys- ja voimaharjoitusta (VK). Lisäksi mukana oli kolmas ryhmä, joka suoritti kestävyys- ja voimaharjoitukset eri päivinä (K + V). Mittaukset keskittyivät kestävyys- ja voimansuorituskyvyn sekä voiman ja taloudellisuuden osa-alueisiin. Harjoittelu koostui kestävyys- ja voimaharjoittelusta, jotka suoritettiin eri päivinä tai samassa sessiossa peräkkäin eri järjestyksin. Harjoitusohjelman kokonaismäärä oli kuitenkin kaikille sama.

### 6.3 Mittaukset

Ennen harjoittelujakson aloittamista koehenkilöille tehtiin antropometriset ja kehonkoostumusmittaukset (pituus, paino ja rasvaprosentti DEXA:lla) ja näitä tietoja käytettiin koehenkilöiden taustatietojen kartoittamiseen (Taulukko 1). Varsinaiset suorituskyky- ja voimamittaukset suoritettiin eri päivinä ja eri mittausajankohdissa vakioituun kellonaikaan ( $\pm 1$ h). Väli- ja loppumittauksissa harjoittelusta pidettiin taukoa vähintään kaksi päivää.

#### 6.3.1 Hengitys- ja verenkiertoelimistö

$VO_{2max}$ . Hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoa ja kapasiteettia tutkittiin polkupyöräergometrilaitteella (Ergometrics 800, Ergoline, Bitz, Saksa) suoralla maksimaalisella hapenottokykytestillä, jossa käytettiin 2 minuutin välein nousevaa kuormaa väsymykseen asti. Testin aloituskuorma oli kaikilla 50 W, kuormaa nostettiin joka toinen minuutti 25 W ja poljinkierrokset tuli pitää koko testin ajan n. 70:ssä. Testistä määritettiin maksimaalinen hapenottokyky  $VO_{2max}$  (ml/kg/min), maksimiteho ( $W_{max}$ ) sekä sykkeet ja laktaatit. Maksimiteho laskettiin kaavalla (Nummela, 2010):

$$\text{viimeinen loppuun asti suoritettu kuorma (W) + kesken jääneen kuorman pituus (min) / kuorman kokonaiskesto (2min) x kuorman nosto (W)}$$

Hengityskaasuja mitattiin jokaisesta yksittäisestä hengityssyklistä (breath-by-breath mittaus) hengityskaasuanalysaattorilla (Oxygen Pro, Jaeger, Hoechberg, Saksa) koko testin ajan ja  $VO_{2max}$  määritettiin hapenkulutuksen ( $VO_2$ ) 60 sekunnin keskiarvon kor-



keimman arvon mukaan. Koettu kuormitus (RPE-asteikko) ja syke sykemittarin (Polar S410, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) avulla rekisteröitiin kuorman lopussa. Kapillaariverinäytteet (20 µL) sormenpäältä otettiin kuorman lopussa, heti testin päätyttyä ja 2 minuuttia sen jälkeen. Näytteistä analysoitiin veren laktaattipitoisuus Biosen laktaattianalysaattorilla (C\_line Clinic, EKF, Magdeburg, Saksa). Testi lopetettiin ACSM:n (2009a, 83) asettamien ohjeiden mukaisesti tai jos koehenkilö ei pystynyt ylläpitämään vaadittua kierrosnopeutta yli 15 s ajan. Tulokset kirjattiin koehenkilöiden henkilökohtaiseen tuloslomakkeeseen.

*Taloudellisuus.* Samasta testistä tutkittiin myös työn taloudellisuuden kehittymistä harjoitusjakson aikana submaksimaalisilla kuormilla. Analysoitaviksi kuormiksi valikoituivat 50 – 175 W:n kuormat, jotka kaikki koehenkilöt pystyivät suorittamaan loppuun asti jokaisella mittauksella. Koska hapenottokyvyn testi suoritettiin kaikissa mittauksissa samoilla kuormilla, voitiin vertailla, oliko hapenkulutuksessa ( $VO_2$ ) havaittavissa muutoksia harjoittelun seurauksena. Taloudellisuuden analysoimiseen käytettiin kuorman viimeisen minuutin keskiarvoistettua hapenkulutusta. Viimeinen minuutti valittiin ajan- kohdaksi, koska tällöin on jo saavutettu hapenkulutuksen ja sykkeen tasaantuminen (steady-state). Steady-state-tila tulee saavuttaa, koska vain tällöin voidaan saada luotettavaa tietoa kuormituksesta ja sen lineaarisesta suhteesta hapenkulutukseen.

*Vakiointi.* Jokainen koehenkilö suoritti testin samalla polkupyöräergometrilaitteella ja mittauksiin käytettiin samoja laitteita. Hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin ennen jokaista mittausta joko manuaalisesti kalibrointipumpulla tai automaattisen ohjelman avulla. Kaasujen kalibrointiin käytettiin sertifioitua kaasuseosta (16 %  $O_2$  and 4 %  $CO_2$ ). Hengityskaasuanalysaattorin maski valittiin mahdollisimman hyvin koehenkilön kasvojen koon mukaan saatavilla olevista kokovaihtoehdoista (S, M, L) ja samaa maskia käytettiin kaikissa mittauksissa. Testin protokolla oli kaikille koehenkilöille yhteinen.

### **6.3.2 Hermo-lihasjärjestelmä**

*Voima.* Koehenkilöt tutustuivat voimamittauksissa käytettyihin mittauslaitteisiin ja -menetelmiin alkumittauksia edeltävällä viikolla järjestetyllä tutustumiskäynnillä, jolloin

jokaisen koehenkilön henkilökohtaiset asetukset katsottiin valmiiksi. Hermostolihasjärjestelmän bilateraalista dynaamista suorituskykyä alaraajoissa tutkittiin dynaamisella horisontaalisella jalkaprässi-laitteella (David 210; David Health Solutions, Helsinki, Suomi) konsentrisesti. Koehenkilöille toteutettiin yhteneväinen yhden toistomaksimin (1RM) mittausprotokolla, jossa vakioitujen lämmittelysarjojen jälkeen tarkoituksena oli löytää suurin kuorma, jolla koehenkilö pystyy tekemään teknisesti hyväksytyyn toiston dynaamisessa jalkaprässissä. Liike aloitettiin  $60^\circ$  ( $58^\circ \pm 2$ ) polvikulmasta ja hyväksytty suoritus päättyi  $\sim 180^\circ$  polvikulmaan. Polvikulmat mitattiin oikeasta jalasta manuaalisesti goniometrin avulla ja anatomisina kiintopisteinä käytettiin reisiluun trochanter majoria ja nilkan lateraalista malleolusta.

*Taloudellisuus.* Dynaamisessa jalkaprässissä tehtävän submaksimaalisen voimakuormituksen aikana mitattiin oikean jalan vastus lateraaliksen (VL) lihasaktiivisuutta bipolaaristen pintaelektrodien (sEMG, Noraxon, Telemyo 2400R, USA, Inc) avulla. EMG-signaalin näyttötaajuus oli 3000 Hz ja se vahvistettiin 1000-kertaiseksi. Signaalit ohjattiin koehenkilöiden lanteilla kantamaan lähettimeen (Telemyo 2400R, Noraxon, Scottsdale, AZ, USA), josta ne ohjattiin edelleen AD-konvertterin (Micro 1401, Cambridge Electronic Design, UK) kautta tietokoneelle. Tutkimusta varten signaalit analysoitiin ohjelmoidulla komentosarjalla ja muutettiin integroiduksi EMG:ksi (iEMG). Kuormituksessa tehtiin 12 toiston jatkuva sarja intensiteetillä, joka vastasi 50 %:a alkumittauksen 1 RM:ää. Kuorma pysyi samana jokaisella mittauskerralla. Suoritustahti vakioitiin siten, että sekä konsentrisen (työntö) että eksentrisen (palautus) vaihe kestäisi n. 2 sekuntia. Analysointiin käytettiin toistojen 2-11 keskiarvoistettua rmsEMG:tä (EMG:n neliöllinen keskiarvo) koko liikelaajuudelta.

*Vakiointi.* Laitteisto oli koehenkilöille yhteneväinen, mittalaitteet säädettiin koehenkilöiden mittasuhteiden mukaisesti sopiviksi tutustumismittauskerralla ja asetukset kirjattiin koehenkilöiden henkilökohtaiseen tuloslomakkeeseen valmiiksi. Täten kaikissa mittauksissa oli mahdollista käyttää samoja asetuksia. Alkumittauksen aikana elektrodien oikeat kiinnityspaikat merkittiin musteella koehenkilöiden iholle SENIAM:n (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles) (Hermens ym. 2000) ohjeiden mukaisesti etäisyydelle  $2/3$  anterior spina iliaca superiorin ja patellan lateraalisen sivun väliselle linjalle lihaksen korkeimpaan kohtaan. Elektrodit kiinnitet-

tiin lihassäikeiden oletetun pennaatiokulman suuntaisesti, joten niiden kiinnittäminen onnistui samoihin paikkoihin kullakin mittauskerralla.

## 6.4 Harjoittelu

Harjoitteluinterventio kesti 24 viikkoa, jonka välimittaukset jakoivat kahteen eri harjoittelujaksoon. Harjoitukset suunniteltiin intensiteetiltään progressiivisesti eteneviksi – eli kuormat kasvoivat vaiheittaisesti. Koehenkilöt KV ja VK ryhmissä (harjoitukset samalla kertaa) suorittivat ensimmäisellä harjoitusjaksolla 2 ja toisella harjoitusjaksolla 2 - 3 harjoitusta viikossa suoritusjärjestyksellä, joka oli riippuvainen omasta ryhmästä: kestävyys + voima tai voima + kestävyys. Koehenkilöt, jotka tekivät kestävyys- ja voimaharjoitukset eri päivinä (K + V), harjoittelivat viikossa 4 kertaa ensimmäisellä harjoitusjaksolla ja 4 – 6 kertaa toisella harjoitusjaksolla. Kaikkien koehenkilöiden harjoittelun kokonaisvolyymi oli sama, vaikka harjoitusten toteutusmuodot erosivat toisistaan ryhmien välillä. Kaikki harjoitukset suoritettiin Jyväskylän yliopiston Liikuntabiologian laitoksen kuntosalilla pienryhmissä ja jokainen harjoituskerta oli valvottu. Harjoituksen valvojan tehtävänä oli varmistaa suoritustekniikat, auttaa kaikissa tilanteissa ja varmistaa koehenkilöiden läsnäolo. Harjoituskuormaa vähennettiin harjoitusviikoilla 12 ja 24 ennen mittauksia laskemalla harjoittelun määrää ja intensiteettiä, eli vähentämällä voimaharjoittelussa sarjojen määrää ja kuormia sekä kestävyysharjoittelussa korkean intensiteetin harjoittelun osuutta.

*Kestävyysharjoittelu.* Kestävyysharjoittelu suoritettiin pyöräergometrillä sisätiloissa ja harjoituksen intensiteettiä tarkkailtiin sykemittarin (Polar S410, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) avulla. Koehenkilöiden tuli ylläpitää mittausten mukainen poljinnopeus (70 rpm) kaikissa harjoituksissa ja säätää ergometrin vastusta halutun harjoituskuorman saavuttamiseksi. Harjoitukset suoritettiin a) yhtäjaksoisena pyöräilynä aerobista kynnystä (AerK) alemmilla sykkeillä ja b) intervallityyppisenä pyöräilynä, jolloin verryttelyn jälkeen suoritettiin eripituisia intervaleja aerobisen tai anaerobisen (AnK) kynnyssykkeen yläpuolella. Kynnyssykkeet laskettiin alku- ja välimittausten suoran hapenottokykytestin tulosten (laktaatti, ventilaatio, VO<sub>2</sub> ja VCO<sub>2</sub>) avulla (Aunola & Rusko 1986). Kestävyysharjoittelun intensiteettiä ja harjoittelun kestoja kasvatettiin molempien 12 viikon harjoittelujaksojen sisällä lähes samankaltaisesti, mutta jälkimmäisellä harjoitusjak-

solla harjoittelun volyyymi ja intensiteetti nousi vielä korkeammalle. Kestävyysharjoituksia oli viikossa yksi tai kaksi ja niiden tarkempi ohjelmointi on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Kestävyysharjoittelun ohjelmointi harjoitusjaksoilla 1 ja 2 eroteltuna viikon ensimmäisen (harjoitus 1) ja toisen (harjoitus 2) harjoituksen osalta. AerK = Aerobinen kynnys, AnK = Anaerobinen kynnys, < 5 – 10 HR alle, > 5 – 10 HR yli, ~kynnyksellä ( $\pm 5$  HR)

Harjoitusvko	Harjoitus 1			Harjoitus 2		
	Intensiteetti	Muoto	Kesto (min)	Intensiteetti	Muoto	Kesto (min)
<b>Jakso 1</b>						
vko 1 – 3	<AerK	yhtäjaksoinen	30	-		
vko 4 – 7	< ja >AerK	yhtäjaksoinen	30	<AerK	yhtäjaksoinen	45
vko 8 – 9	<AerK, ~AnK	intervalli	45	< ja >AerK	yhtäjaksoinen	50
vko 10 – 11	>AerK, >AnK	intervalli	45	<AerK - >AnK	intervalli	45 – 50
vko 12	>AerK - > AnK	intervalli	35 – 45	-		
<b>Jakso 2</b>						
vko 13 – 14	< ja >AerK	yhtäjaksoinen	40 – 45	-		
vko 15 – 16	~AerK ja >AnK	yhtäjaksoinen	30 – 35	~AerK	yhtäjaksoinen	30 – 45
vko 17 – 20	<AerK ja ~AnK	intervalli	25 – 45	~ ja >AerK	yhtäjaksoinen	30 – 50
vko 21 – 23	>AerK - >AnK	intervalli	25 – 50	-		
vko 24	<AerK ja >AnK	intervalli	25	-		

*Voimaharjoittelu.* Voimaharjoittelua tehtiin kaikille suurimmille lihasryhmille: jalkojen sekä käsien koukistajat ja ojentajat sekä vartalon lihakset. Käytetyt liikkeet on esitetty taulukossa 5. Suurin huomio kohdistui kuitenkin jalkojen koukistajiin ja ojentajiin. 24 viikon harjoitusintervention aikana voimaharjoittelun ohjelmointi toteutettiin taulukon 6 mukaisesti. Kummankin harjoitusjakson kahdella ensimmäisellä viikolla voimaharjoitukset toteutettiin kuntopiirinomaisesti, jonka jälkeen harjoittelun tavoite siirtyi lihasten hypertrofiaan ja maksimivoimaan. Harjoitusjakson viimeisen kahden viikon aikana harjoitteluun lisättiin myös räjähtävää voimaharjoittelua. Molempien 12 viikon harjoitusjaksojen aikana voimaohjelman rakenne pysyi samana, mutta harjoittelun volyyymiä ja frekvenssiä nostettiin hieman jälkimmäisellä harjoitusjaksolla. Jokaisen voimaharjoituksen pituus oli n. 30 – 50 minuuttia, jolloin yhden yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoituksen kokonaispituus oli n. 60 – 100 min ryhmillä KV ja VK.

*Harjoituspäiväkirja.* Jokaisella koehenkilöllä oli oma henkilökohtainen harjoituspäiväkirja sekä kestävyys- että voimaharjoituksia varten, joihin oli valmiiksi merkitty harjoitusohjelma. Harjoituspäiväkirjaa tuli täydentää harjoituksen edetessä (harjoituksen päivämäärä; tehdyt harjoitteet, sarjat ja toistot; sykkeet). Harjoituspäiväkirjat olivat jaksoittaisia ja koehenkilöt eivät saaneet niitä mukaansa, vaan ne säilytettiin kuntosalin läheisyydessä lukitussa kaapissa.

TAULUKKO 5. Voimaharjoitteluohjelman harjoitteet.

- 
- bilateraalinen jalkaprässi, horisontaalinen
  - bilateraalinen ja unilateraalinen reisienkki: ojennus ja koukistus
  - pystypunnerrus, tangolla
  - ylätalja
  - selänojennus (selkäpenkki), tarvittaessa lisäpainot
  - vatsarutistus (vatsapenkki), tarvittaessa lisäpainot
  - lisäksi: vipunosto, kyynärpään ojennus (talja), hauiskääntö
- 

TAULUKKO 6. Voimaharjoittelun ohjelmointi alavartalon liikkeiden (jalkaprässi, jalkojen ojennus ja koukistus reisienkissä) osalta harjoitusjaksoilla 1 ja 2.

	Harjoitusvko	Kuorma (%)	Sarjat	Toistot	Lepo (min)
<b>Jakso 1</b>	vko 1 – 3	40 – 80	2 – 3	10 – 20	ei (kuntopiiri)
	vko 4 – 7	70 – 85	2 – 3	10 – 15	1,5 – 2
	vko 8 – 12	80 – 95	3 – 5	3 – 10	1 – 3
<b>Jakso 2</b>	vko 13 – 14	40 – 60	3	12 – 20	ei (kuntopiiri)
	vko 15 – 16	65 – 80	2 – 3	10 – 12	1,5 – 2
	vko 17 – 20	80 – 85	2 – 4	8 – 10	1,5 – 2
	vko 21 – 24	80 – 95	2 – 5	3 – 10	2,5 – 3

## 6.5 Tilastolliset menetelmät

Kaikki tulokset on esitetty muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta. Aineiston käsittely ja tilastolliset analyysit suoritettiin Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) -ohjelmalla ja SPSS tilasto-ohjelmiston versioilla PASW Statistics 20.0 ja 22.0 (IBM Inc, Chigago, IL, Yhdysvallat). Excelin avulla on laskettu

keskiarvot ja -hajonnat, mutta vaativampiin tilastollisiin analysointeihin käytettiin SPSS ohjelmistoa. Kaikki tulokset olivat normaalisti jakautuneita. Ryhmien sisäinen vertailu toteutettiin absoluuttisilla tuloksilla käyttäen ANOVAN toistomittausta Bonferroni-korjauksella. Ryhmien välinen vertailu toteutettiin absoluuttisilla muutoksilla viikkojen 0, 12 ja 24 välillä suhteuttamalla ne lähtötasoon käyttäen yksisuuntaista varianssianalyysiä (One-Way ANOVA) ja Bonferronin post hoc-analyysiä. Samaa menetelmää käytettiin ryhmien välisten lähtötasojen vertailuun alkumittausten absoluuttisilla arvoilla. Submaksimaalisten kuormien hapenkulutus suorassa maksimaalisessa hapenotto-kykytestissä analysoitiin kuormilta, jotka kaikki koehenkilöt pystyivät suorittamaan kokonaisuudessaan (ts. 50, 75, 100, 125, 150 ja 175 W). Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$  ja \*\*\*  $p < 0.001$  sekä tilastollisen trendin rajaksi #  $p < 0.07$ .

## 7 TULOKSET

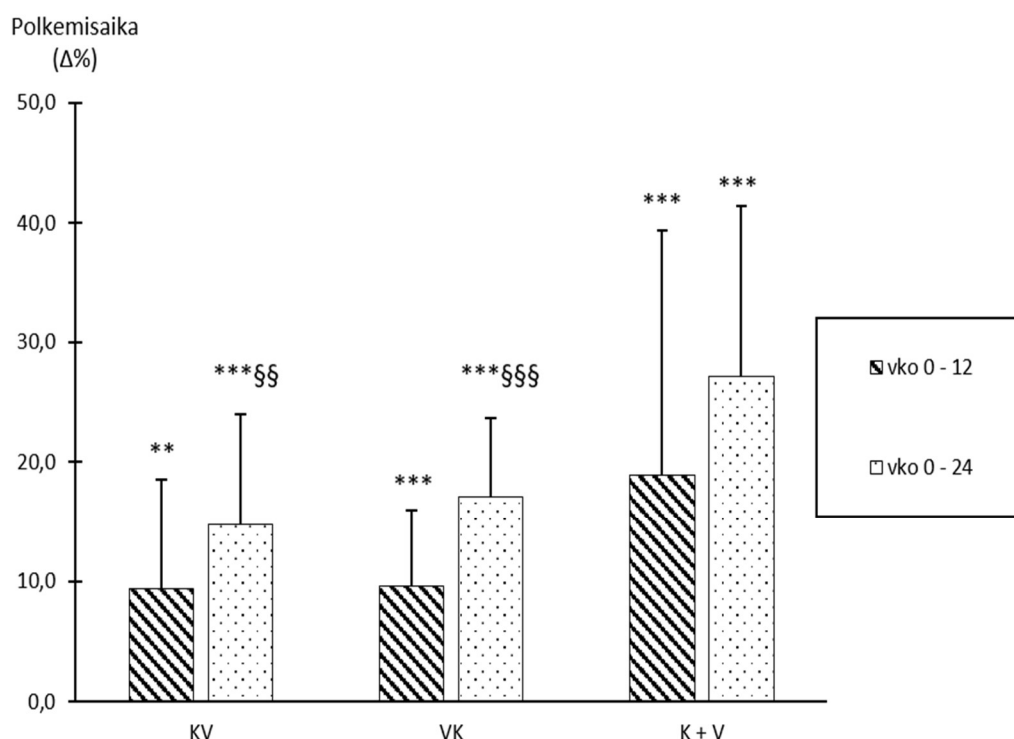
### 7.1 Kestävyyssuorituskyky

*Maksimaalinen työ (W).* Alkumittauksissa pyöräergometritestin maksimaalinen työn määrässä (W) oli merkitsevä ( $p < 0.05$ ) ero ryhmien KV ja K + V välillä. Maksimaalinen työn määrä lisääntyi merkitsevästi kaikilla ryhmillä väli- (KV  $7.8 \pm 8.8\%$   $p < 0.01$ ; VK  $9.4 \pm 6.9\%$   $p < 0.001$ ; K+V  $14.0 \pm 9.5\%$   $p < 0.001$ ) ja loppumittauksissa (KV  $12.6 \pm 8.7\%$ ; VK  $16.2 \pm 7.1\%$ ; K+V  $20.5 \pm 11.3\%$ ) ( $p < 0.001$ ) verrattuna alkumittauksiin sekä havaittavissa oli myös merkitsevä nousu jälkimmäisen 12 viikon harjoitusjakson aikana kaikilla ryhmillä (KV  $4.7 \pm 5.4\%$   $p < 0.01$ ; VK  $6.3 \pm 4.9\%$   $p < 0.001$ ; K+V  $5.7 \pm 4.0\%$   $p < 0.001$ ) (Taulukko 7.). Ryhmien välillä ei ollut eroja.

TAULUKKO 7. Suoran maksimaalisen hapenottookykytestin maksimitulokset.  $VO_{2max}$  = maksimaalinen hapenottokyky (ml/kg/min), loppuaika (min), max W = testin lopun maksimaalinen työn määrä (W). \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$  \*\*\*  $p < 0.001$  verrattuna vko 0 arvoon, §  $p < 0.05$  §§  $p < 0.01$  §§§  $p < 0.001$  verrattuna vko 12 arvoon, # tilastollinen trendi  $p < 0.07$ , †  $p < 0.05$  verrattuna K + V vko 0 arvoon

	vko 0	vko 12	vko 24
<b>KV</b>			
$VO_{2max}$ (ml/kg/min)	$42.2 \pm 7.2$ †	$44.0 \pm 6.3$ #	$44.6 \pm 5.1$ *
loppuaika (min)	$19.3 \pm 3.2$ †	$21.0 \pm 3.0$ **	$22.0 \pm 3.0$ ***§§
max W	$268 \pm 39$ †	$287 \pm 38$ **	$300 \pm 38$ ***§§
<b>VK</b>			
$VO_{2max}$ (ml/kg/min)	$42.5 \pm 7.0$	$45.2 \pm 6.9$ **	$45.3 \pm 6.9$ *
loppuaika (min)	$17.8 \pm 2.8$	$19.4 \pm 3.0$ ***	$20.7 \pm 3.0$ ***§§§
max W	$245 \pm 35$ †	$268 \pm 37$ ***	$284 \pm 37$ ***§§§
<b>K + V</b>			
$VO_{2max}$ (ml/kg/min)	$36.2 \pm 6.5$	$40.1 \pm 6.3$ ***	$42.4 \pm 6.6$ ***§§
loppuaika (min)	$16.5 \pm 2.3$	$19.4 \pm 3.4$ ***	$20.8 \pm 3.1$ ***
max W	$233 \pm 30$	$264 \pm 25$ ***	$279 \pm 28$ *§§§

*Testin loppuaika.* Pyöräergometritestin loppuaika (min) erosi ryhmien KV ja K + V välillä merkitsevästi ( $p < 0.01$ ) alkumittauksissa (Taulukko 7). Testin loppuaika kasvoi kaikilla ryhmillä merkitsevästi ( $p < 0.01$ ) 12 (KV  $9.4 \pm 9.1\%$ ; VK  $9.6 \pm 6.4\%$ ; K+V  $18.9 \pm 20.5\%$ ) ja 24 (KV  $14.7 \pm 9.2\%$ ; VK  $17.1 \pm 6.6\%$ ; K+V  $27.1 \pm 14.3\%$ ) viikon harjoittelun jälkeen verrattuna alkumittauksiin (Kuva 9). Lisäksi ryhmillä KV ( $5.0 \pm 6.1\%$ ) ja VK ( $7.0 \pm 5.5\%$ ) muutos viikkojen 12 ja 24 välillä oli merkitsevä ( $p < 0.01$ ). Ryhmien väliltä ei löydetty eroja.

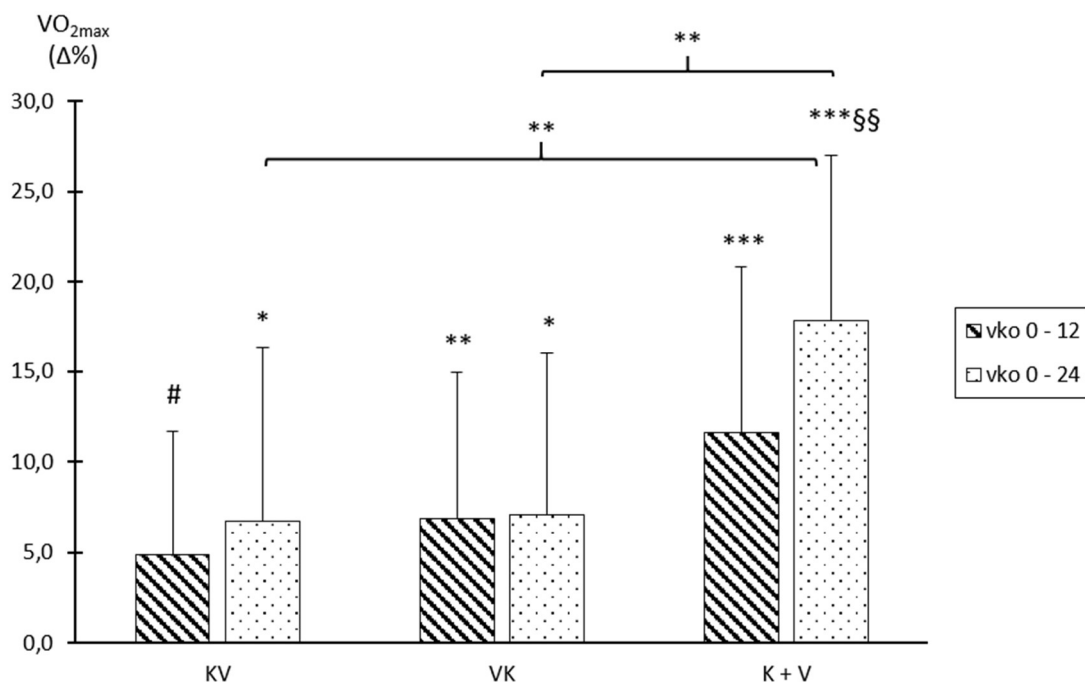


KUVA 9. Pyöräergometritestin loppuajan (min) prosentuaalinen muutos 12 ja 24 viikon harjoittelun jälkeen. \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$  \*\*\*  $p < 0.001$  verrattuna vko 0 arvoon, §  $p < 0.05$  §§  $p < 0.01$  §§§  $p < 0.001$  verrattuna vko 12 arvoon.

*VO<sub>2max</sub>.* Alkumittauksissa maksimaalinen hapenottokyky (VO<sub>2max</sub>) oli ryhmällä K + V merkitsevästi pienempi kuin muilla ryhmillä ( $p < 0.05$ ) (Taulukko 7). Maksimaalinen hapenottokyky suorassa pyöräergometritestissä kasvoi kaikilla ryhmillä merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) 24 viikon (KV  $6.7 \pm 9.7\%$ ; VK  $7.1 \pm 8.9\%$ ; K+V  $17.8 \pm 9.2\%$ ) sekä ryhmillä VK ( $6.9 \pm 8.1\%$ ) ja K+V ( $11.6 \pm 9.2\%$ ) myös 12 viikon harjoittelun jälkeen verrattuna alkumittauksiin (Kuva 10). Ryhmällä KV välimittausten muutos oli tilastollista merkitsevyyttä lähestyvä. ( $p < 0.06$ ) Lisäksi ryhmän K + V muutos jälkimmäisen 12 viikon harjoitusjakson aikana oli merkitsevä ( $5.8 \pm 7.1\%$   $p < 0.01$ ). 24 viikon harjoittelujakson



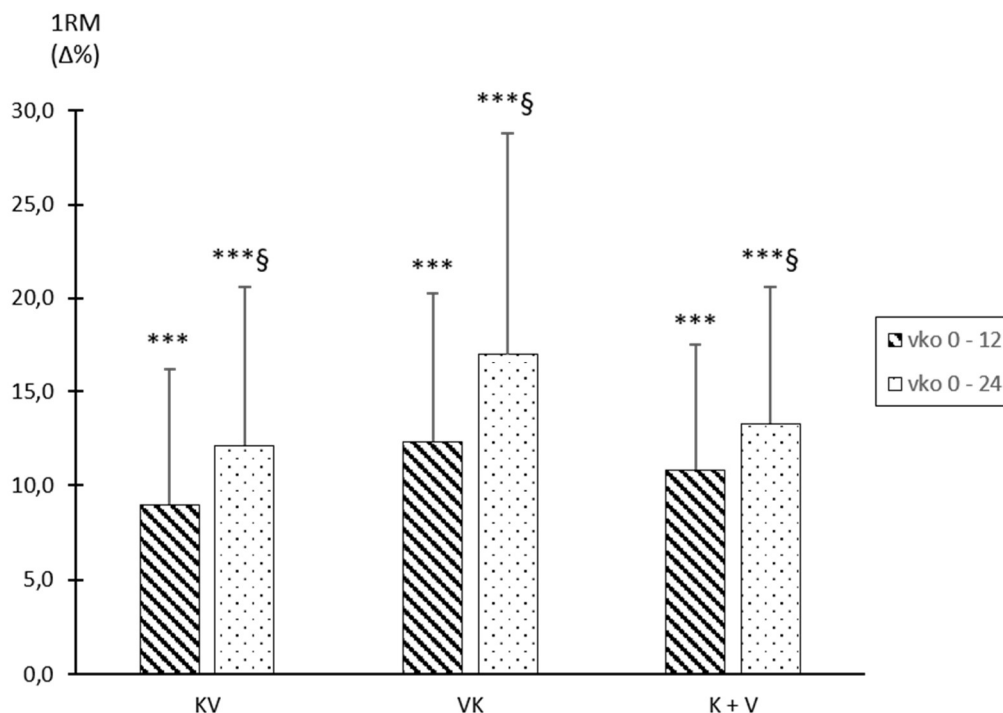
aikaiset muutokset (vko 0 – 24)  $VO_{2max}$ :ssa ryhmällä K + V erosi merkitsevästi ( $p < 0.01$ ) ryhmistä KV ja VK.



KUVA 10.  $VO_{2max}$ :n prosentuaalinen muutos 12 ja 24 viikon harjoittelun jälkeen. \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$  \*\*\*  $p < 0.001$  verrattuna vko 0 arvoon, §  $p < 0.05$  §§  $p < 0.01$  §§§  $p < 0.001$  verrattuna vko 12 arvoon, # tilastollinen trendi  $p < 0.07$ . Tilastollinen ero ryhmien välillä verrattuna viikkoon 0 = } \*\*  $p < 0.01$ .

## 7.2 Maksimivoima

*Yhden toiston maksimi jalkaprässissä (1 RM).* Alkumittauksissa yhden toiston maksimi (1RM) dynaamisessa jalkaprässissä erosi merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) ryhmien KV ( $159 \pm 30$  kg) ja K + V ( $142 \pm 23$  kg) välillä, mutta ei verrattuna ryhmään VK ( $143 \pm 23$  kg). Dynaamisen jalkaprässin 1RM lisääntyi kaikilla ryhmillä 24 viikon harjoittelun aikana merkitsevästi ( $p < 0.001$ ) kaikissa mittauspisteissä (Kuva 11). Ryhmien välisiä eroja ei havaittu.



KUVA 11. Dynaamisen jalkaprässin 1RM:n muutos 12 ja 24 viikon harjoittelun jälkeen. \*\*\*  $p < 0.001$  verrattuna vko 0 arvoon, §  $p < 0.05$  verrattuna vko 12 arvoon.

### 7.3 Taloudellisuus

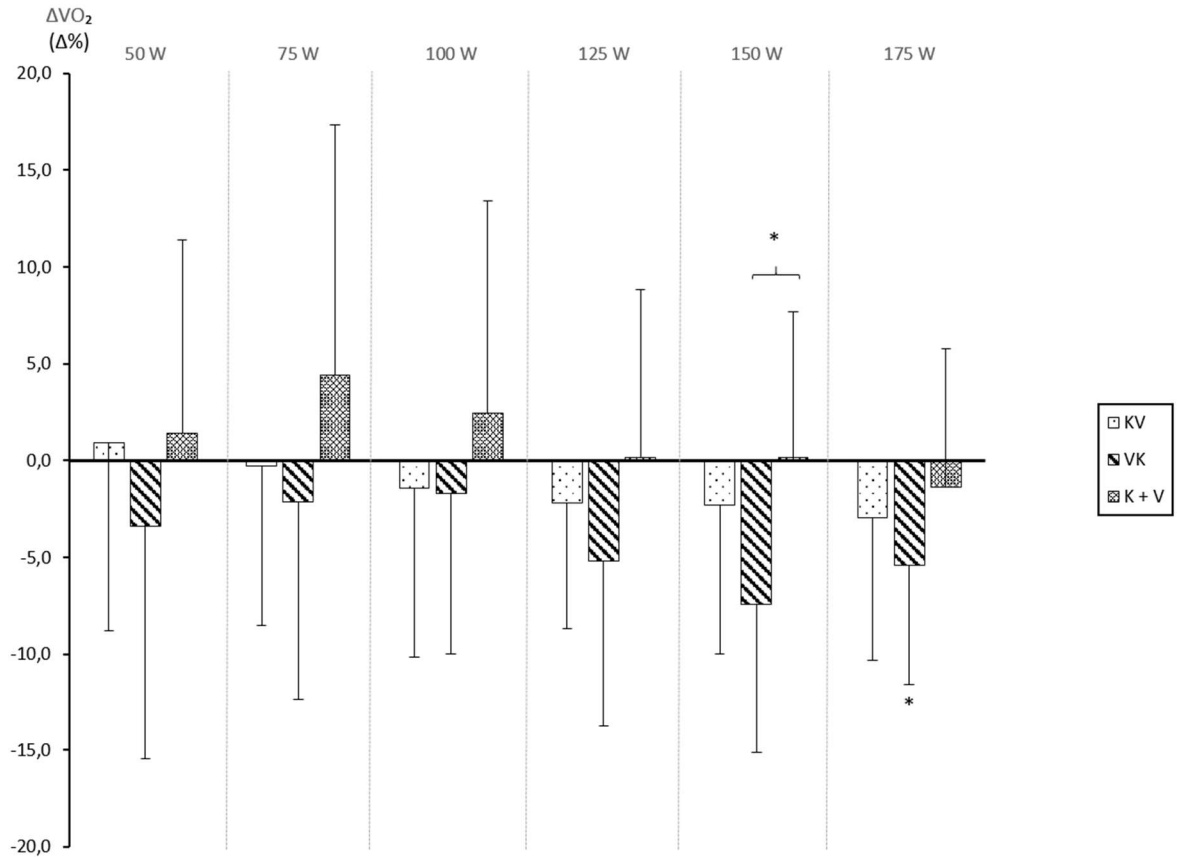
*Hapenkulutus ( $VO_2$ ) pyöräergometritestissä.* Alkumittauksissa hapenkulutus ( $VO_2$ ) submaksimaalisilla kuormilla (50 – 175 W) pyöräergometritestissä erosi merkitsevästi ryhmien VK ja K + V välillä (75W  $p = 0.013$ ; 125 W  $p = 0.019$ ; 150 W  $p = 0.003$ ; 175 W  $p = 0.007$ ). mutta eroa ryhmään KV ei ilmennyt (Taulukko 8). Harjoittelun seurauksena havaittiin merkitsevä muutos VK ryhmällä loppumittauksissa kuormalla 150 W ( $p = 0.003$ ). 175 W ( $p = 0.007$ ) ja 125 W tilastollista merkitsevyyttä lähestyvä muutos ( $p = 0.07$ ) sekä jälkimmäisen harjoitusjakson aikana kuormalla 175 W ( $p = 0.009$ ) ja tilastollista merkitsevyyttä lähestyvät muutokset kuormilla 150 W ( $p = 0.061$ ) ja 125 W ( $p = 0.067$ )(Kuva 10).

Submaksimaalisessa hapenkulutuksessa ei ollut havaittavissa merkitseviä eroja ryhmien välillä (Kuva 12). Ainoastaan loppumittauksissa havaittiin tilastollista merkitsevyyttä lähestyvä ero ( $p = 0.065$ ) ryhmien VK ja K + V välillä kuormalla 150 W, kun VK ryhmän hapenkulutus väheni 7.4 % ja K + V ryhmän hapenkulutus lisääntyi 0.2 %.

TAULUKKO 8. Suoran maksimaalisen hapenottokykytestin hapenottoarvot ( $\text{VO}_2$  ml/kg/min) submaksimaalisilla absoluuttisilla kuormilla 50 – 175 W 12 ja 24 viikon harjoittelun jälkeen. \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$  verrattuna vko 0 arvoon. §  $p < 0.05$  §§  $p < 0.01$  verrattuna vko 12 arvoon. # tilastollinen trendi  $p < 0.07$  verrattuna vko 0 arvoon. (#) tilastollinen trendi  $p < 0.07$  verrattuna vko 12 arvoon. †  $p < 0.05$  ††  $p < 0.01$  verrattuna VK vko 0 arvoon.

	vko 0	vko 12	vko 24
<b>KV</b>			
50 W	13.2 ± 1.7	13.2 ± 1.6	13.2 ± 1.2
75W	16.2 ± 2.1	15.9 ± 2.1	16.1 ± 1.5
100W	19.1 ± 2.7	18.7 ± 2.3	18.7 ± 1.9
125 W	22.2 ± 2.7	21.5 ± 2.7	21.6 ± 2.5
150 W	25.3 ± 3.4	24.9 ± 3.2	24.5 ± 2.9
175 W	29.0 ± 3.9	28.2 ± 3.6	28.0 ± 3.0
<b>VK</b>			
50 W	13.9 ± 1.5	14.2 ± 1.5	13.3 ± 1.4
75W	16.9 ± 1.3	17.1 ± 1.9	16.5 ± 1.9
100W	19.9 ± 1.8	20.0 ± 2.0	19.5 ± 2.4
125 W	23.7 ± 1.8	23.2 ± 2.5	22.5 ± 2.5#(#)
150 W	27.8 ± 2.2	26.7 ± 3.0	25.7 ± 2.9**(#)
175 W	31.4 ± 2.4	30.6 ± 3.4	29.7 ± 3.1**§§
<b>K + V</b>			
50 W	12.5 ± 1.9	12.8 ± 1.6	12.6 ± 1.5
75W	14.9 ± 2.4†	15.4 ± 1.6	15.3 ± 2.0
100W	18.0 ± 3.0	18.0 ± 2.1	18.2 ± 2.2
125 W	21.2 ± 3.3†	21.1 ± 2.7	21.1 ± 2.8
150 W	24.2 ± 3.4††	24.2 ± 3.0	24.4 ± 3.3
175 W	27.7 ± 4.0††	27.4 ± 3.5	27.5 ± 3.9

*EMG submaksimaalisessa dynaamisen jalkaprässin kuormituksessa.* Alkumittauksissa dynaamisen jalkaprässin submaksimaalisen kuormituksen lihasaktiivisuuden arvoissa ei havaittu tilastollisia ryhmien välisiä eroja (Taulukko 9.). EMG arvot lihaksessa VL ryhmällä VK nousivat merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) välimittauksissa ja loppumittauksissa verrattuna viikkoon 0. Muilla ryhmillä ei ollut havaittavissa merkitseviä muutoksia. Ryhmien väliltä ei löydetty eroja.



KUVA 12. Hapenkulutuksen ( $VO_2$  ml/kg/min) prosentuaalinen muutos submaksimaalisilla kuormilla koko 24 viikon harjoittelun jälkeen. \*  $p < 0.05$  verrattuna vko 0 arvoon. # tilastollinen trendi  $p < 0.07$  ryhmien välillä.

TAULUKKO 9. Submaksimaalisen voimakuormituksen 2 – 11 toiston keskiarvoistetut EMG (mV) tulokset lihaksessa VL. \*  $p < 0.05$  verrattuna vko 0 arvoon.

	vko 0	vko 12	vko24
KV	$0.288 \pm 0.111$	$0.290 \pm 0.110$	$0.290 \pm 0.110$
VK	$0.275 \pm 0.085$	$0.277 \pm 0.086^*$	$0.278 \pm 0.085^*$
K + V	$0.242 \pm 0.048$	$0.243 \pm 0.050$	$0.243 \pm 0.050$



Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan suositella kestävyys- ja voimaominaisuuksien kuormittamista eri harjoituksissa, jos halutaan kehittää maksimaalista kestävyysuorituskykyä. Kardiorespiratorisen taloudellisuuden kannalta voi kuitenkin olla optimaalisempaa kuormittaa näitä ominaisuuksia samassa harjoituksissa suoritusjärjestyksellä voima + kestävyys. Jokaisella yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun harjoitusprotokollalla on kuitenkin mahdollista saada aikaan positiivisia vaikutuksia maksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn.

## 8.1. Muutokset kestävyysuorituskyvyssä ja taloudellisuudessa

*Kestävyysuorituskyky.*  $VO_{2max}$  kehittyi 24 viikon harjoitusjakson aikana ryhmällä K + V väli- ja loppumittauksissa (12% ja 18%) kaksinkertaisesti verrattuna ryhmiin KV (5% ja 7%) ja VK (7% ja 7%). Lisäksi ainoastaan eri päivinä toteutettu yhdistetty harjoittelu tuotti lisäadaptaatioita jälkimmäisellä harjoitusjaksolla. Nämä tulokset eroavat aikaisemmista tutkimuksista, joiden mukaan yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun toteuttaminen eri päivänä tai samassa harjoituksessa ei vaikuta saatuun harjoitusvaikutukseen kestävyudessa (Sale ym. 1990, Arazi ym. 2011). Huomattava on, että kunkin tutkimuksen erilainen harjoitusohjelma voi vaikuttaa saatujen harjoitusvaikutusten taustalla. Aagardin ja Andersenin (2010) mukaan voimaharjoittelujakson tulee olla riittävän pitkä (> 12 vkoa) ja koostua korkean intensiteetin kuormituksesta (85 – 95 % 1RM), jotta voidaan saada aikaiseksi kehitystä pitkäkestoisessa kestävyysuorituskyvyssä kestävyysharjoitelleilla henkilöillä. Tässä tutkimuksessa voimaharjoittelun kuormat olivatkin kovia (70 – 95 % 1RM) suurimmalla osalla harjoitusviikoista, verrattuna Salen ym. (1990) kestovoimatyyppiseen voimaharjoitteluun.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat kuitenkin linjassa Robineaun ym. (2016) tutkimuksen kanssa, jonka mukaan vähintään 24 tunnin palautuminen vaaditaan kestävyys- ja voimaharjoitusten välille, jotta voidaan saavuttaa parhaat harjoitusadaptaatiot kestävyysuorituskyvyssä.  $VO_{2max:n}$  häiriintyminen samassa harjoituksessa toteutetussa yhdistetyssä harjoittelussa saattoi tutkijoiden mukaan johtua voimaharjoituksen aiheuttamasta akuutista hermo-lihasjärjestelmän väsymisestä huonontuen kestävyysharjoituksen laatua ja vähentäen aerobisen potentiaalin kehittymistä harjoitusjakson aikana. Tulosten taustalla vaikuttavia mekanismeja ei pystytty kuitenkaan täysin selittämään.

(Robineau ym. 2016.) Paremmen palautumisen lisäksi eri päivinä toteutetulla yhdistetyllä harjoittelulla saadaan nostettua harjoittelun viikoittaista frekvenssiä ja säännöllisempiä harjoitusärsyksiä elimistöön. Tässä tutkimuksessa samassa harjoituksessa toteutetun yhdistetyn harjoittelun häiritsevyys  $VO_{2max}$ :n suhteen johtuu mahdollisesti yllirasituksesta Leverittin ym. (1999) kroonisen hypoteesin mukaisesti, koska kukin harjoituskerta oli suhteellisen kuormittava (~60 – 100 min) aikaisemmin harjoittelemattomille koehenkilöille.

Huomattava on kuitenkin vielä lähtötasojen erot ryhmien välillä, koska ryhmällä K + V  $VO_{2max}$  oli merkitsevästi alhaisempi alkumittauksissa. Alhaisemman lähtötason johdosta ryhmän K + V koehenkilöillä oli kenties paremmat mahdollisuudet suurempiin kehityksiin ja suuremmat harjoitusvaikutukset olivat odotettavissa. Lähtötasoon normalisoidujen suhteellisten muutosten isot erot ryhmien välillä (18 vs. 7 vs. 7 %) ei kuitenkaan voi selittyä ainoastaan alkumittausten eroilla ja eri päivinä toteutetun yhdistetyn harjoittelun voidaan todeta olleen tehokkaampaa  $VO_{2max}$ :n kehittymisen näkökulmasta.

*Kardiorespiratorinen taloudellisuus.* Merkitsevä parannus kardiorespiratorisessa taloudellisuudessa oli havaittavissa vain ryhmällä VK eikä ryhmien väliltä löydetty merkitseviä eroja. Ainoastaan ryhmien K + V ja VK välinen ero lähestyi tilastollista merkitsevyyttä ja voi antaa viitteitä siitä, että yhdistetty harjoittelua samassa harjoituksessa suoritusjärjestyksellä voima + kestävyys tuo näistä harjoitusprotokollista parhaimmat harjoitusvaikutukset taloudellisuuteen.  $VCO_2$ :n (uloshengitetty hiilidioksidi) tasaantuminen (steady-state) vie yli neljä minuuttia, joten kardiorespiratorista taloudellisuutta arvioidessa hengityskaasujen avulla työkuormien tulisi olla pidempiä (Hopker ym. 2009). Tässä tutkimuksessa kuormien kesto oli vain kaksi minuuttia, joten hengityskaasumuuttujat eivät luultavasti ehtineet tasaantua täysin ennen vastuksen lisäämistä ja näin eroja taloudellisuuden kehittämisessä ei välttämättä saatu esiin. Kestävyysuorituskyvyn arvioimisen testiksi kuitenkin valikoitui paljon käytetty suora maksimaalinen hapenottokykytesti pyöräergometrilaitteella, koska samasta testistä oli tällöin mahdollista tutkia maksimaalisen ja submaksimaalisen kestävyysuorituskyvyn muuttujia.

## 8.2 Muutokset voimassa ja lihasaktiivisuudessa

*Maksimivoima.* Alaraajojen maksimaalinen voima kehittyi kaikilla ryhmillä harjoittelun seurauksena eikä ryhmien väliltä löydetty eroja. Saadut tulokset antavat hieman viitteitä siitä, että samassa harjoituksessa toteutettu yhdistetty harjoittelu heikentää maksimivoiman kehittymistä, jos kestävyysosio suoritetaan ensin ja on linjassa Cadoren ym. (2013) tutkimuksen kanssa. Ryhmä VK paransi maksimivoimaansa 12 viikon harjoittelun seurauksena saman verran kuin ryhmä KV 24 viikon harjoittelun aikana ja pystyi edelleen kehittämään jälkimmäisellä 12 viikon harjoitusjaksolla.

*Neuromuskulaarinen taloudellisuus.* Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun erilaiset protokollat eivät tuoneet suuria muutoksia lihasaktiivisuuteen (EMG) dynaamisessa jalkaprässikuormituksessa. Ainoastaan ryhmän VK lihasaktiivisuus kasvoi hieman harjoittelun seurauksena (<1 %). Voimaharjoittelun avulla vahvemmat yksilöt voivat mahdollisesti työskennellä prosentuaalisesti alhaisemmillä voimatasoilla submaksimaalisen kuormituksen aikana, jolloin rekrytoidaan enemmän oksidatiivisia tyypin 1 lihassoluja ehkäisten väsymystä ja tehden suorituksesta taloudellisempaa (Mikkola ym. 2007a, Cadore ym. 2011c). Neuromuskulaarisen taloudellisuuden kehittyessä lihasaktiivisuuden tulisi siis laskea tietyllä submaksimaalisella kuormalla, mitä ei ollut havaittavissa ollenkaan tässä tutkimuksessa. Myös Cadoren ym. (2011b) tutkimuksessa voimakuormituksen lihasaktiivisuus laski ainoastaan voimaharjoitteluryhmällä, joka tässä tutkimuksessa ei ollut edustettuna. Epäselväksi vielä jää, vaikuttiko lihasaktiivisuuksien muuttumattomuuden taustalla tässä tutkimuksessa harjoitusohjelmaan vai menetelmään liittyvä tekijät.

Näin marginaalisten lihasaktiivisuuksien muutoksien pohjalta tuskin on mielekäästä tai mahdollista tehdä päätelmiä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksista neuromuskulaariseen taloudellisuuteen. Lisäksi johtopäätösten tekeminen pyöräilyn neuromuskulaarisen taloudellisuuden suhteen on vaikeaa, koska lihasaktiivisuutta ei mitattu varsinaisen pyöräilysuorituksen aikana.



### 8.3 Tutkimuksen vahvuuden ja heikkoudet

Tutkimuksessa huolehdittiin mahdollisimman tarkasti mittausten vakioinnista ja kaikki koehenkilöt suorittivat jokaiset testit yhteneväisellä laitteistolla. Mittausten aikataulutus järjestettiin myös siten, että jokainen koehenkilö suoritti mittauksensa samaan aikaan päivästä ( $\pm 1$  h). Näiden tekijöiden kautta mittausten luotettavuus oli hyvä. Mittauksia oli tekemässä useita henkilöitä ja mittaajista johtuvat erot voivat hieman vaikuttaa saatujen tulosten luotettavuuteen. Jokaisella testillä oli kuitenkin omat päävastuulliset mittaajansa, jotka olivat mukana pääsääntöisesti jokaisen koehenkilön mittauksissa.

Kaikki harjoitukset suoritettiin myös vakioituissa olosuhteissa ja valvojan läsnä ollessa. Näin harjoittelun laadukkuus (oikeat suoritustekniikat, maksimaalinen yritys ja motiivointi) voitiin varmistaa ja taata kaikille koehenkilöille samanlainen harjoitteluympäristö vuodenajasta riippumatta. Lisäksi koehenkilöt pyrittiin jakamaan kolmeen mahdollisimman homogeeniseen harjoitusryhmään lähtötason mukaan. Tutkimuksen tulokset kuitenkin osoittavat, että ryhmien välillä oli merkitseviä eroja alkumittauksissa. Nämä erot syntyivät koehenkilöiden poisjäätien takia ryhmiin jakamisen jälkeen. Ryhmien välisten erojen tarkastelua varten harjoittelujakson aikaiset muutokset normalisoitiinkin alkumittausten arvojen suhteen.

Tutkimuksessa toteutettiin 24 viikon harjoitusinterventio ja kattavat mittaukset alussa, lopussa ja tutkimuksen puolivälissä. Tutkimustulosten perusteella voidaan tehdä päätelmiä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksista siis melko pitkällä aikavälillä, kun useimmat aiheeseen liittyvät tutkimukset ovat kestäneet maksimissaan 12 viikkoa. Lisäksi tutkimuksen pitkän keston ansiosta on mahdollista tutkia, tasaantuvatko harjoitteluadaptaatiot välimittausten jälkeen vai onko yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla mahdollista saada positiivisia adaptaatioita suorituskykyyn vielä 12 viikonkin harjoittelun jälkeen samassa määrin kuin ensimmäisen 12 viikon aikana.

### 8.4 Yhteenveto ja käytännön sovellutukset

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta 24 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tuovan positiivisia adaptaatioita kestävyys- ja suorituskykyyn ja alaraajojen



mahdollista kehittää yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun avulla pyöräilysuorituksen neuromuskulaarista taloudellisuutta, joten mielenkiintoista olisi saada tietoa myös vastaavan harjoittelun vaikutuksista muille kohderyhmille.

## 9 LÄHTEET

- Aagaard. P. & Andersen. J. L. 2010. Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20. 39 – 47.
- Aagaard. P., Andersen. J. L., Bennekou. M., Larsson. B., Olesen. J. L., Crameri. R., Magnusson. S. P., Kjær. M. 2011. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fibre composition in young top-level cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21. 298 – 307.
- ACSM. 2009a. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8. Painos. American College of Sport Medicine. Baltimore. Williams & Wilkins.
- Arazi. H. Faraji. H., Moghadam. M. G. & Samadi. A. 2011. Effects of concurrent exercise protocols on strength, aerobic power, flexibility and body composition. *Kinesiology* 43. 155 – 162.
- Aspenes. S., Kjendlie P-L., Hoff. J. & Helgerud. J. 2009. Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine* 8. 357 – 365.
- Barrett-O’Keefe. Z., Helgerud. J., Wagner. P. D. & Richardson. R. S. 2012. Maximal strength training and increased work efficiency: contribution from the trained muscle bed. *Journal of Applied Physiology* 113. 1846–1851.
- Bassett. D. R. & Howley. E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32. 70 – 84.
- Bell. G. J., Syrotuik. D., Martin. T. P., Burnham. R. & Quinney. H. A. 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology* 81. 418 – 427.
- Bishop. D., Jenkins. D. G., Mackinnon. L. T., McEniery. M. & Carey. M. F. 1999. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31. 886 – 891.

- Brunetti, A. P., Adolfo, J., Brum P. P., Sampaio, V. M., Dantas, E. H. M. & Santos M. A. A. 2008. The influence of the order of concurrent training session over the acute response of the blood lactate, heart rate and oxygen up take. *Fitness & Performance Journal* 7. 326-31.
- Bottinelli, R., Pellegrino, M. A., Canepari, R., Rossi, R. & Reggiani, C. 1999. Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: an in vitro study. *Journal of Electromyographic Kinesiology* 9. 87–95.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Lhullier, F. L. R., Correa, C. S., Alberton, C. L., Pinto, S. S., Almeida, A. P. V., Tartaruga, M. P., Silva, E. M. & M. Kruel, L. F. 2010. Physiological effects of concurrent training in elderly men. *International Journal of Sports Medicine*. 31 Issue. 689.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Pinto, S. S., Alberton, C. L., Correa, C. S., Tartaruga, M. P., Silva, E. M., Almeida, A. P. V., Trindade, G. T. & Kruel, L. F. M. 2011a. Effects of strength, endurance and concurrent training on aerobic power and dynamic economy in elderly men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25. 758 – 766.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Alberton, C. L., Pinto, S. S., Lhullier, F. L. R., Tartaruga, M. P., Correa, C. S., Almeida, A. P. V., Silva, E. M., Laitano, O., & Kruel, L. F. M. 2011b. Neuromuscular economy, strength, and endurance in healthy elderly men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25. 997 – 1003.
- Cadore, E. L., Izquierdo, M., Alberton, C. L., Pinto, R. S., Conceição, M., Cunha, G., Radaelli, R., Bottaro, M., Trindade, G. T., Kruel, L. F. M. 2011c. Strength prior endurance intra-session exercise order sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Experimental Gerontology* 10. 1016.
- Cadore, E. L., Izquierdo, M., Pinto, S. S., Alberton, C. L., Pinto, R. S., Baroni, B. M., Vaz, M. A., Lanferdini, F. J., Radaelli, R., González-Izal, M., Bottaro, M. & Kruel, L. F. M. 2013. Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence. *The Official Journal of the American Aging Association* 35. 891 – 903.

- Chtara. M., Chamari. K., Chaouachi. M., Chaouachi. A., Koubaa. D., Feki. Y., Millet. G. P. & Amri. M. 2005. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *British Journal of Sports Medicine* 39. 555 – 560.
- Chtara. M., Chaouacr. A., Levin. G. T., Chaouachi. M., Chamari. K., Amri. M. & Laursen. P. B. 2008. Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *Journal of Strength & Conditioning Research* 22. 1037 – 1045.
- Collins. M. A. & Snow. T. K. 1993. Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training? *Journal of Sport Sciences* 11. 485 – 491.
- Coyle. E. F., Feltner. M. E. & Kautz. S. A. 1991. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 23. 93-107.
- Coyle. E. F., Sidossis. L. S., Horowitz. J. F. & Beltz. J. D. 1992. Cycling efficiency is related to the percentage of type 1 muscle fibers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 24. 782 – 788.
- Cutts. R. R. & Burns. S. P. 2010. Resistance and aerobic training sequence effects on energy consumption in females. *International Journal of Exercise Science* 3. 143-149.
- Davis. W. J., Wood. D. T., Andrews. R. G., Elkind. L. M. & Davis. W. B. 2008. Concurrent training enhances athletes' cardiovascular and cardiorespiratory measures. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22. 1503 – 1514.
- Dolezal. B. A. & Potteiger. J. A. 1998. Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. *Journal of Applied Physiology* 85. 695 – 700.
- Dudley. G. A. & Djamil. R. 1985. Incompatibility of endurance and strength training modes of exercise. *Journal of Applied Physiology* 56. 1446 – 1451.
- Dudley. G. A., Fleck. S. J. 1987. Strength and endurance training. Are they mutually exclusive? *Sports Medicine* 4. 79-85.

- Ferketich. A. K., Kirby. T. E. & Alway. S. E. 1998. Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiologica Scandinavica* 164. 259 – 267
- Folland. J. P. & Williams. A. G. 2007. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine* 37. 145–168.
- Gandevia. S. C. 2001. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews* 81. 1726 – 1789.
- Glowacki. S., Martin. S. E., Maurer. A. Baek. W., Green. J. S. & Crouse. S. F. 2004. Effect of resistance, endurance and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine & Science in Sports & Medicine* 36. 2119 – 2127.
- Gregory. T. L., McGuigan. M. R. & Laursen. P. B. 2009. Effect of concurrent resistance and endurance training on physiologic and performance parameters of well-trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23. 2280 – 2286.
- Halson. S. L. & Jeukendrup. A. E. 2004. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine* 34. 967.
- Hawley. J. A. 2002. Adaptations of skeletal muscle to prolonged intense endurance training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 29. 218–222.
- Heggelund. J., Fimland. M. S., Helgerud. J. & Hoff. J. 2013. Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. *European Journal of Applied Physiology* 113. 1563 – 73.
- Hennessy. L. C. & Watson. A. W. S. 1994. The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of Strength and Conditioning Research* 8. 12–19.
- Hermens. H. J., Freriks. B., Disselhorst-Klug. C. & Rau. G. 2000. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 10. 361 - 374

- Hickson. R. C. 1980. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology* 45. 225 – 263.
- Hickson. R. C., Dvorak. B. A., Gorostiaga. E. M., Kurowski. T. T. & Foster. C. 1988. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology* 65. 2285 – 2290.
- Hintzy. F., Mourot. L., Perrey. S. & Tordi. N. 2005. Effect of endurance on different mechanical efficiency indices during submaximal cycling in subjects unaccustomed to cycling. *Canadian Journal of Applied Physiology* 30. 520 – 528.
- Hoff. J., Gran. A. & Helgerud. J. 2002. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 12. 288 – 295.
- Hoppeler. H. 1986. Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle. *International Journal of Sports and Medicine* 7. 187 – 204.
- Hopker. J., Passfield. L., Coleman. D., Jobson. S., Edwards. L. & Carter. H. 2009. The effects of training on gross efficiency in cycling: a review. *International Journal of Sports & Medicine* 30. 845 – 850.
- Hunter. G., Demment. R. & Miller. D. 1987. Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 27. 269 – 275.
- Häkkinen. K., Alen. M., Kraemer. W. J., Gorostiaga. E., Izquierdo. M., Rusko. H., Mikkola. J., Häkkinen. A., Valkeinen. H., Kaarakainen. E., Romu. S., Ero-la. V., Ahtiainen. J. & Paavolainen. L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology* 89. 42 – 52.
- Häkkinen. K. & Komi. P. V. 1983. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 15. 455 – 460.
- Häkkinen. K., Komi. P. V., Alen. M. 1985. Effects of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinica* 125. 587 – 600.



- Häkkinen. K., Komi. P. V. & Tesch. P. A. 1981. Effect of combined concentric and eccentric training and detraining on force time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scandinavian Journal of Sport Sciences* 3. 50 – 58.
- Izquierdo. M., Häkkinen. K., Ibañes. J., Kraemer. W. J., & Gorostiaga. E. M. 2004a. Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and cardiovascular markers in middle-aged men. *European Journal of Applied Physiology* 94. 70 – 75.
- Izquierdo. M., Ibañes. J., Häkkinen. K., Kraemer. W. J., Larrión. J. L. & Gorostiaga. E. M. 2004b. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Medicine & Science in Sports & Medicine* 36. 435 – 443.
- Jackson. N. P., Hickey. M. S. & Reiser. R. F. 2007. High resistance/low repetition vs. low resistance/high repetition training: effects on performance of trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21. 289 – 95.
- Johnston. R. E., Quinn. T. J. & Vroman. N. B. 1997. Strength training in female distance runners: Impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11. 224 – 229.
- Keskinen. K. L., Häkkinen. K. & Kallinen. M. 2010. *Kuntotestauksen käsikirja*. Tammerprint Oy. Tampere.
- Kiens. B., Essen-Gustavsson. B., Christensen. N. J. & Saltin. B. 1993. Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in man: effect of endurance training. *The Journal of Physiology* 469. 459 – 478.
- Kraemer. W. J., Patton. J. F., Gordon. S. E., Harman. E. A., Deschenes. M. R., Raynolds. K., Newton. R. U., Triplett. N. T. & Dziados. J. E. 1995. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology* 78. 976 – 989.
- Laursen. P. B., Chiswell. S. E. & Callaghan. J. A. 2005. Should endurance athletes supplement their training program with resistance training to improve performance? *National Strength and Conditioning Association* 27. 50 – 55.

- Leveritt. M., Abernethy. P. J., Barry. B. K., & Logan. P. A. 1999. Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Medicine* 28.413–427.
- Losnegard. T., Mikkelsen. K., T. Rønnestad . B. R., Hallén . J., Rud . B. & Raastad. T. 2011. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21. 379 – 401.
- Louis. J., Hausswirth. C., Easthope. C. & Brisswalter. J. 2012. Strength training improves cycling efficiency in master endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology* 112. 631 – 40.
- Loveless. D. J., Weber. C. L., Haseler. L. J. & Schneider. A. D. 2005. Maximal leg-strength training improves cycling economy in previously untrained men. *Medicine & Science in Sports & Medicine* 37. 1231 – 1236.
- Marcinik. E. J., Potts. J., Schlabach. G., Will. S., Dawson. P. & Hurley. B. F.1991. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 23. 739 – 743.
- McArdle. W. D., Katch. F. I. & Katch. V. L. 2010. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins.
- McCarthy. J. P., Agre. J. C., Graf. B. K., Pozniak. M. A. & Vailas. A. C. 1995. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine and Science of Sports & Exercise* 27. 429 – 436.
- McCarthy. J. P., Pozniak. M. A. & Agre. J. C. 2002. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34. 511\_519.
- McCartney. N. 1999. Acute responses to resistance training and safety. *Medicine and Science of Sports & Exercise* 31. 31 – 37.
- Mero. A., Nummela. A., Keskinen. K. L. & Häkkinen. K. 2007. *Urheiluvallmennus*. VK-Kustannus Oy, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. s. 37 & 73.
- Mikkola. J. S., Rusko. H. K., Nummela. A. T., Paavolainen. L. M. & Häkkinen. K. 2007a. Concurrent endurance and explosive type strength training in crease activation and fast force production of leg extensors muscles in endurance athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21. 613 – 620.

- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T. & Häkkinen, K. 2007b. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *International Journal of Sports Medicine* 28. 602 – 611.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K. & Nummela, A. 2011. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *Journal of Sports Sciences* 29. 1359 – 1371.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F. & Candau, R. 2002. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO<sub>2</sub> kinetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34. 1351 – 1359.
- Minahan, C. & Wood, C. 2008. Strength training improves supramaximal cycling but not aerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology* 102. 659 – 666.
- Moritani, T. & DeVries, H. A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation* 58. 115 – 130.
- Nelson, A. G., Arnall, D. A., Loy, S. F., Jay, L., Conlee, S. & Conlee, R. K. 1990. Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Journal of the American Therapy Association* 70. 287 – 294.
- Østerås, H., Helgerud, J. & Hoff, J. 2002. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *European Journal of Applied Physiology* 88. 255 – 263.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology* 86. 1527 – 1533.
- Paton, C. D. & Hopkins, W. G. 2005. Combining explosive and high-resistance training improves performance in competitive cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19. 826 – 830.

- Psilander. N., Frank. P., Flockhart. M. & Sahlin. K. 2015. Adding strength to endurance training does not enhance aerobic capacity in cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 25. 353 – 359.
- Robineau. J., Babault. N., Piscione. J., Lacombe. M. & Bigard. X. 2016. The specific training effects of concurrent aerobic and strength exercise depends on recovery duration. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30. 672 – 83.
- Rønnestad. B. R., Hansen. E. A. & Raastad. T. 2011. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology* 112. 1457-66
- Sale. D. G., MacDougall. J. D., Jacobs. I. & Garner. S. 1990. Interaction between concurrent strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology* 68. 260 – 270.
- Schumann. M., Walker. S., Izquierdo. M., Newton. R. U., Kraemer. W. J. & Häkkinen. K. 2014. The order effect of combined endurance and strength loadings on force and hormone responses: effects of prolonged training. *European Journal of Applied Physiology* 114. 867 – 80.
- Shoemaker. J., Hodge. L. & Hughson. R. 1994. Cardiorespiratory kinetics and femoral artery blood velocity during dynamic knee extension exercise. *Journal of Applied Physiology* 77. 2625-2632.
- Singh. H. 1981. Principles of sports training. *Society for the National Institutes of Physical Education & Sports Journal* 4. 14-28.
- Sunde. A., Støren. Ø., Bjerkaas. M., Larsen. M. H., Hoff. J. & Helgerud. J. 2010. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24. 2157 – 2165.
- Støren. Ø., Helgerud. J., Støa. E. M. & Hoff. J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40. 1087 – 1092.
- Taipale. R., Mikkola. J., Vesterinen. V., Nummela. A. & Häkkinen. K. 2013. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or mix of both. *European Journal of Applied Physiology* 113. 325 – 335.

- Taipale. R. S., Schumann. M., Nyman. K., Mikkola. J., Kyröläinen. H., Nummela. A. & Häkkinen. K. 2014a. Acute neuromuscular and metabolic responses to combined strength and endurance loadings: examination of the “order effect” in recreationally trained males and females. *Journal of Sports Sciences*. 32. 1155-64.
- Taipale. R. S., Mikkola. J., Nummela. A. T., Sorvisto. J., Nyman. K., Kyröläinen. H. & Häkkinen. K. 2014b. Combined strength and endurance session order: differences in force production and oxygen uptake. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 10. 418 – 25.
- Tarasi. Z., Beiki. Y., Hossini. F. & Malaei. M. 2011. The effect of the sequence of concurrent strength and endurance training on aerobic capacity, anaerobic capacity and maximal strength of male adolescents. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5. 1195 – 1201.
- Valizadeh. A., Azmoon. H. & Meamarbashi. A. 2010. The effect of sequence order in combined trainings on maximal strength and aerobic capacity. *World Applied Sciences Journal* 10. 797 – 802.
- Vikmoen. O., Ellefsen. S., Trøen. Ø., Hollan. I., Hanestadhaugen. M., Raastad. T. & Rønnestad. B. R. 2016. Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO and cycling economy in female cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 26. 384 – 396.
- Wang. L., Mascher. H., Psilander. N., Blomstrand. E. & Sahlin. K. 2011. Resistance exercise enhances the molecular signaling of mitochondrial biogenesis induced by endurance exercise in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* 111. 1335 – 1344.
- Wilson. J. M., Marin. P. J., Rhea. M. R., Wilson. S. M. C., Loenneke. J. P. & Anderson. J. C. 2012. Concurrent training: A meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26. 2293–2307.
- Wood. R. H., Reyes. R., Welsch. M. A., Favaloro-Sabatier. J., Sabatier. M., Matthew Lee. C., Johnson. L. G. & Hooper. P. F. 2001. Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33. 1751 – 1758.

Zatriorsky. V. M. & Kraemer. W. J. 2006. Science and practice of strength training.  
Human Kinetics.