

**VOIMAHARJOITUSTEN AKUUTIT VAIKUTUKSET JA
TOISTOHARJOITUSVAIKUTUS JUOKSUN TALOUDELLISUUTEEN JA
KESTÄVYYSSUORITUSKYKYYN**

Oona-Mari Hakulinen

Pro Gradu, Valmennus- ja testausoppi

Liikuntabiologinen aineryhmä

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2020

Työnohjaajat: Juha Ahtiainen & Jussi Mikkola

TIIVISTELMÄ

Hakulinen, O-M. 2020. Voimaharjoitusten akuutit vaikutukset ja toistoharjoitusvaikutus juoksun taloudellisuuteen ja kestävyys suorituskykyyn. Liikuntabiologinen aineryhmä, Jyväskylän yliopisto. Valmennus- ja testausopin Pro Gradu -tutkielma, 74 s., 1 liite.

Johdanto. Voimaharjoittelun tiedetään edistävän juoksun taloudellisuutta ja kestävyys suorituskykyä, mutta lihasvaurioita aiheuttava voimaharjoitus saattaa akuutisti heikentää juoksusuoritusta. Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että samanlaisen harjoituksen toistuessaa haitalliset vaikutukset lievenevät, mikä perustuu palautumisen aikana kehossa tapahtuviin hermostollisiin, rakenteellisiin ja biokemiallisiin adaptaatioihin. Tästä ilmiöstä käytetään termiä *repeated bout effect (RBE, toistoharjoitusvaikutus)*. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hypertrofisen ja hermostollisen voimaharjoituksen vaikutuksia kaksi vuorokautta myöhemmin tehtävään kestävyysjuoksusuoritukseen sekä selvittää muuttuvatko akuutit vaikutukset juoksun taloudellisuuteen ja suorituskykyyn voimaharjoittelua toistettaessa.

Menetelmät. 12 kestävyyskuntoilijaa jaettiin hypertrofiseen (HYP) ja hermostolliseen (HER) voimaharjoitusryhmään. 4 viikon aikana tehtiin 4 kestävyysjuoksutestiä. Ensimmäinen testi oli kontrollitesti ilman voimaharjoitusta. 2 vrk ennen seuraavia kestävyystestejä tehtiin hypertrofisen tai hermostollisen voimaharjoituksen. Ennen jokaista kestävyystestiä tehtiin epäsuorat lihasvauriotestit. Kestävyystestissä juostiin 10 min 90 % vauhdilla anaerobisesta kynnysvauhdista ja sen jälkeen 10 min anaerobisella kynnysvauhdilla, joiden jälkeen vauhti nousi 1 km/h minuutin välein uupumukseen asti. Juoksun aikana mitattiin hapenkulutusta, sykettä, koettua kuormittuneisuutta, hengitysosamäärää, laktaattipitoisuutta, maksimivauhtia ja uupumukseen kulunutta aikaa. Voimaharjoittelun aiheuttamaa lihasarkuutta arvioitiin visuaalisen skaalan avulla (VAS). Tutkimuksessa vertailtiin voimaharjoitusten akuutteja vaikutuksia sekä toistoharjoitusvaikutusta juoksun taloudellisuuteen ja maksimisuorituskykyyn. Tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS Statistics 26.0 -ohjelmalla.

Tulokset. Kun vertailtiin tuloksia kontrollitestin ja ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeisen testin kesken, ei juoksun taloudellisuudessa tai maksimaalisessa kestävyys suorituskyvyssä havaittu muutoksia, vaikka HYP-ryhmässä koettu lihasarkuus oli suurta. Juoksun taloudellisuus parantui HYP-ryhmällä kertojen 1 ja 3 välillä ja palautui lähemmäksi kontrollitasoa, viitaten toistoharjoitusvaikutukseen. HER-ryhmässä laktaatti anaerobisella kynnyksellä laski testijakson aikana. Molemmissa ryhmissä uupumukseen kulunut aika parantui ja HER-ryhmässä parannus oli merkittävämpää. HER-ryhmässä saavutettu hapenotto ja laktaatti parantuivat testijakson aikana. HYP-ryhmässä saavutettu hapenotto laski testikertaan 2 asti.

Johtopäätökset. Hermostollinen voimaharjoittelu näyttäisi olevan turvallisempi tapa toteuttaa kestävyysjuoksijoiden voimaharjoittelua, jotta seuraavan kestävyysjuoksusuorituksen laatu ei kärsi ja harjoittelu on myös pitkällä tähtäimellä tuloksellista, mikäli ensisijaisena tavoitteena on kestävyysominaisuuksien kehittäminen. Erilaisten voimaharjoitusten toistoharjoitusvaikutusta kestävyys suoritukseen tulisi tutkia pidemmällä aikavälillä ja eliittitason kestävyysurheilijoilla.

Asiasanat: kestävyysjuoksu, toistoharjoitusvaikutus, yhdistelmäharjoittelu, kestävyys harjoittelu, voimaharjoittelu, juoksun taloudellisuus, kestävyys suorituskyky

ABSTRACT

Hakulinen, O-M. 2020. Acute Effects and Repeated Bout Effect of Strength Exercises on Running Economy and Maximal Endurance Performance. University of Jyväskylä, Master's thesis of sport coaching and fitness testing, 74 p. 1 appendices.

Introduction. Strength training is known to have beneficial effects to running economy and endurance performance. Even though muscle damaging strength exercise may acutely impair running performance, there is evidence that repeating strength session later may decrease the negative effects to next endurance running session, which is explained by neural, morphological and biochemical adaptations. This phenomenon is called *repeated bout effect* (RBE). The purpose of this study was to research acute effects of hypertrophic or neural strength exercises to subsequent endurance performance 2 days later. In addition the aim was to investigate possible repeated bout effect of strength sessions to running economy and maximal performance during three bouts. **Methods.** In total 12 participants, divided to hypertrophic (HYP) and neural (HER) groups took part to the study. During 4 weeks participants managed 4 endurance performance tests. The first endurance test was a control test without prior strength session and the next 3 test was performed 2 days after strength session (bouts 1, 2, 3), with one week between the bouts. Immediately before each endurance test indirect muscle damage markers were measured. Endurance test consisted of running 10 min at 90 % of anaerobic threshold, 10 min at anaerobic threshold and then until exhaustion increasing the speed 1 km/h every minute. During the running test oxygen consumption, heart rate, rate of perceived exertion, RER, lactate, maximal speed and time to exhaustion were measured. Subjective muscle soreness was asked using visual analogue scale (VAS 0-100%). The acute effects and repeated bout effect of two different type of strength sessions to running economy factors and maximal performance factors were analyzed and IBM SPSS Statistics 26.0 –programs was used to statistical analyses. **Results.** There was not acute effects of strength exercises to running economy or endurance performance, but in HYP-group the subjective muscle soreness was very significant after the first strength session. Running economy enhanced in HYP-group between the bouts 1 and 3 and came back toward control values, indicating RBE. In HER-group, lactate at anaerobic threshold lowered during testing period. Both groups enhanced time to exhaustion, but in HER-group the enhancement was greater. Achieved VO₂max and LAm_{ax} enhanced in HER-group during the testing period. In contrast, VO₂max decreased in HYP-group until the bout 2. **Conclusions.** Neural strength training seems to be more safe way to ensure good quality of subsequent endurance running session and to verify long time development of endurance properties, if that is the main goal. Repeated bout effect to endurance performance would be important to study more long term and among elite endurance athletes.

Key words: endurance running, repeated bout effect, concurrent training, endurance training, strength training, running economy, endurance performance

KÄYTETYT LYHENTEET

CMJ	counter movement jump, kevennyshyppy
DOMS	delayed onset muscle soreness, viivästynyt lihasarkuus
EIMD	exercise-induced muscle damage, harjoituksen aiheuttama lihasvaurio
RBE	repeated bout effect, toistoharjoitusvaikutus
RFD	rate of force development, voimantuottonopeus
RPE	rate of perceived exertion, koettu kuormittuneisuus
RT-SEP	resistance training-induced sub-optimization of endurance performance,
VO ₂	hapenkulutus
VO _{2max}	maksimaalinen hapenottoikyky

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	KESTÄVYYSSUORTUSKYKY JA HARJOITTELUN ADAPTAATIOT	3
2.1	Kestävyys suorituskykyä määrittävät tekijät	3
2.1.1	Maksimaalinen hapenotto kyky	4
2.1.2	Suhteellinen aerobinen teho ja pitkäaikainen kestävyys	4
2.1.3	Juoksun taloudellisuus ja hermo-lihasjärjestelmän toiminta	5
2.2	Kestävyys harjoittelu	7
2.3	Kestävyys harjoittelun vaikutukset	8
3	VOIMAHARJOITTELU	9
3.1	Hypertrofinen voimaharjoittelu	10
3.1.1	Hypertrofisen voimaharjoituksen välittömät vaikutukset	10
3.1.2	Hypertrofisen voimaharjoittelun pitkän aikavälin vaikutukset	11
3.2	Hermostollinen voimaharjoittelu	12
3.2.1	Hermostollisen voimaharjoituksen välittömät vaikutukset	13
3.2.2	Hermostollisen voimaharjoittelun pitkän aikavälin vaikutukset	13
3.3	Voimaharjoittelu ja lihasvauriot	14
4	TOISTOHARJOITUSVAIKUTUS	15
4.1	Toistoharjoitusvaikutuksen kesto	15
4.2	Harjoituksen kuormittavuus ja toistoharjoitusvaikutus	16
4.3	Teorioita toistoharjoitusvaikutuksen mekanismeista	17
4.3.1	Hermostolliset muutokset toistoharjoitusvaikutuksen taustalla	18

8.2	Epäsuorat lihasvauriomarkkerit	47
8.3	Juoksun taloudellisuus	49
8.4	Maksimaalinen juoksusuorituskyky	50
9	POHDINTA.....	53
	LÄHTEET	62
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tutkimusten sekä valmentajien ja urheilijoiden käytännön kokemuksen mukaan voimaharjoittelu on eduksi kestävyysuorituskyvyn kehittymisen kannalta. Kestävyysjuoksijoiden voimaharjoittelussa olisi hyvä tavoitella sellaisten fysiologisten ja hermostollisten adaptaatioiden saavuttamista, jotka edistävät juoksun taloudellisuutta sekä aerobisella ja anaerobisella teholla saavutettavaa vauhtia (Beattie ym. 2017). Voimaharjoittelun lisääminen harjoitusohjelmaan on myös haaste, sillä uudenlaisen voimaharjoitusärsyksen lisääminen nostaa harjoituskokonaisuuden rasittavuutta, voi akuutisti heikentää suorituskykyä seuraavissa kestävyysuorituksissa sekä saattaa pitkällä aikavälillä kokonaisrasituksen kasautuessa heikentää niin voiman kuin kestävyiden kehittymistä (Doma ym. 2017a).

Vaikka rasittava ja lihasvaurioita sekä -arkuutta aiheuttava voimaharjoitus saattaa akuutisti heikentää juoksusuoritusta, niin tutkimuksissa on myös havaittu, että samanlaisen harjoituksen toistaminen saattaa seuraavalla kerralla aiheuttaa vähäisempiä lihasvaurioita ja kestävyysuorituksen heikkenemistä (McHugh 2003; Burt ym. 2013; Doma ym. 2017b). Ilmiöstä käytetään kirjallisuudessa termiä *repeated bout effect* (RBE) ja sen on arvioitu liittyvän ensimmäisen voimaharjoituksen aiheuttamaan suojaan (McHugh 2003). Koska suomenkielistä käännoä kyseiselle termille ei kirjallisuudesta löydy, on tähän tutkimustyöhön valittu käytettäväksi termi *toistoharjoitusvaikutus*. Suojaavan vaikutuksen taustalla on todettu olevan muun muassa hermostollisia muutoksia, lihas-jännekompleksin rakenteellisia adaptaatioita, tulehdusvasteeseen liittyviä muutoksia sekä solun sisäisten rakenteiden uudelleen muotoutumista. Näiden muutosten vaikutuksesta keho on seuraavalla kerralla valmiimpi vastaanottamaan sellaista kuormitusta, joka on aikaisemmin saanut aikaan lihasvaurioita ja hermo-lihasjärjestelmän toimintakyvyn heikkenemistä. (Hyl Dahl ym. 2017.)

Aikaisemmissa tutkimuksissa, joissa on selvitetty voimaharjoittelun akuutteja vaikutuksia kestävyysuoritukseen sekä toistoharjoitusvaikutuksen ilmenemistä, on voimaharjoitusmuotona ollut vain yksi, usein rasittava konsentrisesti toteutettu hypertrofinen

voimaharjoitus (Burt ym. 2013; Doma ym. 2015; Doma ym. 2017b) tai runsaasti eksentrisiä toistoja sisältävä harjoitus (Chen ym. 2007). Tässä tutkimuksessa haluttiin hypertrofisen voimaharjoituksen rinnalla tarkastella kestävyysjuoksijoille suositellun ja tyypillisen hermostollisen voimaharjoituksen akuutteja vaikutuksia kestävyysuoritukseen. Toistoharjoitusvaikutusta on vielä toistaiseksi tutkittu vertailemalla lähinnä kahden voimaharjoituskerran vaikutuksia seuraavaan kestävyysuoritukseen, ja vain vähän löytyy tutkimustietoa useamman harjoituskerran vaikutuksista. Doman ym. (2017b) tutkimuksessa kuitenkin vertailtiin kolmen voimaharjoituksen akuutteja vaikutuksia kestävyysjuoksusuorituksen taloudellisuuteen ja suorituskykyyn. He havaitsivat, että vaadittiin kolme voimaharjoitusta, ennen kuin submaksimaalisen juoksusuorituksen taloudellisuus ei enää kärsinyt 48 tuntia voimaharjoituksen jälkeen. Maksimaalisen suorituskyvyn osalta vielä kolmannenkin voimaharjoituskerran jälkeen uupumukseen kulunut aikana oli heikentynyt 48 tunnin kuluttua voimaharjoituksesta (Doma ym. 2017b). Näin vähäisen tutkimustiedon vuoksi on selvästi tarpeen selvittää lisää toistoharjoitusvaikutuksesta kestävyysuorituskyvyn näkökulmasta vertaillen kahta erilaista voimaharjoitustyyppiä sekä vertailemalla useamman kuin kahden voimaharjoituskerran toistamisen vaikutuksia.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kahden erilaisen, *hypertrofisen* sekä maksimivoimaa ja plyometrisia harjoitteita (hyppelyt) sisältävän *hermostollisen* voimaharjoituksen akuutteja vaikutuksia kaksi vuorokautta myöhemmin toteutettavan kestävyysuorituksen taloudellisuuteen sekä maksimaaliseen suorituskykyyn. Lisäksi tarkoituksena on selvittää, kuinka hypertrofinen tai hermostollinen voimaharjoitus kolme kertaa toistettaessa vaikuttaa kyseisiin mahdollisiin akuutteihin seurauksiin kestävyysjuoksusuorituksessa, eli havaitaanko toistoharjoitusvaikutusta.

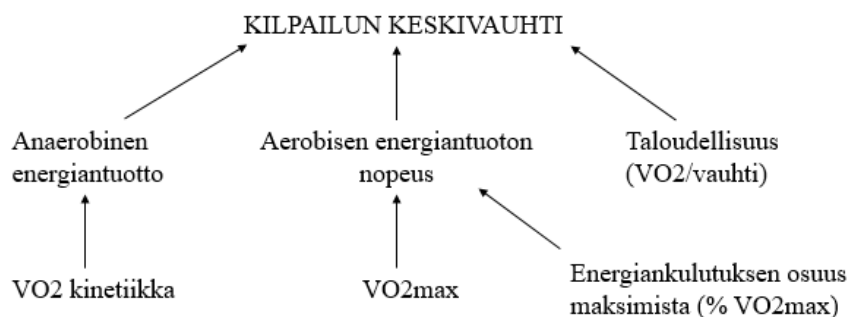
Aiheen tutkiminen antaa valmentajille ja urheilijoille lisää ymmärrystä, kuinka yhdistää voimaharjoittelu entistä tarkoituksenmukaisemmin kestävyysuoritteluun. Tämä on tärkeää, jotta pitkällä aikavälillä vältetään väsymyksen kasautuminen ja varmistetaan kestävyysurheilussa prioriteettina olevan kestävyysuorituskyvyn kehittyminen.

2 KESTÄVYSSUORTUSKYKY JA HARJOITTELUN ADAPTAATIOT

Kestävyysuorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä sekä optimaalisia harjoitusmetodeja kestävyysuorituskyvyn ja suorituksen taloudellisuuden parantamiseen on tutkittu jo kauan. Hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta on keskeinen kestävyysuorituskykyä määrittävä tekijä, sillä se vastaa suurelta osin hapen kulkeutumisesta työskenteleville lihaksille. Lisäksi liikkeen taloudellisuus sekä hapenkulutuksen suhteellinen osuus maksimaalisesta aerobisesta kapasiteetista ($\%VO_{2max}$) submaksimaalisella teholla liikuttaessa vaikuttavat kestävyysuorituskykyyn. Kestävyysharjoittelulla pyritään erityisesti vaikuttamaan hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaan sekä aiheuttamaan aineenvaihdunnallisia adaptaatioita lihassoluissa kuten edistämään rasva-aineenvaihduntaa sekä ehkäisemään laktaatin kerääntymistä. (Bassett & Howley 2000.)

2.1 Kestävyysuorituskykyä määrittävät tekijät

Kestävyysuorituskykyä suuresti määrittävä tekijä on maksimaalinen hapenotto (VO_{2max}), joka asettaa rajan aerobiselle energiantuotolle. Hyvä VO_{2max} pelkästään ei vielä riitä ennustamaan menestystä, sillä kestävyysuorituskykyyn vaikuttaa lisäksi pitkäaikainen aerobinen kestävyys ($\%VO_{2max}$), taloudellisuus sekä hermo-lihasjärjestelmän tehontuotto. (Jones ym. 2006; Migley ym. 2006; Bassett & Howley 2000.) Kuvassa 1 on esitetty Jonesin (2006) mukaan juoksusuorituksen kilpailuvauhtiin vaikuttavat tekijät.



KUVA 1. Kestävyysjuoksusuorituksen vauhtiin vaikuttavat tekijät (mukaeltu Jones 2006).

2.1.1 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalisella hapenottokyvyllä (VO_{2max}) tarkoitetaan suurinta mahdollista elimistön ulkoilmasta vastaanottamaa ja aerobiseen lihastyöhön käyttämää happimäärää. VO_{2max} on taso, jonka jälkeen kuormitusta nostettaessa hapenkulutus ei enää kasva. (McArdle ym. 2015, 165; Joyner & Coyle 2008.) Lajeissa kuten juoksussa, joissa kannatellaan omaa kehonpainoa, VO_{2max} ilmaistaan usein kehon painoon suhteutettuna (ml/kg/min). (Kenney ym. 2012, 122.) Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttaa hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta; happea siirtyy hengityselimistöstä verenkiertoon, jonka mukana happea kuljetetaan keuhkojen ja kudosten välillä. (Hynynen 2016, 117-127; Bassett & Howley 2000) Lisäksi lihassolujen kyky hyödyntää happea aineenvaihduntaan vaikuttaa VO_{2max} :iin. (McArdle ym. 2015, 461-497.) Sydämen läpi kulkeutuvan veren määrä aikayksikköä kohden, elimistön hemoglobiinimäärä, lihasten verenkierto, lihakseen kulkeutuva happimäärä ja keuhkojen kyky hapettaa verta ovatkin maksimaalista hapenottokykyä määrittäviä tekijöitä, joiden huippuarvot saavutetaan maksimaalisessa kuormituksessa. (Joyner & Coyle 2008.) Muita vaikuttavia tekijöitä ovat lihasmassan määrä, harjoittelusta, geenit, ikä ja sukupuoli (McArdle ym. 2015, 167; Kenney ym. 2012; Joyner & Coyle 2008).

2.1.2 Suhteellinen aerobinen teho ja pitkäaikainen kestävyys

Elintoimintojen ylläpitoon ja lihastyöhön tarvitaan ravinnosta saatavaa energiaa, joka muutetaan entsyymien säätelyssä kemiallisissa reaktioissa solujen hyödynnettävissä olevaksi ATP:ksi (adenosiinitrifosfaatti). Aerobisessa energiantuotossa tarvitaan sisäänhengitysilmaasta saatavaa happea, jota käytetään pääasiassa rasvojen ja hiilihydraattien hapettamiseen. Levossa energiaa tuotetaan lähes täysin rasvoja hapettamalla, mutta jo matalatehoisessa liikunnassa myös hiilihydraatteja on otettava käyttöön energiantuoton tehostamiseksi. Anaerobinen energiantuotto on huomattavasti nopeampaa, joten suoritustehon kasvaessa anaerobisen glykolyysin sekä välittömien energialähteiden eli ATP:n ja fosfokreatiinin (FK) käyttö tulevat välttämättömiksi, jotta lihasten energiansaanti turvautuu. (Nummela, 2016, 128-131.)

Suomessa käytetään termejä *aerobinen- ja anaerobinen kynnys*, jotka kuvaavat energia-aineenvaihdunnassa tapahtuvia selkeämmin havaittavia muutoskohtia suoritustehon kasvaessa progressiivisesti. Aerobinen kynnys saavutetaan, kun hengitys alkaa kiihtyä suhteessa hapenkulutukseen. Tämän arvioidaan johtuvan suureksi osaksi veren laktaatti- ja vetyionipitoisuuksien noususta ja puskuritoiminnan kiihtymisestä. Hiilidioksidin poistoa on tehostettava keuhkotuuletusta kasvattamalla. Aerobinen kynnys havaitaan myös veren laktaattipitoisuuden ensimmäisenä nousukohtana suhteessa perustasoon. Anaerobinen kynnys on korkein työteho, jossa laktaatin tuotto ja poisto pysyvät vielä tasapainossa. Tästä edelleen tehon kasvaessa energia-aineenvaihdunnan vaatimukset kasvavat, hengitystiheys kiihtyy edelleen, hiilidioksidin poisto suhteessa keuhkotuuletuksen kasvuun laskee ja vety- ja laktaattipitoisuuden nousu tapahtuvat nopeammin suhteessa työtehon kasvuun. Toisin sanoen, anaerobisen kynnyksen yläpuolella liikuttaessa happamuus kasvaa jatkuvasti, johtaen suorituskyvyn heikkenemiseen ja lopulta uupumiseen. (Hynynen 2016, 117-127; Nummela 2010, 51-59.)

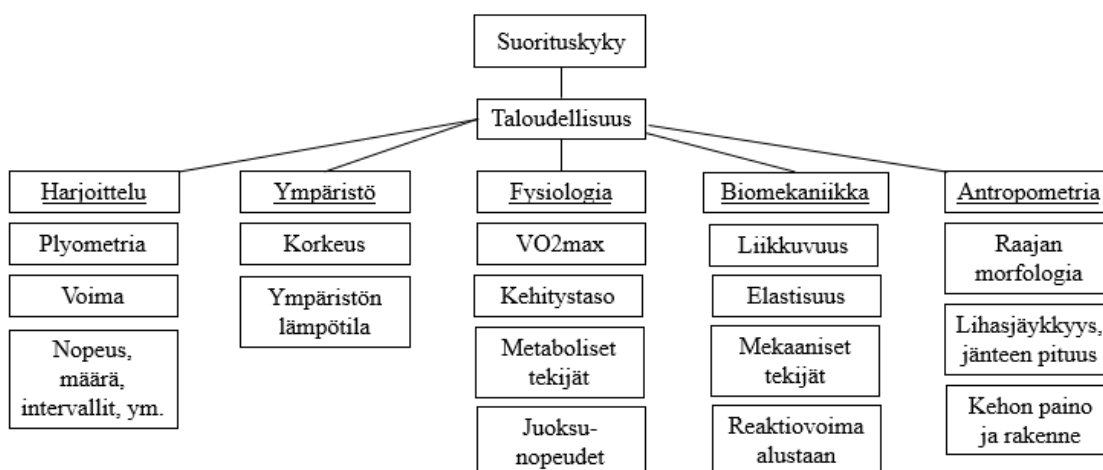
Maksimaalisessa kestävyysuorituksessa, jossa suorituksen kesto on enemmän kuin 10 tai 15 minuuttia, suurin osa suorituksesta tai koko suoritus tehdään vauhdilla, joka on maksimaalisen hapenoton tasoa matalampi. Esimerkiksi maratonilla teho on noin 75-85 % ja 10 km juoksumatkalla 90-100 % VO_{2max} :sta. Näin ollen, kilpailusuorituksessa parhaita juoksijoita ei erottelekaan toisistaan maksimaalinen hapenottookyky, vaan kyky työskennellä pitkään mahdollisimman suurella suhteellisella aerobisella teholla (% VO_{2max}). (Joyner & Coyle 2008.)

2.1.3 Juoksun taloudellisuus ja hermo-lihasjärjestelmän toiminta

Hyvää urheilullista kuntoa ja suorituskykyä määrittää hapenottokyvyn lisäksi organismissa, eli tässä tapauksessa ihmiselimistössä, tapahtuvien toiminnallisten prosessien taloudellisuus (Wasserman ym. 2011, Tzvetkovin 2017 mukaan). Taloudellisuudella tarkoitetaan käytännössä liikkumiseen tarvittavaa energiamäärää. Juoksun taloudellisuutta submaksimaalisella teholla voidaan arvioida mittaamalla hapenkulutusta (VO_2) sekä hengitysosamäärää (RER) suorituksen aikana. (Saunders ym. 2004.) Hapenkulutus tietyllä vauhdilla juostessa voi vaihdella yksilöiden välillä jopa 30-40 %. Lähes saman maksimaalisen

hapenottokyvyn sekä anaerobisen kynnysvauhdin omaavilla huippujuoksijoilla on havaittu suuriakin eroja submaksimaalisessa ja maksimaalisessa juoksuvauhdissa, mikä viittaa eroihin suorituksen taloudellisuudessa. (Joyner & Coyle 2008.)

Juoksusuorituksen taloudellisuuteen vaikuttavat perimään, harjoitteluun, ympäristöön sekä fysiologiaan ja biomekaniikkaan liittyviä tekijöitä (kuva 2). Huippu-kestävyysjuoksijoilla hitaiden ja kestävien, hyvin aerobiseen aineenvaihduntaan kykenevien tyypin I lihassolujen osuus on merkittävä, mikä on kestävyysjuoksun vauhteilla taloudellista. Kuitenkin, juoksun taloudellisuuden on havaittu liittyvän vahvasti myös muun muassa lihaksen rakenteeseen, lihaskompleksin elastisiin elementteihin sekä nivelen mekaanisiin ominaisuuksiin. (Joyner & Coyle 2008.)



KUVA 2. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät (Mukaeltu Saunders ym. 2004).

Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat biomekaaniset tekijät voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin. Sisäisiin biomekaanisiin tekijöihin sisältyvät 1) spatiotemporaaliset tekijät, jotka vaikuttavat esimerkiksi kontaktiaikaan, askelriheyteen ja askelpituuteen, 2) juoksun kinematiikka, kuten nivelkulmien suuruus, 3) juoksun kinetiikka eli liikkeeseen vaikuttavat voimat, esimerkiksi reaktivoimat sekä 4) hermo-lihasjärjestelmään liittyvät tekijät, kuten motoristen yksiköiden aktivoituminen. Ulkoisiin biomekaanisiin tekijöihin voidaan katsoa kuuluvaksi muun muassa juoksukenkä ja juoksualue. (Moore 2016.)

Useiden muiden liikkumismuotojen tapaan myös juoksussa tapahtuu aktiivisen lihaksen venymistä juuri ennen lihaksen supistumisvaihetta. Tämä lisää lihaksen tehon tuottoa konsentrisessa vaiheessa ilman, että energiankulutus kasvaa. Tätä ilmiötä kutsutaan venymislyhenemissykliksi ja se on keskeisessä asemassa taloudellisessa juoksemisessa. Venymislyhenemissyklin vaikutus liikkeeseen uskotaan perustuvan neljään tekijään: 1) voimantuottoaikaan, 2) elastisen energian varastoitumiseen ja hyödyntämiseen, 3) voiman potentioitumiseen lihasfiibereiden supistuviin elementteihin (poikkisillat) erityisesti suurilla lihaspituuksilla sekä 4) lihaksen aistinellisten toimintaan perustuvaan venytysrefleksiin. (Enoka 2015, 248-249.) Taloudellisuuden tärkeästä merkityksestä johtuen, siihen vaikuttavien harjoitusmenetelmien, kuten voimaharjoittelun hyödyntäminen ovat ymmärrettävästi urheilijoiden ja valmentajien kiinnostuksen kohteena (Saunders ym. 2014).

2.2 Kestävyysharjoittelu

Kestävyysharjoittelun tehoalueet jaetaan tavallisesti peruskestävyyteen, vauhtikestävyyteen ja maksimikestävyyteen (taulukko 1). Peruskestävyysharjoittelu tapahtuu aerobisen kynnyksen alapuolella ja on tyypiltään tasavauhtista tai hieman kiihtyvää sekä jatkuvaa. Vauhtikestävyysharjoittelua tehdään aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välissä. Vauhtikestävyysharjoittelua voidaan toteuttaa jatkuvana tasavauhtisena tai kiihtyen, tai pätkittynä lyhyin palautuksin. Maksimikestävyysharjoitteluksi kutsutaan anaerobisen kynnyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä tapahtuvaa harjoittelua, jota suuren tehon vuoksi toteutetaan tavallisimmin intervallityyppisesti. (Nummela & Häkkinen 2016, 272-275.)

TAULUKKO 1. Kestävyysharjoittelun tehoalueet ja toteutus. (Mukaeltu Nummela & Häkkinen 2016.)

	PK-harjoittelu	VK-harjoittelu	MK-harjoittelu
Kokonaiskesto	30-240 min	20-60 min	10-30 min
Intervallin kesto	-	5-20 min	3-10 min
Toistot/palautus	-	1-10 / 1-2 min	1-10 / 1-5 min
Tehoalue (% max)	40-70 %	65-90 %	80-100 %
Laktaatti / Syke (Huom. yksilöllisyys)	< 2 mmol/l / < 165	2-5 mmol/l / 165-185	5-10 mmol/l / 175-200

2.3 Kestävyysharjoittelun vaikutukset

Kestävyysharjoittelun, kuten yleisesti urheiluharjoittelun tarkoituksena on järkyttää kehon homeostaasia eli sisäistä tasapainotilaa. Akuutti vaste ylikuormittamiselle on suorituskyvyn lasku. Kuitenkin, palautumisen aikana kehossa tapahtuu positiivisia fysiologisia adaptaatioita, jotta kuormituksen uudelleen kohdatessaan elimistö kykenisi toimimaan aikaisempaa tehokkaammin. Kestävyysharjoittelu saa aikaan aerobiseen kapasiteettiin sekä lihasten koostumukseen ja toimintaan liittyviä adaptaatioita. (McArdle ym. 2015, 461-497.)

Yksi kestävyysharjoittelun tärkeimmistä tavoitteista on hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintojen kehittäminen, sillä ne vastaavat suurelta osin hapen kuljettamisesta töitä tekeville lihaksille sekä aineenvaihdunnassa syntyneen hiilidioksidin poistamisesta elimistöstä (Hynynen 2016). Kestävyysharjoittelun seurauksena verenkiertoelimistöön kuuluvien sydänlihaksen koko ja supistumisominaisuudet parantuvat, plasman volyymi ja punasolumassa kasvavat, hiussuoniverkosto tihenee ja syke levossa ja submaksimaalisessa kuormituksessa laskevat (McArdle ym. 2015, 461-497). Hengityselimistössä tapahtuvia adaptaatioita ovat maksimaalisen keuhkotuuletuksen eli ventilaation (VE) sekä kokonaishengitysreservin parantuminen ja submaksimaalisessa kuormituksessa ventilaation lasku (Hynynen 2016). Myös maksimaalinen hapenottokyky paranee, lihasten kyky varastoida glykogeenia parantuu, aerobisten entsyymien määrä lisääntyy, tyypin II lihassolujen aerobinen kapasiteetti paranee ja tyypin I lihassolujen pinta-ala kasvaa. (McArdle ym. 2015, 461-497).

Varsinkin juoksuharjoittelun alussa taloudellisuus paranee nopeasti. Mooren ym. (2012) tutkimuksessa aloittelevilla juoksijoilla, 94 % taloudellisuuden parantumisesta 10 viikon harjoittelun aikana perustui juoksutekniikan itse-optimointiin. Harjoitelleilla juoksijoilla juoksutekniikan itse-optimointi on jo pitkälle hyödynnetty, joten merkittäviä fysiologisia adaptaatioita ja juoksun taloudellisuuden parantumista ei enää juoksuharjoittelun kautta juuri tapahdu (Moore 2016; Lake & Cavanagh 1996).

3 VOIMAHARJOITTELU

Voimaharjoittelulla voidaan ylläpitää tai edistää fyysistä terveyttä sekä toimintakykyä, kuten voimantuottokykyä ja lihasmassaa. (Sabido ym. 2016). Voimaharjoittelu on suhteellisen laaja käsite ja urheilijan voimaharjoittelun suunnittelun sekä toteutustavan määräävät yksilölliset tarpeet haluttujen voimantuotto-ominaisuuksien, kuten maksimivoiman, nopeusvoiman tai voimakestävyyden kehittämiseksi.

Voimaharjoittelun vasteisiin vaikuttaa erityisesti harjoituksen intensiteetti (kuorman suuruus), volyyymi (määrä), harjoitustiheys, sarjojen väliset palautumisajat, valitut liikkeet sekä liikenopeus. (Sabido ym. 2016.) Myös ikä, sukupuoli, harjoitustausta, ravitsemus ja geenit (He ym. 2018; Thomas ym. 2013) vaikuttavat voimaharjoittelun akuutteihin vasteisiin ja kroonisiin adaptaatioihin (Crewther ym. 2006). Voimaharjoittelun aiheuttamat adaptaatiot voidaan jakaa morfologisiin sekä hermostollisiin muutoksiin. Morfologisilla muutoksilla tarkoitetaan lihaksen rakenteessa tapahtuvia muutoksia; lihassolujen kasvua eli hypertrofiaa, pennaatiokulman muutoksia, sekä mahdollisia lihassolujen määrässä (hyperplasia) ja lihassolutyypissä tapahtuvia muutoksia. (Folland & Williams 2007.) Hormonaalisella systeemillä on voimaharjoittelussa keskeinen rooli, sillä anaboliset (testosteroni, kasvuhormoni) ja kataboliset (kortisoli) hormonit vaikuttavat uuden lihasproteiinin tuotantoon (Crewther ym. 2006).

Voimantuottoon vaikuttaviin hermoston toiminnassa tapahtuviin muutoksiin sisältyvät muun muassa parantunut keskushermoston aktivaatio ja motoneuronien herkkyys, parantunut motoristen yksiköiden synkronisaatio, suurentunut motoristen yksiköiden syttymisfrekvenssi sekä inhiboivien refleksien heikentyminen (McArdle ym. 2015, 498-451). Voimaharjoittelun alkuvaiheessa hermostollisilla adaptaatioilla on huomattavasti suurempi merkitys voimatasojen kehittämisessä (Del Vecchio ym. 2019), kun taas lihaksen morfologisten muutosten rooli kasvaa harjoittelun edetessä.

3.1 Hypertrofinen voimaharjoittelu

Hypertrofisella voimaharjoittelulla tarkoitetaan voimaharjoittelun toteuttamista tavalla, jonka seurauksena uuden lihasproteiinin muodostuminen on suurta ja lihas kasvaa. Tarkoituksena on kuormittaa lihasta mahdollisimman paljon, jotta saadaan aikaan riittävä stimulus proteiinisynteesille. Tällaiseen tilanteeseen päästään tekemällä suhteellisen pitkiä sarjoja lyhyin, 1-2 minuutin palautuksin. Kuormat ovat tyypillisesti 70-85 % lihaksen yhden toiston maksimista (1RM), paljon harjoitelleilla jopa vielä korkeammat. Usein käytetty toistomäärä on 6-8 ja sarjamäärien vaihteluväli on 2-6, riippuen harjoittelijan tasosta. (Sabido ym. 2016.) Myös liikkeen eksentrisen vaihe toteutetaan hypertrofisessa voimaharjoittelussa usein hitaasti, lisäten lihakseen kohdistuvaa kuormitusta (Nosaka 1998). Maksimaaliseen lihasmassan kasvuun tähtäävässä harjoittelussa on tavallista käyttää myös erilaisia erikoismenetelmiä, kuten pakkotoistoja tai supersarjoja (Weakley ym. 2017).

3.1.1 Hypertrofisen voimaharjoituksen välittömät vaikutukset

Hypertrofisesti toteutetun voimaharjoituksen on havaittu aiheuttavan elimistössä akuutteja hormonaalisia muutoksia, kuten testosteroni- ja kasvuhormonitasojen kasvua, sukupuolihormoneja sitovan globuliinin (SHBG) nousua ja veren laktaattikonsentraation kasvua (McCaulley ym. 2009; Linnamo ym. 2005). Selkeän hormonaalisen vasteen arvioidaan selittyvän suurella harjoitusvolyymillä ja suhteellisen lyhyellä palautumisajalla. (McCaulley ym. 2009.)

Tulehdustilaa kuvaavien merkkiaineiden pitoisuuksissa, joiden arvioidaan liittyvän harjoituksen aikaiseen suureen mekaaniseen stressiin ja aineenvaihdunnalliseen kuormittavuuteen, on huomattu tapahtuvan akuuttia nousua hypertrofisen harjoituksen seurauksena (Ihalainen ym. 2014). Mekaaninen kuormitus sekä harjoituksen aiheuttamat lihaksen mikroauriot ja aineenvaihdunnallinen stressi ovat mahdollisesti merkittävässä roolissa lihashypertrofian käynnistymisessä (Walker 2012, 32-34). Hypertrofisen voimaharjoituksen aiheuttama akuutti hermo-lihasjärjestelmän aktiivisuuden lasku liittyy mahdollisesti perifeerisiin tekijöihin, kuten aineenvaihduntatuotteiden kerääntymiseen ja

lihassolun supistuvien elementtien heikentyneeseen toimintaan (Bigland-Ritchie ym. 1986). Kuormitetun lihaksen turvotus ja liikkuvuuden heikkeneminen ovat tyypillisiä akuutteja seurauksia mikrovaurioita aiheuttaneesta hypertrofisesta voimaharjoituksesta.

3.1.2 Hypertrofisen voimaharjoittelun pitkän aikavälin vaikutukset

Hypertrofisen voimaharjoittelun avulla voidaan kehittää maksimivoimantuottoa ja lihasaktiivisuutta sekä kasvattaa lihasmassaa kaiken ikäisillä (Walker 2012, 93-94). Testosteroni ja kasvuhormoni ovat anabolisia hormoneja, joiden toistuvilla ja akuuteilla pitoisuuden muutoksilla arvioidaan tämän vuoksi olevan tärkeä rooli lihaskasvun ja voiman kehittymisen pitkän tähtäimen adaptaatioprosessissa (Linnamo ym. 2005; Crewther ym. 2006). Pitkäkestoisen harjoittelun vaikutuksista hormonitasojen muutoksiin erityisesti testosteronin, kasvuhormonin ja kortisolin osalta on kuitenkin ristiriitaisia tutkimustuloksia. Tutkimustulosten epäselvyyteen liittyy useita tekijöitä, kuten interventiotutkimusten erilaiset kestot sekä harjoitusten kuormittavuus (Walker 2012, 34-36), hormonitasojen luonnollinen ajoittainen vaihtelu (Svartberg ym. 2003), geneettiset erot (Sung & Song 2016) sekä ravitsemukselliset tekijät (Bishop ym. 1988). On myös epäselvää, liittyykö mahdollinen harjoittelun seurauksena ilmennyt seerumin hormonitasojen akuutit muutokset hormonaalisen systeemin adaptaatioihin vai kykyyn toteuttaa intensiteetiltään ja volyymiltaan kuormittavampaa harjoittelua, jonka seurauksena stimulus hormonaalisille vasteille olisi suurempi. (Walker 2012, 34-36.)

Hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena tapahtuu neuraalisia adaptaatioita, jotka liittyvät agonisti- ja synergistilihasten parantuneeseen aktivaatioon ja toisaalta antagonistilihasten yhtäaikaiseen koaktivaatioon. Harjoittelemattomilla voimaharjoittelun alussa tapahtuva voimantuoton parantuminen selittyykin lähinnä hermostollisilla adaptaatioilla (Del Vecchio ym. 2019), kun taas lihasmassan kasvu ja sen vaikutus voimatasojen parantumiseen lisääntyvät harjoittelun edetessä. (Walker 2012, 29-32.) Tutkimuksissa on havaittu lihassolutyypin muutosta maksimi- ja hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena. Vaikuttaa siltä, että nopean ja väsyvän tyypin IIB-lihassolujen osuus vähenee ja väsymystä paremmin sietävän lihassolutyypin IIA osuus kasvaa. Hitaamman ja väsymystä hyvin sietävän tyypin I lihassolujen

sekä tyypin II lihassolujen välillä ei tutkimuksissa ole havaittu merkittäviä muutoksia suuntaan tai toiseen. (Walker 2012, 32-34.) On havaintoja siitä, että hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena lihaksen regeneraatioprosessissa tapahtuu ajan mittaan vahvistumista, mikä tarkoittaa lihaskudoksen nopeampaa palautumista harjoituksen aiheuttamista mikrovaurioista (Ihalainen ym. 2017).

3.2 Hermostollinen voimaharjoittelu

Hermostollisen voimaharjoittelun tarkoituksena on parantaa voimaa ja tehontuottoa hermostollisen ohjauksen ja aktivaation kehittämisen kautta ilman tarkoituksellista lihasmassan lisäämistä (Häkkinen ym. 2001; Häkkinen ym. 1990). Hermostollisen voimaharjoittelun avulla voidaan siis parantaa voima/lihasmassa –suhdetta eli suhteellista voimantuottoa (Beattie ym. 2016; Häkkinen ym. 1990). Useissa urheilulajeissa, joissa kannatellaan omaa kehonpainoa, kuten juoksussa, suhteellisen voiman merkitys on tärkeä.

Maksimivoimatasojen kehittäminen hermostollisella voimaharjoittelulla toteutetaan suurilla, lähellä maksimia ja maksimaalisilla kuormilla ja vain 1-3 toiston sarjoilla. Palautumisajat sarjojen välillä on oltava pitkät, jopa 5 minuuttia, jotta seuraava sarja voidaan toteuttaa mahdollisimman vireässä ja palautuneessa tilassa. Tällöin hermostollinen aktivaatio suorituksen aikana on mahdollisimman suurta ja aineenvaihdunnalliset ja hormonaaliset vaikutukset jäävät mahdollisimman pieniksi. Sama periaate palautumisajan suhteen pätee räjähtävässä voimaharjoittelussa. Kuitenkin, räjähtävyyttä ja tehontuottoa kehitettäessä harjoitellaan maksimivoimaharjoittelusta poiketen kevyemmällä kuormilla tai kehonpainolla, jolloin voidaan saavuttaa mahdollisimman suuri liikenopeus. Kuten maksimivoimaharjoittelussa, myös räjähtävässä voimaharjoittelussa keskeistä on hermostollisiin mekanismeihin vaikuttaminen lihasmassan sijaan. Esimerkkejä räjähtävyyttä ja tehontuottoa kehittävästä harjoittelusta on *plyometrinen harjoittelu* eli hyppelyharjoittelu sekä kevyellä kuormalla tehtävät räjähtävät painonnostoliikkeet. (Fleck & Kraemer 2014, 107-109, 278-287.)

3.2.1 Hermostollisen voimaharjoituksen välittömät vaikutukset

Kevyellä kuormalla toteutettu nopeusvoimaharjoitus ei saa aikaan merkittäviä akuutteja hormonaalisia muutoksia tavanomaiseen voimaharjoitukseen verrattuna (Linnamo ym. 2005; McCaulley ym. 2008; Häkkinen ym. 1990). Hyppelytyyppisessä harjoituksessa, jota kutsutaan plyometriseksi harjoitteluksi, eksentrisen kuormitus on suurta ja lihasvaurioita voi syntyä runsaasti kuormituksen intensiteetistä ja volyymista riippuen. Voimantuottokyvyn laskua sekä lihasarkuutta on havaittu suurimmillaan noin 24-48 h tällaisen plyometrisen kuormituksen jälkeen. (Sarabon ym. 2013.) Viivästyneen lihaskivun (DOMS) suuruus saattaa plyometrisen harjoituksen jälkeen olla suurempaa kuin konsentrisen kuormituksen jälkeen, mutta todennäköisesti pienempää kuin varsinainen eksentrisen kuormituksen jälkeen (Brockett ym. 1997; Sarabon ym. 2013 mukaan).

Hermoston toimintaa kehittävän maksimivoimaharjoittelun akuutit vasteet ovat osittain erilaisia kuin plyometrisessä- ja nopeusvoimaharjoittelussa. Tutkimuksissa on havaittu, että maksimivoimaharjoittelu saa aikaan hypertrofisen voimaharjoituksen tavoin isometrisen voimantuottokyvyn sekä nopean voimantuottokyvyn (RFD) akuuttia heikentymistä, mitkä ilmentävät hermolihaskäytännön väsymistä (McCaulley ym. 2009). McCaulleyn ym. (2009) tutkimuksessa havaittiin, että maksimivoimaharjoituksen aiheuttaman akuutin RFD:n heikentymisen palautuminen kohti lepotason arvoja oli hitaampaa kuin hypertrofisen harjoituksen jälkeen ja selittyy suuremmalla hermostollisella väsymyksellä. Hermostollisessa maksimivoimaharjoituksessa hormonaaliset vasteet jäävät pieniksi, mikä johtuu todennäköisesti matalista toistomääristä (McCaulley ym. 2009; Kraemer ym. 1990, Ratamess ym. 2005) sekä pitkistä sarjojen välisistä palautumisajoista, mikä taas on välttämätöntä riittävän palautumisen varmistamiseksi ja maksimaalisen intensiteetin saavuttamiseksi seuraavassa sarjassa (McCaulley ym. 1990).

3.2.2 Hermostollisen voimaharjoittelun pitkän aikavälin vaikutukset

Pitkällä aikavälillä hermostollinen maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelu kehittää urheilijan nopeaa voimantuottokykyä (RFD) sekä maksimaalista tahdonalaista voimantuottoa. Näiden

muutosten taustalla ovat muun muassa lihassolujakaumassa tapahtuvat muutokset, parantunut hermostollinen ohjaus sekä lihas-jännekompleksin jäykkyyden parantuminen. Jotta nämä hyödyt saataisiin siirrettyä lajisuoritukseen mahdollisimman hyvin, tulisi liikkeet valita lajispesifisti ja kohdistaa kuormitus lajisuorituksessa tarvittaville lihasryhmille. (Anning 2016.)

3.3 Voimaharjoittelu ja lihasvauriot

Kuten edellä on todettu, voimaharjoittelu ja erityisesti runsaasti eksentristä kuormitusta sisältävä harjoittelu voi akuutisti aiheuttaa lihaksen vaurioitumista. Suoria merkkejä eksentrisen kuormituksen aiheuttamista lihasvaurioista ovat muun muassa lihassolujen ja niitä ympäröivien rakenteiden kuten soluväliaineen (*ECM = extra-cellular matrix*) rakenteelliset muutokset, magneettiresonanssikuvien (MRI) havaittavat muutokset sekä seerumista mitattavien lihasproteiinien kreatiinikinaasin, myoglobiinin ja troponiinin pitoisuudet. (Hyldahl ym. 2017.) Tutkimuksissa käytetään lyhennettä EIMD (= *exercise-induced muscle damage*), kun viitataan harjoituksen aiheuttamiin lihasvaurioihin. Oireita ja epäsuoria EIMD-markkereita ovat muun muassa lihasarkuus, lihasturvotus, lihaksen voimantuottokyvyn lasku sekä liikelajuuden (*ROM = range of motion*) heikentyminen. (Doma ym. 2015.) Voimakkaimmillaan lihasarkuus on noin 24-48 tunnin aikana rasituksen jälkeen (Proske ym. 2005) ja harjoittelemattomilla henkilöillä EIMD:n oireita voi ilmetä jopa 14 vuorokautta intensiivisen eksentrisen harjoituksen jälkeen (Cleak & Easton 1992).

4 TOISTOHARJOITUSVAIKUTUS

Tutkimuksissa on havaittu, että uudelleen suoritettuna voimaharjoitus tai muu lihaksen vaurioitumista aiheuttava kuormitus, kuten esimerkiksi alamäkijuoksu tai hyppelyharjoittelu, aiheuttaa pienempiä EIMD:n oireita ensimmäiseen harjoituskertaan verrattuna. (Doma ym. 2017b; Doma ym. 2015; Chen ym. 2009; Chen ym. 2007; McHugh ym. 1999b.) Tällaisesta ilmiöstä on käytetty termiä *repeated bout effect* (RBE). Selvyiden vuoksi käytän tässä suomenkielisessä tutkielmassa RBE:n sijaan termiä *toistoharjoitusvaikutus*. Termillä viitataan adaptaatioihin elimistössä, joiden ansiosta elimistölle aiheutettava yllättävän kova eksentrisen tai isometrinen kuormitus ei enää seuraavalla kerralla saa aikaan yhtä voimakkaita lihasvaurioita ja hermolihasjärjestelmän toiminnan heikentymistä. Ensimmäiseen eksentriseen harjoitukseen verrattuna, seuraavien viikkojen aikana toistetun harjoituksen aiheuttamat histologiset muutokset (mm. lihasfiiberien rikkoutuminen), eri kuvantamismenetelmin havaittavat muutokset lihaskudoksessa, lihasarkuus, lihasturvotus, maksimaalinen tahdonalainen voimantuottokyky (MVC) sekä palautumisaika on havaittu olevan pienempiä ja verestä mitatut kreatiinikinaasin aktiivisuus ja myoglobiinikonsentraatiot suurempia (Hyldahl ym. 2017). Kuitenkin, toistoharjoitusvaikutuksen on havaittu olevan osittain erilaista näiden eri markkereiden kohdalla, ja esimerkiksi kreatiinikinaasin aktiivisuuden muutos voi olla lähes olematonta seuraavalla harjoituskerralla, kun taas maksimaalisen tahdonalaisen voimantuottokyvyn akuutissa heikkenemissä ei välttämättä havaita lainkaan eroja (Hyldahl ym. 2017).

4.1 Toistoharjoitusvaikutuksen kesto

Tyypillinen ajatus on, että lihasadaptaatioiden tapahtuminen vaatisi useiden harjoituskertojen toistamista säännöllisin väliajoin, toisin sanoen harjoittelua. Yksittäisellä harjoituksella voi kuitenkin olla yllättävän voimakkaita ja pitkäaikaisia seurauksia. (Nosaka & Aoki 2011.) On myös havaittu, että käsien lihaksia kuormittava harjoitus aiheuttaisi suurempaa ja pidempi aikaista lihasvauriota kuin alaraajojen lihaksille toteutettu harjoitus (Chen ym. 2011; Jamurtas ym. 2005). Nosakan ym. (2001) toteuttamassa tutkimuksessa, jossa testattiin yksittäisen intensiivisen eksentrisen kyynärvarren koukistuskuormituksen aiheuttamia vaikutuksia,

huomattiin selkeitä suojaavia vaikutuksia vielä 6 kuukautta myöhemmin. Adaptaatiot ilmenivät nopeampana maksimivoimantuottokyvyn palautumisena, pienempänä lihasarkuutena ja lihasturvotuksena sekä matalampana kreatiinikinaasiaktiivisuutena 6 kuukautta myöhemmin tehdyn samanlaisen intensiivisen harjoituksen jälkeen (Nosaka ym. 2001). Myöhemmässä tutkimuksessaan Nosaka ym. (2005) havaitsivat kuitenkin huomattavasti lyhempikestoista ensimmäisen maksimaalisen eksentrisen harjoituksen tuottamaa lihasvaurioilta suojaavaa vaikutusta ja että harjoitusvälin pidentyessä kahdeksasta 12:een viikkoon, lihasvaurioilta suojaava vaikutus heikkeni merkittävästi. Neljän tai kahdeksan viikon kohdalla toistettu harjoitus aiheutti kuitenkin selkeästi pienempiä lihasvaurioita ensimmäiseen harjoitukseen verrattuna kaikilla lihasvaurioita mittavilla markkereilla. (Nosaka ym. 2005.) Erot lihasvaurioherkkyydessä ylä- ja alaraajojen välillä liittyvät mahdollisesti lihasten päivittäiseen aktiivisuustasoon. Siten jatkuvasti suuremman kuormituksen kohteena olevassa alavartalon lihaksistossa on luonnollisesti kehittynyt suurempi suojaava vaikutus, jolloin uuden harjoituksen aiheuttamat lihasvauriot eivät ole yhtä voimakkaita. (Chen ym. 2011.)

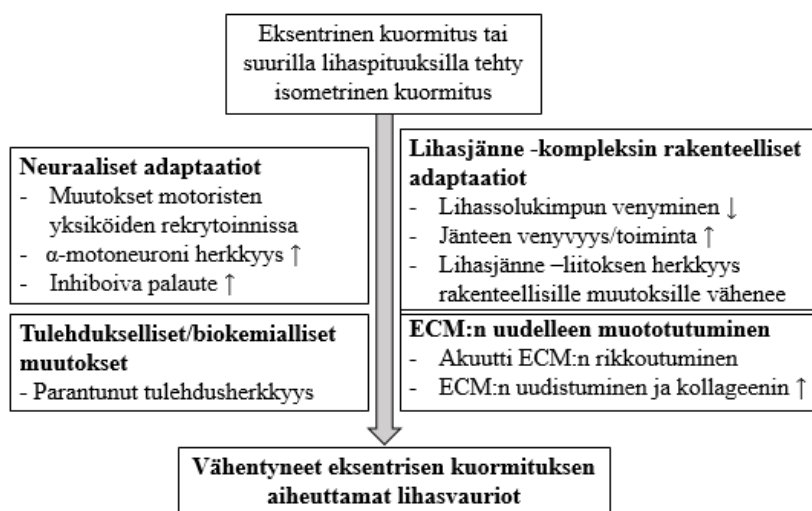
4.2 Harjoituksen kuormittavuus ja toistoharjoitusvaikutus

Ensimmäistä kertaa toteutetun harjoituksen kuormittavuus vaikuttaa kehittyvän suojan voimakkuuteen. Maksimaalisen eksentrisen harjoituksen on ajateltu tuottavan selkeästi voimakkaamman vasteen ja siten vahvemman lihasvaurioilta suojaavan vaikutuksen seuraavaa harjoituskertaa ajatellen, verrattuna submaksimaaliseen, intensiteetiltään matalampaan kuormitukseen. Kuitenkin, säännöllisesti toistetut submaksimaaliset harjoitukset saattavat tuottaa yhtä voimakkaan suojaavan vaikutuksen seuraavaa maksimaalista harjoitusta vastaan kuin yksittäinen maksimaalinen harjoitus. (Chen ym. 2010.) Lisäksi, Ragab ym. (2015) havaitsivat sekä submaksimaalisen eksentrisen (80 % maksimitehosta) että maksimaalisen isometrisen harjoituksen tuottavan lihasvaurioilta suojaavan vaikutuksen kaksi päivää myöhemmin toteutettavaa maksimaalista eksentristä harjoitusta vastaan, mutta submaksimaalisen eksentrisen harjoituksen tuottama vaikutus oli isometristä maksimaalista harjoitusta vahvempi. Howatsonin tutkimusryhmä ei huomannut yksittäisen harjoituksen volyymin vaikuttavan toistoharjoitusvaikutuksen ilmenemiseen. He vertasivat maksimaalisen 45 toistoa sisältävän eksentrisen harjoituksen ja 10 toistoa sisältävän eksentrisen harjoituksen akuutteja vasteita 2 viikkoa myöhemmin toteutetun maksimaalisen 45 toistoa sisältävän

eksentrisen harjoituksen akuutteihin vasteisiin, eikä ensimmäisellä kerralla tehty 45 toiston harjoitus tuottanut sen parempaa suojaa lihasvaurioilta kuin volyymiltaan matalampi harjoitus (Howatson ym. 2007). Ei siis ole täysin selkeää, että intensiteetiltään tai volyymiltaan suurempi harjoituskuormitus tuottaisiin paremman toistoharjoitusvaikutuksen kuormitukseltaan matalampaan harjoitukseen verrattuna.

4.3 Teorioita toistoharjoitusvaikutuksen mekanismeista

Toistoharjoitusvaikutuksen taustalla olevat mekanismit eivät vielä ole aivan selviä ja tutkimuksissa on havaittu ristiriitaisiakin tuloksia. Tutkimuksista on kuitenkin kehitetty erilaisia teorioita, joiden mukaan ilmiön taustalla vaikuttavat hermostolliset, mekaaniset ja solutasolla tapahtuvat muutokset (McHugh ym. 2003). Tuorempien tutkimusten perusteella ensimmäisen lihassoluvaurioita tuottavan harjoituksen jälkeiset adaptaatiot voidaan jakaa neuraalisiin muutoksiin, lihasjänne -kompleksin rakenteellisiin muutoksiin, lihaksen soluväliaineen (*ECM, extra-cellular matrix*) sisällön uudelleen muotoutumiseen sekä biokemiallisissa signaaleissa ja tulehdusvasteissa tapahtuviin muutoksiin (kuva 3). Nämä adaptaatiot yhdessä ehkäisevät lihaksen vaurioitumista, kun se seuraavan kerran altistuu eksentriselle kuormitukselle. (Hyldahl ym. 2017.)



KUVA 3. Mahdollisia adaptaatiomekanismeja toistoharjoitusvaikutuksen (RBE) taustalla Hyldahlin ym. (2017) mukaan. ECM, extra-cellular matrix = soluväliaine. (Mukaeltu Hyldahl ym. 2017.)

4.3.1 Hermostolliset muutokset toistoharjoitusvaikutuksen taustalla

Yksi selitys toistoharjoitusvaikutuksen taustalla olevista mekanismeista on hermoston toiminnassa tapahtuvat adaptaatiot ensimmäisen kuormittavan harjoituksen jälkeen. Motoristen yksiköiden aktivoitumista mittaamalla on havaittu EMG-signaalin amplitudin kasvua suhteessa voiman tuottoon seuraavassa harjoituksessa, mikä ilmentää mahdollista supistumiskäskyn uudelleenjakaantumista useammalle lihassolulle. Hitaan tyypin motoristen yksiköiden aktivointi ja/tai motoristen yksiköiden yhtäaikaisempi aktivoituminen eli *synkronisaatio* ovat mahdollisesti suurempia toistetussa harjoituksessa, mikä viittaa ensimmäisen harjoituksen aikaansaamiin hermostollisiin adaptaatioihin. (McHugh ym. 2003.) Esimerkiksi Warrenin ym. (2000) tutkimuksessa huomattiin EMG-mittausten avulla jo yksittäisen maksimaalisen säären etuosan lihaksille toteutetun eksentrisen harjoituksen aiheuttavan muutoksia, jotka viittaavat edellä mainittuihin adaptaatioihin motoristen yksiköiden aktivoitumisessa. Nopeat motoriset yksiköt todennäköisesti rekrytoituvat herkemmin eksentrisessä työssä ja nopeiden yksiköiden lihassolut ovat myös herkempiä eksentrisen kuormituksen aiheuttamalle vaurioitumiselle. On mahdollista, että uudelleen toteutetussa harjoituksessa hitaampien motoristen yksiköiden rekrytointi on suurempaa, jolloin kuormituksessa syntyvien lihasvaurioiden määrä jää pienemmäksi kuormituksen jakautuessa suuremmalle solujoukolle, joista osa on myös vähemmän vaurioherkkiä. (Warren ym. 2000.) Keskushermoston arvioidaan mukauttavan toimintaansa jakamalla ärsykettä laajemmalle joukolle motorisia yksiköitä, jolloin yksittäisille lihasalueille kohdistuva kuormitus on seuraavalla kerralla pienempi (Hyl Dahl ym. 2017). Osassa tutkimuksista hermostollisilla adaptaatioilla ei kuitenkaan ole huomattu olevan toistoharjoitusvaikutusta selittävää merkitystä ja perifeerisillä adaptaatioilla on katsottu olevan keskushermoston toimintaa suurempi vaikutus toistoharjoitusvaikutusta selittävänä tekijänä (McHugh ym. 2003; Pincheira ym. 2018). Koska motoristen yksiköiden rekrytoinnin synkronisaation paraneminen maksimaalisissa eksentrisissä supistuksissa lisää voimantuottoa, on arvioitu, että riski lihasvaurioiden syntymiselle olisi jopa suurempaa, elleivät muut mekanismit suojaisi lihasta (Hyl Dahl ym. 2017).

4.3.2 Rakenteelliset muutokset toistoharjoitusvaikutuksen taustalla

Eksentrisen kuormituksen aiheuttaman lihasvaurion arvioidaan saavan alkunsa lihassolun myofibrilleihin eli lihassäikeisiin kohdistuvasta mekaanisesta kuormituksesta. Myofibrillien rikkoutumisen seurauksena lihaksen mekaanisissa ominaisuuksissa tapahtuu adaptaatioita, jotka seuraavalla harjoituskerralla tarjoavat paremman suojan vaurioita vastaan. Mekaanisia muutoksia voidaan tarkastella koko lihaksen, lihassolujen ja lihassäikeiden tasolla. (McHugh ym. 2003.)

Eksentrisen harjoittelun on havaittu lisäävän sekä dynaamista (Pousson ym. 1990) että passiivista (Reich ym. 2000) lihasjäykkyyttä eli *stiffnessiä*. *Dynaamisen lihasjäykkyyden* arvioidaan liittyvän aktiivisen lihaksen elastisiin ominaisuuksiin tai venyvyyteen, kun taas *passiivinen lihasjäykkyys* viittaa kyseisiin ominaisuuksiin rentoutuneessa lihaksessa. (Hugh ym. 2003.) Pousson ym. (1990) arvioivat lisääntyneen dynaamisen jäykkyyden eksentrisen harjoittelun seurauksena liittyvän joko jänteessä tai lihassolun poikkisilloissa tapahtuneeseen jäykkyyden kasvuun. Reich ym. (2000) olettivat parantuneen dynaamisen ja passiivisen jäykkyyden perustuvan adaptaatioihin solun tukirangan proteiineissa, jonka seurauksena järjestys ja rakenne solun sisäisissä rakenteissa pysyy paremmin yllä. Rotilla toteutetussa kokeessa havaittiin solun tukirangan perättäisten supistuvien elementtien eli sarkomeerien lisääntymistä, kun viitenä peräkkäisenä päivänä rotille teetettiin alamäkijuoksuharjoitus (Lynn & Morgan 1994). Erityisesti quadriceps-lihaksille kohdistuva eksentrisen kuormitus alamäkijuoksun aikana sai aikaan adaptaatioita lihaksen myofibrillien sarkomeerien määrässä, joka havaittiin kolme päivää harjoitusjakson jälkeen tehdyissä mittauksissa. Ylämäkeen juoksuharjoituksen tehneillä rotilla ei havaittu samanlaisia rakenteellisia muutoksia lihassoluissa. (Lynn & Morgan 1994.)

Akuuteista mekaanisista, solun tukirankaan liittyvistä adaptaatioista toistoharjoitusvaikutuksen taustalla on vain vähän ja epäselvää tutkimusnäyttöä (McHugh ym. 2003). Kuitenkin, solun tukirangan vahvuuden kannalta merkittävän *desmiini* –nimisen proteiinin määrän kasvua on havaittu lihasta vaurioittavien harjoitusten seurauksena jo 3-7 päivää kuormituksen jälkeen, mikä viittaa solun tukirangan uudelleen muodostumiseen ja vahvistumiseen (Barash ym. 2002).

Lisäksi Lynnin ja Morganin (1994) tutkimuksessa havaittu perättäisten sarkomeerien määrän lisääntyminen jo kolmen päivän aikana harjoituksen jälkeen viittaavat siihen, että mekaanisia adaptaatioita voi syntyä jo varsin nopeasti, eikä niiden vaikutuksia toistoharjoitusvaikutukseen ole siten syytä sulkea täysin pois. Erään teorian mukaan lihaksen sisäisen sidekudoksen muodostuminen lihaskudosta vaurioittavan eksentrisen harjoituksen jälkeen kiihtyy ja tuottaa vahvemman suojan tulevalle kuormitukselle (Lapier ym. 1995), joskin tämänkin havainnon taustalla saattaa olla lisääntynyt perättäisten sarkomeerien määrä (McHugh ym 2003).

On edelleen epäselvää, suojaako parantunut lihasjäykkyys lihasvaurioilta. Tutkimuksissa on havaittu myös vastakkaisia tuloksia, joissa suurentunut passiivinen lihasjäykkyys on ollut yhteydessä suurempiin lihassoluvaurioihin, kuten voimantuoton laskuun, lihaskipuun ja kreatiiniinasi pitoisuuden kasvuun (McHugh ym. 1999a; McHugh ym. 1999b; Howell ym. 1993; Whitehead ym. 2001). Näissä tutkimuksissa lihasjäykkyyttä ei kuitenkaan seurattu lihaksen ollessa täysin palautunut kuormituksesta, joten vaikutuksia toistoharjoitusvaikutuksen ilmenemiseen, joka ainakin osittain perustuu palautumisprosessin aikana tapahtuviin adaptaatioihin, on vaikea todeta (McHugh ym. 2003.)

4.3.3 Lihassolussa tapahtuvat muutokset toistoharjoitusvaikutuksen taustalla

Lihassolun sisällä tapahtuvat adaptaatiot lihasvaurioita aiheuttaneen kuormituksen jälkeen voidaan jakaa muutoksiin lihaksen supistumisominaisuuksissa sekä muutoksiin tulehduksellisissa vasteissa. Supistumisominaisuuksien adaptaatiot käsittää jo edellisessä kappaleessa mainitun perättäisten sarkomeerien määrän kasvun palautumisprosessin aikana, vasteena lihassoluja vaurioittavalle eksentriselle kuormitukselle (McHugh ym. 2003). Lisäksi supistumisominaisuuksien adaptaatioihin liittyy muutokset lihassupistuksen mahdollistamissa vuorovaikutusreaktioissa lihassolussa, *ärsytys-supistus kytkennässä* (McHugh ym. 2003), jonka voidaan katsoa alkavan aktiopotentiaalin saapumisesta asetyylikoliini-entsyymien vapautuessa hermo-lihasliitoksessa ja päättyvän kalsiumin vapautumiseen sarkoplasmisesta retikulumista (Warren ym. 2001). Tämä mahdollistaa aktiini- ja myosiinifilamenttien välisen vuorovaikutuksen sekä lihaksen supistumisen ja tunnetaan paremmin englanninkielisellä termillä *excitation-contraction coupling* (McArdle ym. 2015, 354-381).

Voimatasojen heikkeneminen ensimmäisen yksittäisen eksentrisen harjoituksen jälkeen johtuu mahdollisesti kahdesta tekijästä: 1) rakenteiden fyysisestä vaurioitumisesta sekä 2) ärsytys-supistus kytkennän häiriöistä (Warren ym. 2001). Palautumisprosessin aikana lihasvaurioita aiheuttavan kuormituksen jälkeen sarkoplasmisen retikulumin arvellaan vahvistuvan, joka taas saattaisi ennaltaehkäistä häiriöitä ärsytys-supistus kytkennän toiminnassa ja siten vähentää voimantuoton heikentymistä seuraavan harjoituksen jälkeen (McHugh ym. 2003). Suoraa näyttöä ärsytys-supistus kytkennän adaptaatioiden vaikutuksesta toistoharjoitusvaikutukseen ihmisillä ei kuitenkaan ole. Ärsytys-supistus kytkennän on arvioitu selittävän 57-75 % voimantuoton heikentymisestä 0-5 päivän aikana eksentrisen kuormituksen jälkeen hiirillä tehdyssä kokeessa (Ingalls ym. 1998). Eroja voimantuoton heikkenemisessä välittömästi ensimmäisen ja seuraavan harjoituksen jälkeen ei ole kaikissa tutkimuksissa havaittu, vaan merkittävimmät erot on havaittu vasta harjoituksia seuraavina päivinä. Mikäli ärsytys-supistus kytkennän adaptaatioilla pelkästään voitaisiin selittää toistoharjoitusvaikutusta, tulisi voimantuoton heikkenemisen erot olla havaittavissa sekä välittömästi harjoitusten jälkeen että seuraavina päivinä (McHugh ym. 2003.)

Lihassolun mekaaninen vaurioituminen eksentrisen kuormituksen seurauksena aiheuttaa paikallisen tulehdusreaktion. Tulehdusmarkkereiden, kuten neutrofiilien ja monosyyttien aktiivisuuden on havaittu pienenevän eksentristen harjoituskertojen toistuessa, mikä viittaa tulehdusvasteen alenemiseen. Alhaisemman tulehduksen taas uskotaan olevan seurausta adaptaatioista, jotka estävät myofibrillien mekaanisen rikkoutumisen lihassolun sisällä ja näin ollen heikomman stimuluksen tulehdusvasteelle. (McHugh ym. 2003.)

5 VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN YHDISTÄMINEN

Yhdistelmäharjoittelulla tarkoitetaan harjoittelua, jossa ohjelmaan on sisällytetty kestävyys- ja voimaharjoittelua joko samalla harjoituskerralla tai erillisinä harjoituksina toteutettavaksi (Doma ym. 2017a). Jo pitkään on tiedostettu, että voimaharjoittelulla voidaan edistää kestävyys- ja suorituskykyä ja juoksun sekä muiden kestävyyslajien suorituksen taloudellisuutta. Voimaharjoittelusta onkin tullut keskeinen osa useiden kestävyysurheilijoiden harjoittelua. Voima- ja kestävyys- ja voimaharjoittelun yhdistämisessä on kuitenkin omat haasteensa. Haasteet liittyvät toisaalta harjoitusmäärien ja harjoitustiheyden suurentumiseen, mutta myös kestävyys- ja voimaharjoitusten aiheuttamiin ja osin vastakkaisiin harjoitusadaptaatioihin, joita tulisi pyrkiä huomioimaan harjoittelua suunniteltaessa ja toteutettaessa.

5.1 Yhdistelmäharjoittelun vaikutukset voimantuottoon

Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun on jo vuosikymmeniä sitten havaittu olevan epäedullista voimatasojen kehittymiselle, mikäli vertailukohtana on pelkän voimaharjoittelun toteuttaminen. Harjoittelemattomilla ja voimaharjoitelleilla samana päivänä tehty voima- ja kestävyys- ja voimaharjoitus ei ainakaan pitkään jatkuneena ole voimatasojen kehittymisen kannalta edullista (Wilson ym. 2012; Bell ym. 2000; Hickson ym. 1980), kuten ei myöskään samaan harjoitukseen sisällytetty voima- ja kestävyys- ja voimaharjoitus (Chtara ym. 2008; Hunter ym. 1987). Chtaran ym. (2008) tutkimuksessa saman harjoituksen voima- ja kestävyys- ja voimaharjoitusosien järjestyksellä ei ollut merkitystä voiman kehittymiselle fyysisesti aktiivilla opiskelijoilla. Häkkinen ym. (2003) eivät havainneet yhdistelmäharjoitteluryhmän ja pelkkää voimaharjoittelua toteuttaneet ryhmän välillä eroa maksimivoiman kehittämisessä, kun kestävyys- ja voimaharjoitukset olivat sijoitettu eri päiville ja harjoittelun kokonaismäärä oli maltillinen (2 kestävyys- ja 2 voimaharjoitusta /vko) 21 viikkoa kestäneen harjoitusintervention ajan. Samansuuntaisen tuloksen havaitsivat myös McCarthy ym. (2002) tutkimuksessaan, jossa 3 kertaa viikossa 10 viikon ajan toteutettu yhdistelmäharjoitus (kestävyys- ja voimaharjoitus pyöräillen) aikaisemmin harjoittelemattomilla ei vaikuttanut voiman kehittymistä heikentävästi, verrattuna pelkkään voimaharjoitusryhmään. Häkkinen ym. (2003) tutkimuksessa yhdistelmäharjoitus vaikutti kuitenkin häiritsevän nopeusvoiman kehittymistä,

jonka arvioitiin johtuvan ainakin osittain rajoittuneesta hermostollisesta kyvystä tahdonalaiseen nopeaan lihasaktivaatioon.

Kestävyysharjoitelleilla toteutetuissa yhdistelmäharjoittelututkimuksissa on havaittu maksimi- ja räjähtävän voimaharjoittelun lisäämisen kestävyysharjoitteluun parantavan juoksijoiden maksimivoimatasoja (Mikkola ym. 2011; Ferrouti ym. 2010; Storen ym. 2008). Mikkolan ym. (2011) tutkimuksessa vain maksimivoimaharjoittelu yhdistettynä matalatehoiseen kestävyysharjoitteluun paransi juoksijoiden räjähtävää voimaa, joka havaittiin parantuneena kevennyshyppytuloksena. Kevennyshyppytuloksena ei sen sijaan parantunut ryhmillä, jotka tekivät kestävyysharjoittelun lisäksi räjähtävää- tai kestovoimaharjoittelua tai pelkästään kestävyysharjoittelua (Mikkola ym. 2011). Storenin ym. (2008) tutkimuksessa maksimivoiman lisäksi myös nopea voimantuotto (RFD = rate of force development) parantui merkittävästi kun maksimivoimaharjoittelua lisättiin kestävyysjuoksijoiden harjoitusohjelmaan 8 viikon ajaksi.

5.2 Voimaharjoittelu kestävyysuorituskykyä edistävänä tekijänä

Kestävyysurheilijoiden harjoittelussa ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä maksimaaliseen voimatasojen kehittymiseen. Verkhoshansky & Verkhoshanskyn (2011, 274) mukaan voimaharjoittelun tarkoituksena on edistää urheilijan ”motorista potentiaalia” ja asteittain kehittää kykyä hyödyntää tätä potentiaalia spesifisti kilpailusuorituksen vaatimalla tavalla. Kestävyysjuoksussa voimaharjoittelulla tulisi pyrkiä fysiologisiin ja neuraalisiin adaptaatioihin, jotka parantavat muun muassa juoksun taloudellisuutta, maksimaalisella aerobisella teholla saavutettavaa vauhtia (vVO_{2max}) sekä maksimaalista anaerobista vauhtia (vMART). Erityisesti eliittitason kestävyysjuoksijoilla näiden tekijöiden on huomattu erottelvan parhaat juoksijat toisistaan, kun erot maksimaalisen hapenottokyvyn välillä ovat minimaalisia. (Beattie ym. 2017.)

Kestävyysominaisuuksien kehittymistä tarkasteltaessa, ei yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelun yleisesti vaikuta heikentävän kestävyysominaisuuksien kehittymistä, vaan päinvastoin, useissa tutkimuksissa voimaharjoittelun yhdistäminen kestävyysharjoitteluun on

tuottanut positiivisia tuloksia (Vikmoen ym. 2017; Schumann ym. 2015; Wilson ym. 2012; Mikkola ym. 2011; Paavolainen ym. 1999; Hickson ym. 1988). Harjoitelleilla kestävyysurheilijoilla voimaharjoittelun aiheuttamat muutokset kestävyysuorituskykyyn selittyy parantuneella taloudellisuudella, ei niinkään maksimaalisen hapenottokyvyn muutoksilla (Storen ym. 2008; Millet ym. 2002; Paavolainen ym. 1999). Maksimivoima- ja tehoharjoittelun yhdistäminen kestävyysharjoitteluun on havaittu parantavan kestävyysharjoitteleiden juoksun taloudellisuutta (Millet ym. 2002; Storen ym. 2008; Paavolainen ym. 1999), vauhtia laktaattikynnyksellä (Mikkola ym. 2007a), maksimaalista anaerobista juoksuvauhtia (vMART) (Mikkola ym. 2011; Paavolainen ym. 1999; Mikkola ym. 2007b), uupumukseen kulunutta aikaa (Vikmoen ym. 2017; Storen ym. 2008; Hickson ym. 1988) sekä matkaan kulunutta aikaa (Paavolainen ym. 1999). Kuitenkin, tällaisten positiivisten vaikutusten saavuttamiseksi yhdistelmäharjoittelussa, on riittävällä palautumisella todennäköisesti tärkeä merkitys (Beattie ym. 2014; Häkkinen ym. 2003). Kehittävät kestävyys- ja voimaharjoitukset saattaa olla hyvä sijoittaa erilleen toisistaan, jotta molemmat harjoitukset voidaan tehdä hyvässä vireystilassa. Etenkin intensiivisen kestävyysharjoituksen jälkeen tehty voimaharjoitus voi olla tehotonta, johtuen kestävyysharjoituksen aiheuttamasta *residuaalisesta väsymyksestä*. Hermoston ollessa väsyneessä tilassa, on mahdollista, ettei voimaharjoituksesta ole merkittävää hyötyä voiman eikä kestävyysuorituskyvyn kehittymiselle. (Schumann ym. 2015.)

Kestävyysharjoitteluun yhdistetyn voimaharjoittelun positiiviset vaikutukset maksimaaliseen ja submaksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn on selitetty liittyvän tehokkaampaan hermo- lihasjärjestelmän toimintaan, suurempaan lihas-jännekompleksin jäykkyyteen ja elastisen energian hyväksikäyttöön, vähemmän taloudellisten tyypin II lihassolujen myöhäisempään rekrytointiin suorituksen aikana sekä suhteellisen nopeiden ja väsymystä sietävien tyypin IIa- lihassolujen osuuden kasvuun, nopeasti väsyvien tyypin IIx-lihassolujen osuuden vähentyessä (Ronnestad & Mujika 2014). Voimaharjoittelun seurauksena lihasjäykkyyden säätely kehittyy, mikä parantaa elastisen energian varastoitumista eksentrisessä vaiheessa. Eksentrisen vaiheen aikana aktivoitunut venymisrefleksi ja mekaanisiin rakenteisiin varastoitunut elastinen energia hyödynnetään askelsyklin konsentrisessä vaiheessa, jolloin voimaa voidaan tuottaa enemmän lyhyemmässä ajassa, mikä tekee juoksemisesta taloudellisempaa. (Komi 2000.) Mekaanisten ja neuraalisten adaptaatioiden seurauksena koko kehon voimatasot parantuvat, jotka johtavat

positiivisiin muutoksiin juoksutekniikassa. Teknisesti parempi juoksusuoritus taas laskee tehtävän työn määrää pienentäen hapenkulutusta tietyllä submaksimaalisella kuormalla sekä parantaa tehontuottokykyä maksimaalisissa suorituksissa (Kuva 4). (Johnson ym. 1997; Paavolainen ym. 1999.)



KUVA 4. Kestävyysjuoksusuoritusta määrittävät muuttujat, joiden kehittymiseen voidaan vaikuttaa oikein yhdistetyllä kestävyys- sekä voima- ja nopeusharjoittelulla. KF = kreatiinifosfaatti. (Mukaeltu Paavolainen ym. 1999.)

Vaikuttaa siltä, että naisjuoksijat hyötyvät raskailla kuormilla tehdystä voimaharjoittelusta enemmän kuin miehet (Barnes ym. 2013; Johnson ym. 1997). Barnesin ym. (2013) kestävyysjuoksijoille tehdyssä tutkimuksessa vain naiset paransivat 5 km juoksuaikaa, kun kestävyysharjoitteluun oli yhdistetty raskailla kuormilla tehtyä voimaharjoittelua. Juoksuaika parantui myös ryhmällä, joka teki raskailla kuormilla tehtävän harjoittelun lisäksi plyometrasta harjoittelua. Ryhmätasolla miesten 5 km juoksusuoritus jopa heikentyi kun raskailla kuormilla tehtävää voimaharjoittelua lisättiin kilpailukauden harjoitteluun, mutta yksilöiden välillä oli selkeitä eroja voimaharjoittelun hyödyllisyydestä. (Barnes ym. 2013.)

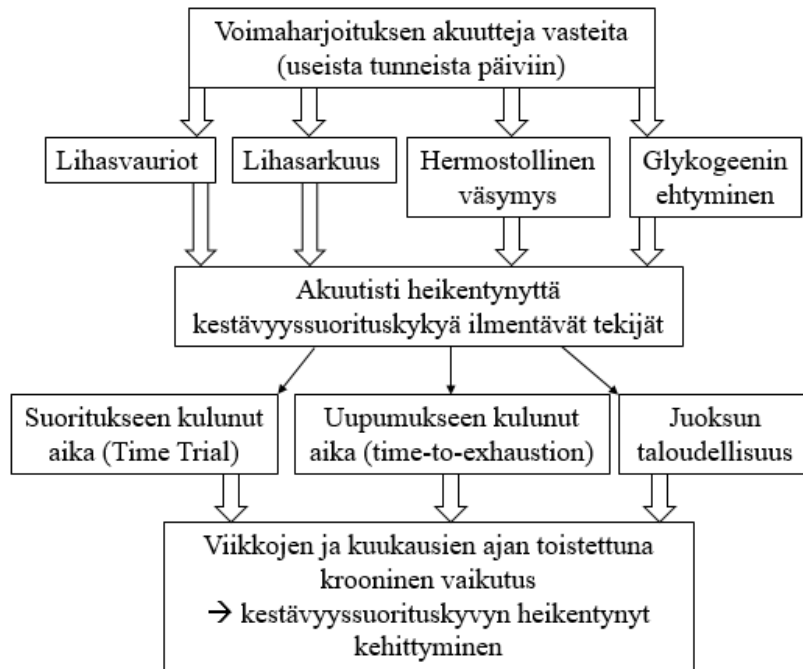
Maksimi- ja plyometrisen voimaharjoittelun yhdistelmää suositellaan kestävyysjuoksijoille tehtäväksi kaksi kertaa viikossa kilpailukautta edeltävän harjoituskauden aikana. Tämän mallin on havaittu olevan tehokas tapa kehittää maksimivoimaa, nopeaa voimatuottoa, juoksun

taloudellisuutta ja kykyä juosta kovaa (vVO_{2max} , $vMART$). Kilpailukaudella voimaharjoittelun vähentäminen yhteen kertaan viikossa on mahdollisesti riittävää voimatasojen ylläpitämiseksi. Hyvät voimatasot omaavilla kestävyysjuoksijoilla voimaharjoittelussa tulisi painottaa lajispesifiä reaktiivista voimatuottoa sekä maksimivauhtista juoksua. Tällöin voimaharjoittelusta saataisiin lisää hyötyä taloudellisuuden ja maksimaalisen aerobisen ja anaerobisen juoksuvauhdin kehittämiseksi. (Beattie ym. 2017.)

5.3 Voimaharjoittelun haasteet kestävyysharjoittelussa

Jotta optimaaliset kestävyys- ja voimaharjoittelun adaptaatiot sekä kehittyminen olisi mahdollista, tulisi voimaharjoitukset sijoittaa järkevästi kovatehoisten kestävyys- ja nopeusharjoitusten ympärille (Beattie ym. 2017). Tutkimuksissa on havaittu voimaharjoituksen aiheuttavan akuuttia väsymystä elimistössä, joka voi heikentää suorituskykyä sitä seuraavassa kestävyysuorituksessa palautumisen ollessa vielä kesken (Doma ym. 2017b; Doma ym. 2015; Burt ym. 2013). Tästä ilmiöstä on tutkimuksissa käytetty termiä *RT-SEP (resistance training-induced sub-optimisation of endurance performance)* (Doma ym. 2017a). Mekanismit tämän ilmiön taustalla liittyvät muun muassa lihassoluvaurioihin, lihaskipuun, hermostolliseen väsymykseen sekä glykogeenivarastojen ehtymiseen (kuva 5).

Voimaharjoituksen aiheuttaman väsymyksen tyyppiin ja suuruuteen vaikuttavia mahdollisia harjoitteluun liittyviä muuttujia ovat harjoituksen intensiteetti ja volyymi, voima- ja kestävyysharjoitusten keskinäinen järjestys, palautumisaika ja -tavat sekä viikoittainen harjoitusmäärä. Mikäli edellä mainittujen muuttujien huomiointi on puutteellista, voi pitkään jatkuva yhtäaikainen voima- ja kestävyysharjoittelu aiheuttaa ylikuormittumista sekä heikentää kestävyysharjoittelun tuloksellisuutta. (Doma ym. 2017a.)



KUVA 5. Voimaharjoituksen akuutteja vaikutuksia sekä niiden heijastuminen kestävyysuorituskykyyn ja kestävyiden pitkäaikaiseen kehitykseen. (Mukaeltu Doma ym. 2017a.)

5.3.1 Hermo-lihasjärjestelmän akuutti väsymys ja kestävyysuorituskyky

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että voimaharjoituksesta tai muusta lihasvaurioita aiheuttavasta kuormituksesta johtuva väsymys heikentää kestävyysuorituksen taloudellisuutta ja suorituskkyä keskimäärin 24-72 tunnin ajaksi (Doma ym. 2017b; Doma ym. 2015; Burt ym. 2013; Marcora & Bosio 2007). Riittämätön palautuminen kuormittavasta voimaharjoituksesta voi johtaa siihen, ettei urheilija kykene toteuttamaan seuraavaa harjoitustaan niillä tehoilla ja laadulla, joka kehittymiseen tähtäävässä harjoittelussa olisi tarpeen. Tästä ilmiöstä käytetään englanninkielellä termiä *interference effect*. (Doma ym. 2017a.)

Palmer ym. (2001) havaitsivat maksimaalisen voimantuoton sekä juoksun taloudellisuuden heikentymistä 8 tuntia voimaharjoituksen jälkeen. Myös Doman ym. (2015) voimaharjoittelemattomille tehdyssä tutkimuksessa juoksun taloudellisuus sekä anaerobinen

teho olivat heikentyneet vielä 48 tuntia alavartalolle toteutetun voimaharjoituksen jälkeen. Juoksun taloudellisuuden heikkenemisen lisäksi tutkimuksissa on havaittu myös maksimaalisen juoksusuorituskyvyn heikkenemistä yhtä aikaa maksimaalisen voimantuottokyvyn heikkenemisen kanssa 24-72 tunnin aikana alavartalon voimaharjoituksen jälkeen (Marcora & Bosio 2007; Doma & Deakin 2013; Doma & Deakin 2014).

Yksi selittävä tekijä kestävyysuorituskyvyn heikkenemiselle voimaharjoituksen seurauksena on hermostollinen väsymys. Voimaharjoituksesta palautumisen ollessa vielä kesken hermostollinen aktiivisuus ja motoristen yksiköiden rekrytointi eivät välttämättä toimi optimaalisesti, mikä johtaa heikentyneeseen suorituskykyyn. (Doma ym. 2017a.) Kuormittavan voimaharjoituksen on muun muassa havaittu heikentävän neuraalista ohjausta sekä motoneuronien vastetta synaptiselle stimulaatiolle niin maksimaalisissa kuin submaksimaalisissa toistuvissa supistuksissa (Taylor ym. 2006).

Hermostollinen väsymys voi olla perifeeristä tai sentraalisesta hermostosta lähtöisin olevaa, joka käsittää vielä spinaalisen (selkäydintaso) ja supraspinaalisen (aivot) tason väsymyksen. Harjoituksen aiheuttamalla supraspinaalisen tason väsymyksellä tarkoitetaan heikentyneitä aivoista lihaksiin lähtevää tahdonalaista käskytystä. (Taylor ym. 2006.) Spinaalisen tason väsymyksellä tarkoitetaan selkäytimen ja lihaksen välisen hermostollisen ”viestinkulun” muutoksia, kuten lihasväsymystä aistivien III- ja IV-afferenttien hermojen lisääntyneitä inhibiitiota lihasta käskyttävälle motorisille hermoille. (Duchateau & Hainaut 1993.) Yhdistetyn voima- ja kestävyysuorituksen näkökulmasta, voimaharjoituksen aiheuttama akuutti hermo- ja lihaskudoksen väsymys ja siitä johtuva heikentynyt lihastoiminta seuraavassa kestävyysuorituksessa voi estää kestävyysuorituksen adaptaatioiden kannalta optimaalisen harjoitusstimulaation saavuttamista. (Doma ym. 2017a.)

Juoksun aikana hyödynnetään jatkuvasti venymis-lyhenemissykliä; elastista energiaa varastoituu eksentrisen vaiheen (jalka tulee maahan) aikana, jota hyödynnetään konsentrisessä vaiheessa (ponnistus) (Komi 2000). Kuitenkin, yksittäinen ja yhtäkkäinen toistuvia eksentrisiä vaiheita sisältävä kuormitus tai voimaharjoitus saattaa akuutisti heikentää normaalin venymis-lyhenemissyklin toimintaa (Komi 2000). Tämä on tutkimuksissa havaittu muun muassa

juoksun taloudellisuuden heikentymisenä (Burt ym. 2012; Chen ym. 2007.) Juoksun taloudellisuuden heikentyminen voidaan havaita suurempana hapenkulutuksena submaksimaalisessa kuormituksessa sekä muutoksina juoksun kinematiikassa, kuten askelpituudessa ja -tiheydessä (Burt ym. 2013; Chen ym. 2007). Lihastoiminnan muutokset eivät kuitenkaan aina tapahdu samanaikaisesti juoksussa havaittavien fysiologisten, aineenvaihdunnallisten, juoksun kinemaattisten tai subjektiivisen kuormittuneisuuden tunteen muutosten kanssa (Burt ym. 2012). Myöskään epäsuorasti havaittavat lihasvauriot eivät välttämättä vaikuta juoksun taloudellisuuteen, ainakaan submaksimaalisessa kuormituksessa (Doma ym. 2015).

Merkittäviä voimaharjoituksen aiheuttamia kestävyysuorituskykyä häiritseviä tekijöitä ovat lihaksen vaurioituminen (EIMD) sekä lihasarkuus (DOMS). Juoksun taloudellisuuden on havaittu heikentyvän eksentrisen harjoituksen jälkeen jopa 1-5 vuorokauden ajaksi (Chen ym. 2007), yhtä aikaa maksimaalisen voimantuottokyvyn heikkenemisen kanssa. Kuitenkaan kaikissa tutkimuksissa ei ole havaittu juoksun taloudellisuuden heikentymistä submaksimaalisilla kuormilla kuormittavan voimaharjoituksen jälkeen, vaikka epäsuorissa lihasvauriomarkkereissa ilmenevät muutokset olisivatkin merkittäviä (Paschalis ym. 2005; Marcora & Bosio 2007; Doma & Deakin 2014). Useat tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet voimaharjoituksen aiheuttamien lihasvaurioiden heikentävän kestävyysuorituskykyä korkean sekä maksimaalisen intensiteetin kestävyysuorituksissa (Marcora & Bosio 2007; Doma & Deakin 2014). Yksi mahdollinen selitys lihasvaurioiden suuremmille vaikutuksille korkean intensiteetin kestävyysuorituksissa liittyy tyypin II lihassolujen suurempaan vaurioitumisherkkyyteen tyypin I lihassoluihin verrattuna. Koska tyypin II lihassolut rekrytoituvat kestävyysuorituksessa pääosin vasta anaerobisen kynnyksen yläpuolella, ilmenee lihasvaurioiden vaikutus suorituskykyyn merkittävästi mahdollisesti vasta intensiteetiltään korkeassa suorituksessa. (Chen ym. 2007; Doma ym. 2017a.) Myös harjoittelun aiheuttaman lihasarkuuden sekä kohonneen kuormittuneisuuden tunteen (RPE) on havaittu olevan yhteydessä heikentyneeseen juoksusuoritukseen (Doma & Deakin 2015; Smith ym. 2015).

5.3.2 Voimaharjoittelu ja kestävyysharjoittelun adaptaatioiden heikentyminen pitkällä aikavälillä

Intensiivisen kestävyysharjoitusjakson aikana kasaantuneen väsymyksen on huomattu heikentävän kykyä suoriutua urheilusuorituksessa optimaalisesti. Koska rasittavasta voimaharjoituksesta palautuminen kestää tutkimusten mukaan kauemmin kuin kestävyysharjoituksesta palautuminen (useita päiviä vs. vuorokausi), on yhdistelmäharjoittelussa todennäköisesti vähintään samanlainen tai jopa suurempi riski väsymyksen kasautumiselle. (Doma 2017a.)

Pidempiaikainen yhdistelmäharjoittelun vaikutus kestävyiden kehittymiselle riippuu muun muassa harjoitusten järjestyksestä (Chtara ym. 2005), voima- ja kestävyysharjoitusten välisestä palautumisajasta (Robineau ym. 2016) ja suoritetaanko voimaharjoituksessa liikkeet uupumukseen asti (Izquierdo-Gabarren ym. 2010). Chtaran ym. (2005) tutkimuksessa koehenkilöinä toimivat keskimääräisesti fyysisesti aktiiviset miehet. Tutkimuksessa havaittiin, että 12 viikon harjoitusjakson jälkeen 4 km juoksutesin tuloskehitys (4.7 %) jäi heikommaksi ryhmällä, joka teki päivän aikana ensin voimaharjoituksen ja myöhemmin kestävyysjuoksuharjoituksen. Ensin kestävyysharjoituksen tehneellä ryhmällä testitulokset sijaan parani merkitsevästi (8.6 %). Robineau ym. (2016) vertailivat miesrugbypelaajilla 7 viikon harjoitusjaksoja, joista yhdessä voima- ja kestävyysharjoitusten välillä oli 24 tuntia väliä, toisessa 6 tuntia väliä ja kolmannessa harjoitukset tehtiin välittömästi peräkkäin. Ryhmät, jolla harjoitusten välissä oli 6 tuntia tai ei ollenkaan, jäivät huippu-maksimihapenoton kehityksessä merkitsevästi jälkeen ryhmästä, joilla harjoitusten välissä oli 24 tuntia aikaa palautua (3.7 % vs. 8.0 %). Kun vertailtiin 8 viikon ajan uupumukseen ja ei-uupumukseen asti voimaharjoituksia tehneitä aktiivisista naiskuntoilijoista koostuvia ryhmiä keskenään, Izquierdo-Gabarren ym. (2010) huomasivat 20 minuutin soutuajan parantuneen merkitsevästi vain ryhmällä, joka ei suorittanut voimaharjoituksiaan uupumukseen asti (9.0 %). Uupumukseen asti voimaharjoituksen tehnyt ryhmä paransi suorituskykyään, mutta ei merkitsevästi (4.6 %).

Harjoitusten välisenä aikana tehtävillä palautumista edistävillä toimenpiteillä, palautumisajalla, harjoitusjärjestyksellä sekä voimaharjoituksen intensiteetillä voidaan mahdollisesti vaikuttaa

urheilijan valmiuteen seuraavaa kovaa harjoitusta varten sekä pyrkiä optimoimaan kestävyiden kehittyminen yhdistelmäharjoittelussa. Kysymys yhdistelmäharjoittelun aiheuttaman väsymyksen tai ylikuormituksen vaikutuksista kestävyiden pitkäaikaiseen kehittymiseen, vaatii kuitenkin lisää tutkimusta. (Doma 2017a.)

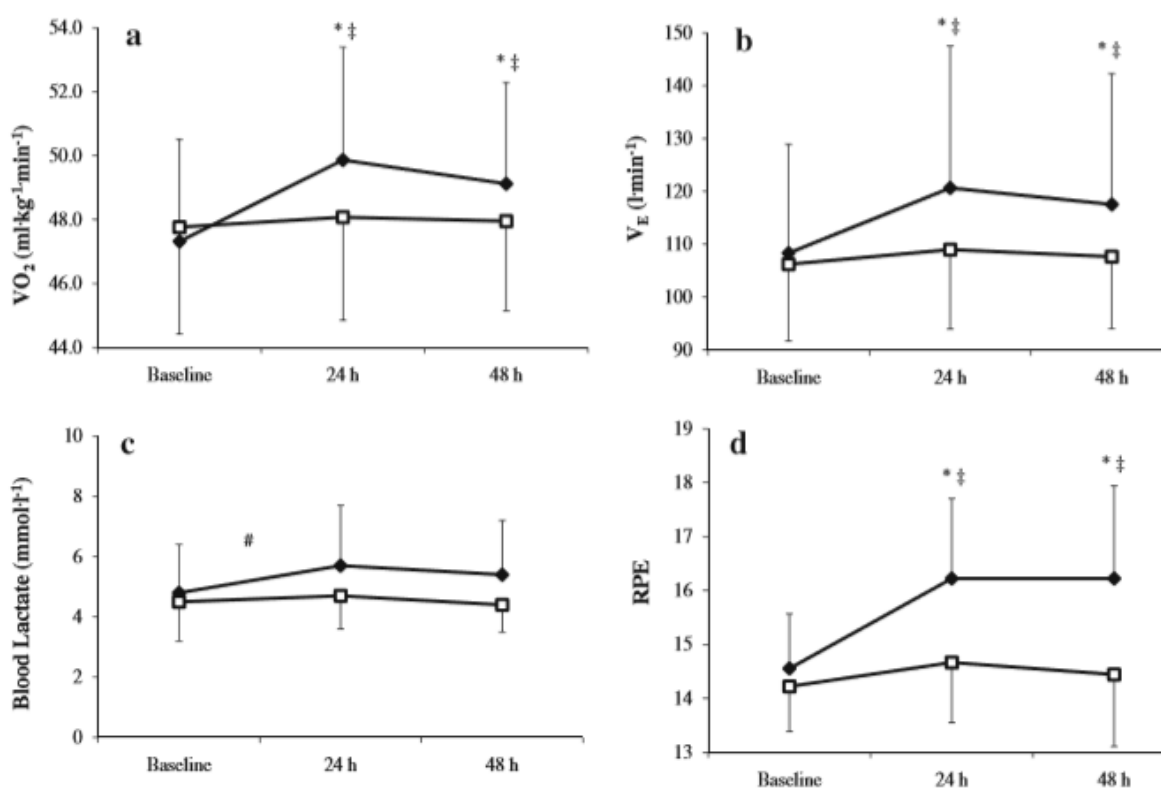
5.4 Voimaharjoittelun toistoharjoitusvaikutus ja kestävyysharjoittelu

Aikaisemmassa toistoharjoitusvaikutusta käsittelevässä kappaleessa (4) tuli esille, että kuormittavaa harjoitusta toistettaessa saattaa harjoituksen aiheuttamat lihasvauriot ja suorituskyvyn heikkeneminen olla vähäisempää ensimmäisen harjoituskertaan verrattuna ja että tämä ilmiö on selitettävissä useilla erilaisilla fysiologisilla adaptaatiomekanismeilla. On mahdollista, että voimaharjoituksen aiheuttama kestävyys suorituskyvyn heikkeneminen on niin ikään akuutti efekti, joka koskee erityisesti yksittäistä, yllättäen tai ensimmäistä kertaa toteutettua intensiivisempää voimaharjoitusta. Uudelleen toistettuna voimaharjoituksen aiheuttama kestävyys suorituskyvyn heikkeneminen saattaa siis olla vähäisempää. Lisäksi harjoitusten järjestyksellä, harjoitusintensiteetillä, harjoituksen kestolla sekä palautumisajalla ja –menetelmillä on mahdollisesti tässäkin tapauksessa merkitystä siihen, kuinka paljon seuraavan kestävyys harjoituksen laatu kärsii. (Doma ym. 2017a.)

5.4.1 Toistoharjoitusvaikutus ja juoksun taloudellisuus

Burt ym. (2013) vertailivat tutkimuksessaan, kuinka lihasvaurioita aiheuttava voimaharjoitus vaikuttaa kahden vuorokauden sisällä toteutettavaan submaksimaaliseen juoksusuoritukseen, kun harjoitus-yhdistelmä toistetaan kahden viikon kuluttua uudelleen. Yhdeksän miestä toteutti alaraajojen voimaharjoituksen, joka sisälsi 10x10 kyykkyä (80 % 1RM). Ennen, 24 h ja 48 h voimaharjoituksen jälkeen tehtiin epäsuoria lihasvauriomarkkereita mittavat testit (lihasarkuus, CK-aktiivisuus, maksimivoimantuotto, vertikaalihyppy). Alkutestinä (perustaso) sekä 24 h ja 48 h voimaharjoituksen jälkeen tehtiin lisäksi submaksimaalinen juoksumattotesti, jossa koehenkilöt juoksivat 10 minuuttia ennalta määritetyllä laktaattikynnystä vastaavalla vauhdilla. Juoksutesteissä mitattiin hengityskaasuja, laktaattia, RPE:tä, sykettä sekä askelpituutta- ja tiheyttä. (Burt ym. 2013.)

Tutkimuksessa ilmeni, että epäsuorat lihasvauriomarkkerit olivat merkitsevästi koholla ensimmäisen voimaharjoitus kerran jälkeen, kun taas kaksi viikkoa myöhemmin toistetussa voimaharjoituksessa lihasvauriomarkkerit olivat pienentyneet selkeästi. Lisäksi havaittiin merkitsevää juoksun taloudellisuuden (VO_2 sekä askelmuuttajat) heikkenemissä, lisääntyntä ventilaatiota sekä korkeampaa RPE:tä ensimmäisen voimaharjoituskerran jälkeen, mutta myöhemmin toistetussa harjoituksessa taloudellisuudessa, ventilaatiossa sekä RPE:ssä ei havaittu muutoksia perustasoon verrattuna (kuva 6). Laktaatissa ja sykkeessä ei havaittu muutoksia kummallakaan harjoituskerralla. (Burt ym. 2013.)



KUVA 6. Burtin ym. (2013) tutkimuksessa havaitut muutokset hapenkulutuksessa (a), ventilaatiossa (b), veren laktaatissa (c) ja RPE:ssä (d) ennen sekä 24 h ja 48 h jälkeen kuormittavan voimaharjoituksen tehdyssä submaksimaalisessa laktaattikynnyksellä tehdyssä juoksutestissä. Mustat merkit kuvaavat ensimmäistä harjoituskertaa ja valkoiset neliöt toistettua harjoituskertaa. * $P < 0.05$ = merkitsevä perustasoon verrattuna: (kaksi tähteä päällekkäin) $P < 0.05$ = merkitsevä ero harjoituskertojen 1 ja 2 välillä 24h kohdalla: # $P < 0.05$ = merkitsevä ero harjoituskertojen 1 ja 2 välillä 48 h kohdalla. (Burt ym. 2013.)

Myös Doma ym. (2017b) toteuttivat samantapaisen tutkimuksen, jossa voima- ja kestävyysarjoituskertoja toistettiin kolme kertaa. He havaitsivat, että useiden lihasvauriomarkkereiden CMJ, ROM, lihasarkuus) lisäksi submaksimaalinen juoksusuoritus (90 % anaerobisesta kynnyksestä) vaati kaksi kuormittavaa voimaharjoituskertaa, ennen kuin lihasvaurioilta ja suorituskyvyn heikkenemiseltä suojaavaa vaikutusta ilmeni. (Doma ym. 2017b.)

5.4.2 Toistoharjoitusvaikutus ja kestävyysuorituskyky

Edellä mainituissa tutkimuksissa havaittiin, että sopeutuminen voimaharjoitukseen heijastui juoksun taloudellisuuteen submaksimaalisilla vauhdeilla. Seuraava kysymys onkin, kuinka toistoharjoitusvaikutus ilmenee maksimaalisessa kestävyysuorituksessa.

Doman ym. (2017b) tutkimuksessa selvitettiin, vähentääkö kolmas voimaharjoituskerta voimaharjoituksen aiheuttamaa akuuttia kestävyysuorituskyvyn heikentymistä. Tutkimuksessa voimaharjoitus ja sitä seuraavat kestävyystestit (post 24h ja 48h) toteutettiin kolme kertaa peräkkäin ja huomattiin, että maksimaalinen kestävyysuorituskyky eli uupumukseen kulunut aika oli sama voimaharjoitusten 1 ja 2 jälkeen, mutta kolmannen voimaharjoituskerran jälkeen kestävyysuorituskyky oli merkitsevästi parantunut edellisiin kestävyysjuoksutesteihin verrattuna. Kuitenkin vielä kolmannenkin voimaharjoituskerran jälkeen kestävyysuorituskyky oli 12-20 % heikompi perustasoon verrattuna. Myös koettu kuormittuneisuus (RPE) ja VE/VCO₂ olivat merkitsevästi pienentyneet ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeiseen kestävyystestiin verrattuna. Nämä tulokset korreloivat tutkimuksessa mitattujen epäsuorien lihasvauriomarkkereiden kanssa, joissa havaittiin muutoksia vasta kolmannen voimaharjoituksen jälkeen muutamaa markkeria lukuun ottamatta (mm. CK-aktiivisuus), joissa selkeämpi ero havaittiin harjoituskertojen 1 ja 2 välillä. (Doma ym. 2017b.)

Toisin kuin voimaharjoittelun toistoharjoitusvaikutuksesta, yhdistetyn voima- ja kestävyysarjoittelun toistoharjoitusvaikutuksesta ja erityisesti vaikutuksista kestävyysuorituskykyyn, on vielä vähän tutkimusta.

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Vaikka voimaharjoitusten akuuteista vaikutuksista kestävyysuorituksen on jonkin verran tutkimusta, niin tutkimuksia erilaisten voimaharjoitusten vaikutuksista juoksun taloudellisuuteen ja suorituskykyyn ei toistaiseksi ole tehty. Koska hermostollinen voimaharjoittelu on osoittautunut kestävyysjuoksussa hyödylliseksi tavaksi toteuttaa voimaharjoittelua, haluttiin maksimivoimaa ja plyometristä harjoittelua sisältävä hermostollinen voimaharjoitustyyppi sisällyttää tähän tutkimukseen vertailtavana menetelmänä hypertrofiselle voimaharjoittelulle. Myös toistoharjoitusvaikutuksesta yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa on vasta vähän tutkimusta ja näissäkin tutkimuksissa on käytetty vain yhdenlaista voimaharjoitustyyppiä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kahden erilaisten voimaharjoituksen akuutteja vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen ja kestävyysuorituskykyyn sekä mahdollisten vaikutusten muutoksia harjoittelua toistettaessa.

TUTKIMUSKYSYMYYS 1. Vaikuttaako 48 ± 3 tuntia aikaisemmin tehty *hypertrofinen* tai *hermostollinen* (sis. maksimivoimaa + plyometristä harjoittelua) voimaharjoitus juoksun taloudellisuuteen ja kestävyysuorituskykyyn kestävyyskuntoilijoilla?

Hypoteesi: hypertrofinen kyllä, hermostollinen ei.

Perustelut

Hypertrofisen voimaharjoituksen aiheuttamat mekaaninen kuormitus, lihaksen mikroauriot ja aineenvaihdunnallinen stressi ovat tyypillisesti suuria (Walker 2012, 32-34) ja hermolihasarjestelmän akuuttia aktiivisuuden laskua on havaittu (Bigland-Ritchie ym. 1986). Eivoimaharjoitelleilla tai pitkän tauon jälkeen tehtynä hypertrofisen voimaharjoituksen aiheuttamat akuutit vaikutukset hermolihasarjestelmän toimintaan ja lihasarkuuteen ovat tyypillisesti vahvemmat. Nämä saattavat ilmetä heikentyneenä juoksun taloudellisuutena ja mahdollisesti vaikuttavat myös maksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn (Doma ym. 2017b; Doma ym. 2015; Burt ym. 2013; Marcora & Bosio 2007).

Maksimivoimaharjoituksen on huomattu aiheuttavan akuuttia nopean voimantuottokyvyn (RFD) heikentymistä ja sen jopa pidempää palautumisaikaa hypertrofiseen harjoitukseen verrattuna, johtuen todennäköisesti suuremmasta hermostollisesta väsymyksestä (McCaulley ym. 2009). Plyometrisessä, eksentristä kuormitusta sisältävässä harjoittelussa taas on havaittu lihasvaurioita, lihasarkuutta ja voimantuottokyvyn laskua suurimmillaan noin 24-48 tuntia harjoituksen jälkeen (Sarabon ym. 2013). Runsaasti eksentrisiä vaiheita sisältävä harjoitus saattaa heikentää normaalia venymis-lyhenemissyklin toimintaa ja vaikuttavaa negatiivisesti juoksun taloudellisuuteen (Burt ym. 2013; Chen ym. 2007). Juoksun taloudellisuudessa ei silti välttämättä ilmene muutoksia vielä submaksimaalisilla kuormilla, vaikka epäsuorasti mitatut lihasvauriot olisivatkin koholla (Paschalis ym. 2005; Marcora & Bosio 2007; Doma & Deakin 2014) ja lihasvaurioiden vaikutus suoritukseen saattaa tulla esille vasta intensiteetiltään maksimaalisessa suorituksessa (Marcora & Bosio 2007; Doma & Deakin 2014; Doma ym. 2017a). Yhdistetyssä maksimi- ja plyometrisessä harjoittelussa, jossa volyyymi kummankaan harjoitustyypin suhteen ei ole liiallinen, ei juoksun taloudellisuudessa ja maksimaalisessa suorituskyvyssä välttämättä ilmene heikentymistä, vaikka jonkin asteista maksimaalisen hermostollisen aktiivisuuden heikentymistä ja lihasvauriota olisikin tapahtunut voimaharjoituksen seurauksena.

TUTKIMUSKYSYMYS 2. Muuttuvatko *hypertrofisen* tai *hermostollisen* voimaharjoituksen vaikutukset juoksun taloudellisuuteen ja kestävyys suorituskykyyn, kun harjoituksia toistetaan kolme kertaa, eli ilmeneekö toistoharjoitusvaikutusta?

Hypoteesit: hypertrofinen kyllä, hermostollinen ei.

Perustelut. Tutkimuksissa on havaittu, että kuormittavaa voimaharjoittelua toistettaessa harjoituksen aiheuttamat lihasvauriot ja juoksun taloudellisuuden heikkeneminen ovat vähäisempiä (Burt ym. 2013; Doma ym. 2017b). Myös maksimaalisen kestävyys suorituskyvyn osalta on mahdollista, että voimaharjoittelua on toistettava säännöllisesti, jotta voimaharjoitukset eivät vaikuta suorituskykyyn (Doma ym. 2017b). Mikäli hypoteesin 1 mukaisesti hermostollinen voimaharjoitus ei heikennä juoksun taloudellisuutta ja maksimaalista suorituskykyä akuutisti, ei toistoharjoitusvaikutusta sen varsinaisessa

merkityksessä (ensimmäisten harjoituskertojen jälkeen suorituskyvyn heikentyminen ja lihasvaurioilta suojaavien vaikutusten syntyminen → vähentynyt vaikutus kestävyysuoritukseseen) ole odotettavissa. Juoksun taloudellisuuden ja suorituskyvyn parantumista sen sijaan voi tapahtua usean viikon harjoitusjakson aikana, johtuen hermostollisen voimaharjoittelun yleisesti havaituista edullisista vaikutuksista juoksuun (Rønnestad & Mujika 2014; Mikkola ym. 2007a; Millet ym. 2002; Paavolainen ym. 1999).

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Tutkittavat

Tutkittaviksi rekrytoitiin 18-40 vuotiaita kestävyysharjoitelleita perusterveitä miehiä ja naisia. Tutkittavien ominaisuudet on esitetty taulukossa 2. Tutkittaviksi valituilla oli vähintään kolmen vuoden tausta säännöllisestä kestävyysharjoittelusta. Rekrytointi toteutettiin Liikuntatieteellisen tiedekunnan Facebook-sivun ja sähköpostilistan kautta ja lisäksi Jyväskylän alueen kestävyysurheiluseuroille lähetettiin rekrytointikirje sähköpostitse. Vaatimuksena oli, että systemaattista voimaharjoittelua ei ollut taustalla tai ennen tutkimukseen osallistumista tulisi pitää 1 kuukauden tauko voimaharjoittelusta. Kuntopiiri-tyyppinen lihaskuntoharjoittelu oli kuitenkin sallittua. Tutkimuksen toteutukselle saatiin puoltava lausunto Jyväskylän yliopiston eettiseltä toimikunnalta.

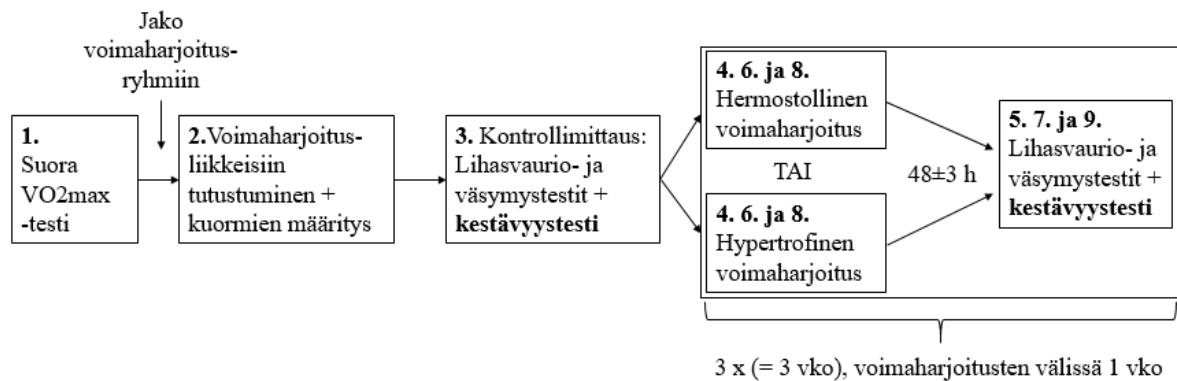
Taulukko 2. Tutkittavien määrä (*n*) ja taustatiedot. Ikä, sukupuoli (m = miehet, n = naiset), pituus (cm) ja paino (kg) esitettynä muodossa keskiarvo (keskihajonta). HYP = hypertrofinen voimaharjoitusryhmä, HER = hermostollinen voimaharjoitusryhmä.

Ryhmä	<i>n</i>	Ikä	m/n	Pituus/m	Pituus/n	Paino/m	Paino/n
HYP	6	34.5 (±8.0)	2/4	178 (±1.0)	165.8(±11.1)	78.6 (±5.8)	65.2(±12.1)
HER	6	32.5 (±5.9)	3/3	184.5 (±6.4)	161.9(±3.5)	79.8 (±10.5)	58.6 (±4.3)
Kaikki	12	33.5 (±6.8)	5/7	180.6 (±4.8)	163.6(±7.2)	79.1 (±6.7)	61.4 (±8.4)

7.2 Tutkimusasetelma

Tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään: hypertrofista (HYP) tai hermostollista (HER) voimaa tekevään ryhmään. Kaikille tutkittaville tehtiin samanlaiset alkutestit ja ainoastaan tutkimuksen aikaiset kolme voimaharjoitusta poikkesivat ryhmien kesken. Tutkimus kesti jokaisen tutkittavan osalta 5-6 viikkoa. Ensimmäisen kahden viikon aikana tehtiin alkumittaukset, joihin kuului maksimaalinen suora hapenoton testi (kerta 1), voimien esimittaus ja liikkeisiin

tutustuminen (kerta 2) sekä kontrollimittauksena toimiva lihasvaurio- ja väsymystestit sekä juoksun taloudellisuus- ja suorituskäyttesti (kerta 3). Näiden mittausten osalta mittauskertojen välissä oli vähintään 3 päivää välissä palautumisen varmistamiseksi, joten esimitaukset ajoittuivat kahdelle viikolle. Tämän jälkeen seuraavan kolmen-neljän viikon aikana testattavat tekivät voimaharjoituksen ja 48 (+- 3h) tuntia myöhemmin kestävyysjuoksutestin kerran viikossa (kerrat 4 ja 5, 6 ja 7 sekä 8 ja 9). Suositeltavaa oli, että harjoitukset ja testit sijoittuisivat samoille viikonpäiville, mutta kuitenkin niin, että edellisen kestävyystestin ja seuraavan voimaharjoituksen välissä on 4-6 vuorokautta. Kestävyysuorituskykytestit pyrittiin tekemään lähes samaan vuorokauden aikaan kolmen tunnin aikaikkunalla, esim. testi aina klo: 10-13 välissä. (Kuva 7.)



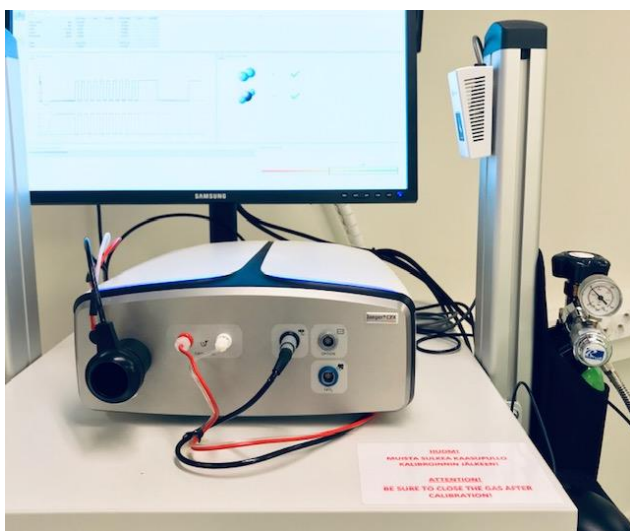
KUVA 7. Tutkimusasetelma. Mittaus- ja harjoituskäyntejä oli yhteensä yhdeksän. Kolme ensimmäistä kertaa olivat esimitauksia, joita seurasi kolmen viikon voimaharjoitus- ja kestävyysjuoksutestiyhdistelmät (kerrat 4 ja 5, 6 ja 7 sekä 8 ja 9).

7.3 Aineiston keruu ja analysointi

Ensimmäiselle mittauskerralle saapuessaan tutkittavalle selvitettiin kokonaisuudessaan tutkimuksen kulku sekä tutkimuksessa tehtävät testit. Tutkittavien tuli täyttää suostumuslomake, johon he olivat saaneet tutustua jo etukäteen. Lisäksi he täyttivät esitietolomakkeet riskien arviointia varten sekä aikaisempien päivien kuormituksen selvittämiseksi. Tutkittavilta mitattiin pituus ja paino.

7.3.1 Suora maksimaalinen hapenottokykytesti

Maksimaalinen hapenottokyvyn testi toteutettiin juoksumatolla (OJK –Komi 0402/73, Telineyhtymä, Kotka Finland). Ennen testiä koehenkilöt tekivät 10 minuutin alkuverryttelyn juoksumatolla vauhdilla, jonka arvioitiin olevan varsinaisen testin aloitusvauhti (6-9 km/h). Verryttelyn aikana seurattiin sykettä sekä arvoitiin sopiva aloitusvauhti testille. Kuormitusmallina käytettiin nopeusmallia, jossa kulma oli vakioitu 0.6 asteeseen ja kuormannostot tapahtuivat nopeutta lisäämällä 1 km/h kerrallaan. Yhden kuorman kesto oli 3 minuuttia ja laktaatinäytteenottoon kulunut aika (15-20 s) oli pois aina seuraavalta kuormalta. Testin aikana mitattiin Jaeger Vyntus™ CPX (CareFusion Germany 234 GmbH, Hoechberg) –hengityskaasuanalysaattorin (kuva 8) Breath by breath -toiminnolla hapenkulutusta, hiilidioksidintuottoa ja ventilaatiota, josta määritettiin arvot jokaisen kuorman viimeisen 30 sekunnin keskiarvona. Sykettä mitattiin koko testin ajan ja kirjattiin ylös kuorman viimeisen puolenminuutin alkaessa 15 sekunnin keskiarvo. Sykkeen mittauksessa käytössä olivat Polarin M430 sekä V800 urheilukellot. Ennen testiä ja jokaisen kuorman jälkeen otettiin laktaatinäyte sormenpäältä. Verinäytteet analysoitiin Biosen S_line Lab+ -analysaattorilla (EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa). Ylös kirjattiin myös nopeudet (km/h), loppuaika, maksimaalinen hapenottokyky (ml/kg/min 30s keskiarvo), maksiminopeus sekä maksimilaktaatti.



KUVA 8. Tutkimuksessa käytettiin Jaeger Vyntus™ CPX –hengityskaasuanalysaattoria.

Maksimaalisesta suorasta hapenottokykytestistä määritettiin tutkittaville aerobinen ja anaerobinen kynnysvauhti, -syke, -hapenkulutus ja -laktaatti, hyödyntämällä Suomessa hyväksyttyä ja käytettyä kynnysmääritykseen perustuvaa lineaarisovitemallia (Nummela & Peltonen 2018, 97). Aerobinen kynnyks asetettiin +0,3 mmol/l laktaattikäyrän matalimman arvon kohtaan. Anaerobinen kynnyks asetettiin kahden lineaarisovitteen leikkauskohtaan. Ensimmäinen lineaarisovite asetettiin aerobisen kynnyksen ja sitä seuraavan kuorman laktaattiarvon välille ja toinen sovite testin viimeisten kuormien laktaattiarvojen välille, joissa laktaattipitoisuus nousee yli 0,8 mmol/l. Tutkimuksen kannalta oleellista oli määrittää anaerobinen kynnysvauhti, jota hyödynnettiin tutkimuksen aikana useasti toistuvassa kestävyysuorituskykytestissä.

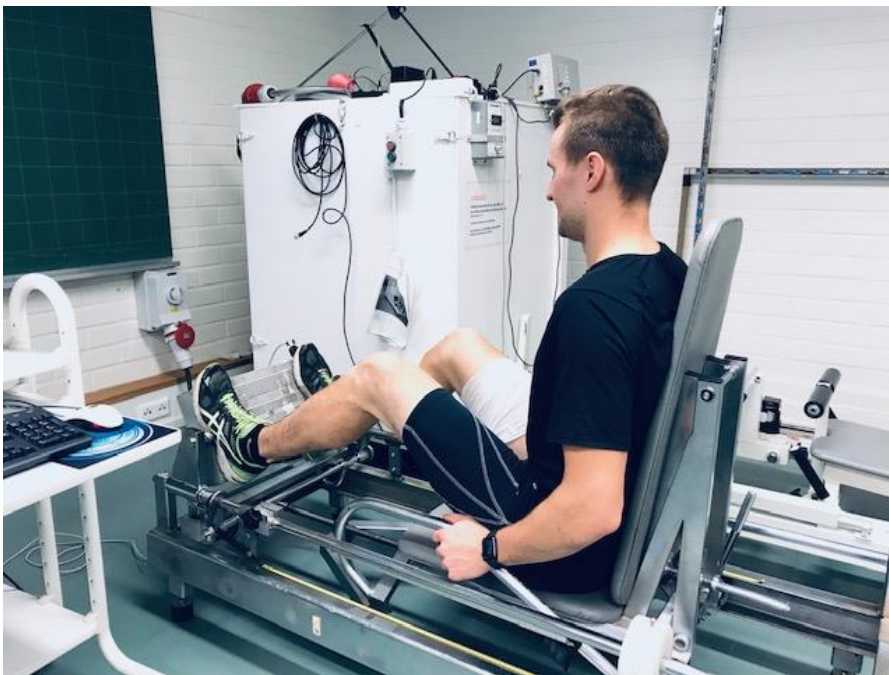
7.3.2 Lihasvaurioita ja väsymystä mittaavat testit

Harjoittelun aiheuttamien lihasvaurioiden pääasiallisia seurauksia eli lihastoiminnan heikkenemistä sekä lihasarkuutta (DOMS) (Owens ym. 2019) mitattiin ja arvioitiin välittömästi ennen kestävyysharjoituksia. Koettua lihasarkuutta arvioitiin myös molempina aamuina voimaharjoituksen jälkeen.

Maksimaalinen voimantuottokyky (MVC = maximal voluntary contraction). Maksimaalinen voimantuottokyky mitattiin staattisessa jalkapräsissä istuen 110 asteen polvikulmalla (kuva 9). Ensimmäisellä kerralla (kontrollimittaus) tutkittava sai harjoitella ensimmäisen suorituksen, jonka jälkeen jokaisella mittauskerralla hän suoritti 3 toistoa 2 minuutin palautuksella. Tutkittavaa ohjeistettiin tuottamaan mahdollisimman nopeasti ja mahdollisimman paljon voimaa noin 2-3 sekunnin ajan, kunnes tietokoneen näytölle muodostuva voimakäyrä ei enää noussut. Maksimivoimaksi määritettiin testissä tasaisesti saavutettu huippuarvo, joten mahdollista selkeää ”piikkiä” ei hyväksytty maksimiarvoksi.

Nopea voimantuottokyky (RFD = rate of force development). RFD:llä tarkoitetaan hermo-lihasjärjestelmän kykyä tuottaa mahdollisimman paljon voimaa ja mahdollisimman nopeasti. RFD on tärkeä ja paljon käytetty nopean voimantuoton mittari, jota voidaan voimatasojen kehittymisen seurannan lisäksi hyödyntää myös harjoituksesta aiheutuneen akuutin mekaanisen

lihastoiminnan heikentymisen sekä väsymyksen ja palautumisen arvioimisessa. (Rodriguez-Rosell ym. 2017.) Mittasimme RFD:tä maksimaalisen staattisen jalkaprässisuorituksen aikana (kuva 9) 100-200 ms kohdan keskiarvona ($RFD_{100-200ms}$), sillä sen on havaittu olevan yhteydessä keskushermostosta lähtevään neuraaliseen käskytykseen ja reagoivan herkemmin väsyttävään kuormitukseen verrattuna MVC:en sekä aivan ensimmäisiin kymmeneen millisekunteihin voimantuoton alussa (Farup ym. 2016). Lisäksi sen on huomattu olevan herkkä ja spesifi mittari arvioimaan lihasvaurioita, ainakin maksimi voimantuottoon verrattuna (Peñailillo ym. 2015.) Lisäksi mittasimme huippu-voimantuotonopeuden 20 millisekunnin aikaikkunalla (RFD_{peak20}).



KUVA 9. Isometrisessä jalkaprässissä mitattiin maksimaalista ja nopeaa voimantuottoa.

Kevennyshyppy (CMJ = counter movement jump). Kolme kevennyshyppyä suoritettiin kontaktimatolla 2 minuutin palautuksilla. Kevennyshypyssä tutkittavaa ohjeistettiin käymään noin 90 asteen polvikulmassa, josta ponnistetaan maksimaalisesti ylöspäin kädet lanteilla. Ilmalennon jälkeen tuli pyrkiä tulemaan alas lähes suoriin jaloihin. Ensimmäisellä mittauskerralla (kontrolli) tutkittava sai harjoitella hyppyä kerran. Kolmesta kevennyshypystä tulokseksi kirjattiin lentoajaltaan paras arvo, joka muutettiin senttimetreiksi. (Kuva 10.)



KUVA 10. Kevennyshyppysuoritus kontaktimatolla.

Lihasarkuus. Koettua lihasarkuutta arvioimme käyttämällä visuaalista skaalaa (VAS, *visual analogue scale*) 90 asteen kyykky-suorituksen jälkeen. Tutkittava arvioi jänältä kohdan, joka vastasi lihasarkuuden tunnetta. Arvo 0 merkitsi, että lihasarkuutta ei ole. Arvo 50 % tarkoitti arkuuden tunnetta liikkeen aikana ja arvo 100 % tarkoitti lihasarkuuden estävän liikkeen suorittamisen (liite 1). (Burt ym. 2013.) Visuaalisen skaalan on todettu olevan luotettava ja validi menetelmä lihasarkuutta arvioitaessa (Price ym. 1983; Burtin ym. 2013 mukaan).

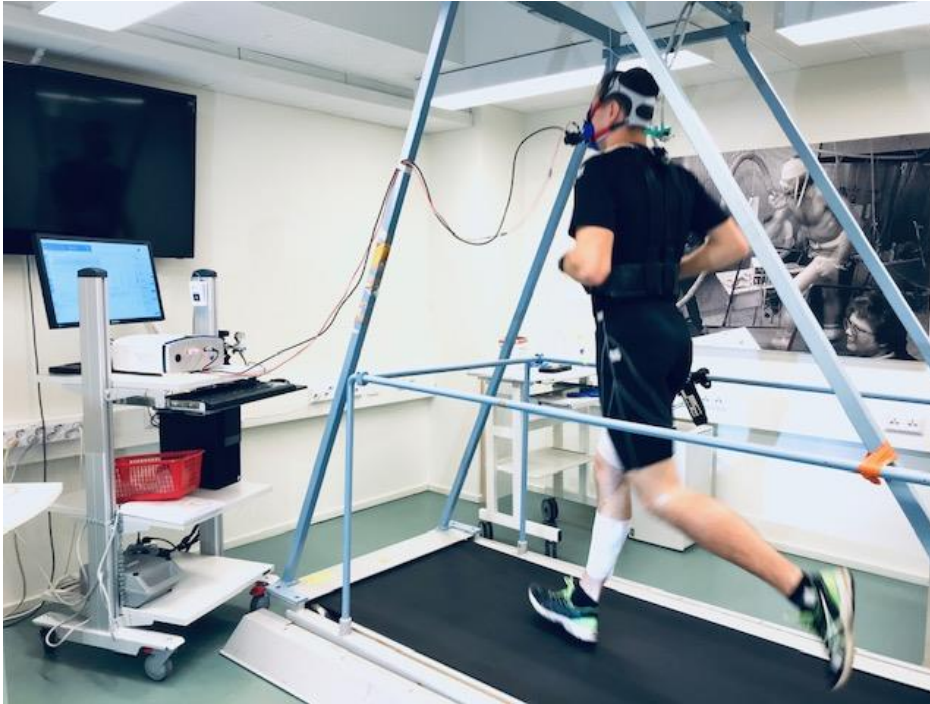
7.3.3 Juoksun taloudellisuuden ja kestävyysuorituskyvyn mittaaminen

Ensimmäinen juoksun taloudellisuus- ja suorituskykytesti toimi kontrollitestinä tuleville kestävyystesteille, joiden protokollat olivat samanlaiset (kuva 11). Ennen alkuveryttelyä otettiin lepolaktaattinäyte. Testissä juostiin pyramidimallinen alkuveryttely, jossa ensimmäinen 5 minuuttia juostiin 60 % teholla anaerobisesta kynnysvauhdista, seuraavat 2 minuuttia 75 % anaerobisesta kynnysvauhdista, 1 minuutti 90 % anaerobisesta kynnysvauhdista ja lopuksi taas 2 minuuttia verityttelyn aloituskuormalla. Tämän jälkeen tehtiin lihasvaurioita- ja väsymystä mittaavat testit. Välittömästi näiden testien jälkeen tutkittava aloitti juoksuproovin, joka eteni seuraavalla tavalla: 10 min 90 % vauhdilla anaerobisesta kynnysvauhdista, 10 min

anaerobisella kynnysvauhdilla ja lopuksi kiihtyen 1 km/h nostoilla minuutin välein. 10 minuutin kuormien jälkeen otettiin laktaattinäyte. Koettua kuormittuneisuutta (RPE 6-20) kysyttiin ja syke mitattiin viimeisen minuutin 30-45 sekunnin välisen ajan keskiarvona (15 s) kummankin kuorman 5 ja 10 minuutin kohdalla. Lisäksi testin aikana mitattiin hapenkulutusta (VO_2 ml/kg/min) ja kirjattiin ylös arvot viiden minuutin välein viimeisen 30 sekunnin keskiarvona. Minuutin välein tehdyt 1 km/h nostot testin lopussa toteutettiin ilman maton pysäytystä ja juostiin uupumukseen asti. Loppuaika, maksimivauhti, korkein laktaatti, maksimisyke, VO_{2max} (ml/kg/min), VE/VCO_2 sekä suurin koettu kuormittuneisuus määritettiin testin lopusta. Maton kulma koko testin ajan oli 0.6 astetta. Juokсутestissä käytetyt välineet (juoksumatto, hengityskaasuanalysointilaite, sykemittari, laktaatinmittaus) olivat samat kuin maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä ja on esitetty tekstissä aikaisemmin. (Kuva 12.)



KUVA 11. Kestävyystestien protokolla. Pyramidimallista alkuveryyttelyä seurasi lihavaurio- ja väsymystestit. Kestävyysjuokсутesti koostui kahdesta submaksimaalisesta 10 minuutin jaksosta, joiden jälkeen vauhtia kiihdytettiin uupumukseen asti. (* = syke, RPE, VO_2 ml/kg/min, VE/VCO_2 , RER) (** = samat kuin * + maton pysäytys → laktaattinäyte).



KUVA 12. Kestävyyssuorituskykytestit juostiin juoksumatolla ja niiden aikana mitattiin muun muassa hengityskaasuja.

7.3.4 Voimaharjoitukset

Kontrollitestiä lukuun ottamatta juoksun taloudellisuus- ja kestävyysuorituskykytestit tehtiin aina 48 (+-3) tuntia voimaharjoituksen jälkeen. Tutkimuksessa oli kaksi erilaista voimaharjoitusta. Puolet tutkittavista tekivät tutkimuksen aikana kolme hypertrofista voimaharjoitusta ja toinen puoli tutkittavista teki kolme hermostollista voimaharjoitusta. Voimaharjoitusten välissä oli noin 1 viikko. Voimaharjoitusta ennen koehenkilöt saivat tehdä 10-15 minuutin alkuverryttelyn, joka sisälsi kuntopyörällä pyöräilyä sekä liikkuvuusliikkeitä haluamallaan tavalla. Harjoituksissa käytettävät kuormat määritettiin voimaharjoitukseen tutustuttavalla käynnillä (kerta 2) jokaisen tutkittavan kanssa erikseen ja käytiin läpi suoritustekniikat voima- ja hyppelyliikkeisiin.

Hypertrofinen voimaharjoitus sisälsi neljä liikettä ja sarjojen välinen palautusaika oli 2 minuuttia (taulukko 3). Tutkittavat tekivät jalkaprässissä aluksi kaksi lähestymissarjaa

submaksimaalisilla kuormilla. Sarjojen aikana kuormaa tiputettiin tarvittaessa, jotta koehenkilö sai suoritettua tarvittavan määrän toistoja. Tarkoituksena oli tehdä jokainen sarja uupumukseen saakka, joten tarpeen mukaan voimaharjoitusten aloituskuormia myös nostettiin tutkimuksen aikana.

Hermostollinen voimaharjoitus sisälsi yhden maksimivoimaliikkeen sekä neljä erilaista plyometrista harjoitetta (taulukko 3). Jalkaprässissä palautumisaika sarjojen välillä oli 4 minuuttia ja hyppy- sekä loikkaliikkeissä palautumisaika oli 2 minuuttia. Ennen jalkaprässiliikettä tutkittavat tekivät kaksi lyhyttä lähestymissarjaa submaksimaalisella kuormalla. Myös hermostollisessa voimaharjoituksessa jalkaprässiliikkeen aloituskuormaa nostettiin tutkimuksen aikana, jotta jokaisessa sarjassa saavutettaisiin kolmen toiston maksimi.

TAULUKKO 3. Voimaharjoitusten liikkeet, sarja- ja toistomäärät sekä palautumisajat sarjojen välillä.

Hypertrofinen voimaharjoitus	Hermostollinen voimaharjoitus
jalkaprässi 5 x 8RM / 2min	jalkaprässi 6 x 3RM / 4min
Polven ojennus laitteessa 3 x 8RM / 2min	Kevennyshyppyt 2 x 6 / 2min
Polven koukistus laitteessa 3 x 8RM / 2min	Tasaloikka 3 x 5 / 2min
Pohjeprässi istuen 5 x 12RM / 2min	Vuoroloikka 3 x 10 / 2min
	Pudotushyppyt (30 cm) 3 x 3 / 2min

7.4 Tilastolliset menetelmät

Tutkimusaineiston käsittelyyn ja analysointiin käytettiin Microsoft Office Excel 2013 -ohjelmaa ja tilastollisissa analyyseissä käytettiin IBM SPSS Statistics 26.0 -ohjelmaa. Tulokset on ilmaistu muodossa keskiarvo (KA) ± keskihajonta (KH). Ennen varsinaisia testejä käytettiin Shapiro-Wilk -testiä varmistamaan, että tulokset ovat likimain normaalisti jakautuneita. Toistuneiden mittauskertojen (kontrolli, testikerta 1, testikerta 2, testikerta 3) välisiä tuloksia ja ryhmävaikutusta vertailtiin toistomittausten varianssianalyysillä. Analyysissä hyödynnettiin

Bonferroni-korjausta, jossa tavoiteltu merkitsevyystaso ($p = 0.05$) on jaettu testien määrällä, ja laskettua arvoa on käytetty jokaisessa yksittäisessä testissä. Harjoitusryhmien sisäisten muutosten vertailuun yksittäisten mittauskertojen välillä käytettiin riippuvien otosten t-testiä. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0.05$ = tilastollisesti merkittävä, $p < 0.01$ = tilastollisesti hyvin merkittävä ja $p < 0.001$ = tilastollisesti erittäin merkittävä.

8 TULOKSET

Tutkimuksen aloitti 14 tutkittavaa, joista 2 keskeytti tutkimuksen sairastumisesta johtuen. Tuloksissa huomioitu lopullinen tutkittavamäärä kumpaakin ryhmää kohden oli 6 ja 6. Kestävyydestien maksimi-arvojen (TTE, L_Amax, HR_{max}, VO₂max, Km/h max) osalta yhden tutkittavan tulokset merkittiin puuttuviksi arvoiksi, johtuen testikerran 2 keskeytymisestä submaksimaalisten kuormien jälkeen. Lihaskaurioita sekä juoksun taloudellisuutta ja maksimisuorituskykyä mitattiin ja vertailtiin eri mittauspisteiden välillä: kontrolli, kerta 1, kerta 2 ja kerta 3, joista kertoja 1-3 edelsi hermostollinen tai hypertrofinen voimaharjoitus.

8.1 Suora maksimaalinen hapenottokykytesti

Maksimaalisessa suorassa hapenoton testissä selvitettiin VO₂max, maksimivauhti, maksimisyke ja maksimilaktaatti. Testituloksista määritettiin anaerobinen kynnysvauhti sekä laskettiin 90 % vauhti anaerobisesta kynnysvauhdista, joita käytettiin submaksimaalisten kuormien vauhteina seuraavissa kestävyystesteissä. (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Suoran maksimaalisen hapenottokykytestin tulokset ryhmittäin (hermostollinen ja hypertrofinen ryhmä) sekä laskettu 90 % vauhti anaerobisesta kynnysvauhdista.

	Aloitus- vauhti (km/h)	Lopetus- vauhti (km/h)	VO ₂ max (ml/kg/min)	La max (mmol/l)	HR max (krt/min)	Anaerobinen kynnys (km/h)	90 % anaerobinen kynnys (km/h)
HER	7.5±0.8	15.0±1.4	49.5±5.5	9.7±1.6	192.2±6,2	11.9±1.2	10.7±1.1
HYP	8±1.3	14.7±1.8	48.4±6.4	9.7±2.2	188.2±11.3	11.9±1.4	10.7±1.3

8.2 Epäsuorat lihasvauriomarkkerit

Maksimivoimantuotossa (MVC), nopeassa voimantuotossa (RFD) ja kevennyshypyissä (CMJ) ei havaittu hypertrofisessa ryhmässä tilastollisesti merkitseviä muutoksia testikertojen välillä.

Sen sijaan kyseisessä ryhmässä lihasarkuus oli merkittävää ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen jokaisessa mittauspisteessä; ensimmäisenä ja toisena aamuna voimaharjoituksen jälkeen (VAS aamu 1, VAS aamu 2) sekä 48 ± 3 h voimaharjoituksen jälkeen juuri ennen kestävyystestiä (VASpre). Suurimmillaan lihasarkuus oli toisena aamuna voimaharjoituksen jälkeen. Koettu lihasarkuus kuitenkin pieneni ensimmäisen testikerran jälkeen, ilmeten alhaisempina VAS-arvoina seuraavien voimaharjoituskertojen jälkeen eri mittauspisteissä. (Taulukko 5).

TAULUKKO 5. Epäsuorasti lihasvaurioita arvioivien testien tulokset (HER = hermostollinen ryhmä, HYP = hypertrofinen ryhmä). Maksimivoimantuotto (MVC, N), nopeavoimantuotto (RFD₀₋₅₀, RFD₁₀₀₋₂₀₀, RFD_{peak20ms}, N/s), kevennyshyppy (CMJ, cm) ja lihasarkuus (VAS_{aamu1}, VAS_{aamu2}, VASpre, %). Merkitsevyydet: * = testikerta 1 vs. 3, # = testikerta 2 vs. 3 välillä, ! = testikerta 1 vs. 2, ” = kontrolli vs. testikerta 1, † = kontrolli vs. testikerta 3. (*/#/!/”/† = p < 0.05, **/##/!!/””/†† = p < 0.01, ***/###/!!!/”””/††† = p < 0.001). Kontrollitestiä ei edeltänyt voimaharjoitus, joten oletusarvona VAS = 0.

Muuttuja	Kontrolli	Testikerta 1	Testikerta 2	Testikerta 3
MVC (N)				
HER	3467 ± 1422	3693 ± 1786	3638 ± 1692	3540 ± 1768
HYP	3903 ± 1375	4094 ± 1319	3922 ± 1502	4297 ± 1144
RFD ₀₋₅₀				
HER	10057 ± 3974	12125 ± 7548	11737.8 ± 5450.0	7274 ± 3205#
HYP	8512 ± 9349	6708 ± 7784	9501.4 ± 8960.8	10066 ± 8947
RFD ₁₀₀₋₂₀₀				
HER	6645 ± 2643	7578 ± 4683	7246 ± 5125	8285 ± 5474
HYP	8742 ± 5933	8325 ± 4169	5664 ± 3819	8693 ± 5009
RFD _{peak20ms}				
HER	25170 ± 17708	21967 ± 17348”	22067 ± 12757	19458 ± 18523†
HYP	20854 ± 13108	18922 ± 11902	14447 ± 11464	16194 ± 10668
CMJ (cm)				
HER	31.5 ± 7.5	31.4 ± 7.7	31.6 ± 7.9	32.2 ± 6.9
HYP	30.1 ± 6.6	29.1 ± 6.9	28.0 ± 6.6	29.5 ± 7.1
VAS _{aamu1}				
HER	-	12.7 ± 9.7	12.0 ± 10.0	11.2 ± 11.9
HYP	-	43.5 ± 17.3	22.3 ± 10.8	30.5 ± 12.6
VAS _{aamu2}				
HER	-	20.8 ± 11.9	13.6 ± 11.0	6.8 ± 6.1*
HYP	-	47.3 ± 17.7	17.2 ± 13.9!	14.1 ± 9.2***
VASpre				
HER	-	19.4 ± 16.0	11.4 ± 12.2	6.4 ± 4.0
HYP	-	36.1 ± 13.3	9.6 ± 10.4 !!	11.9 ± 9.5***

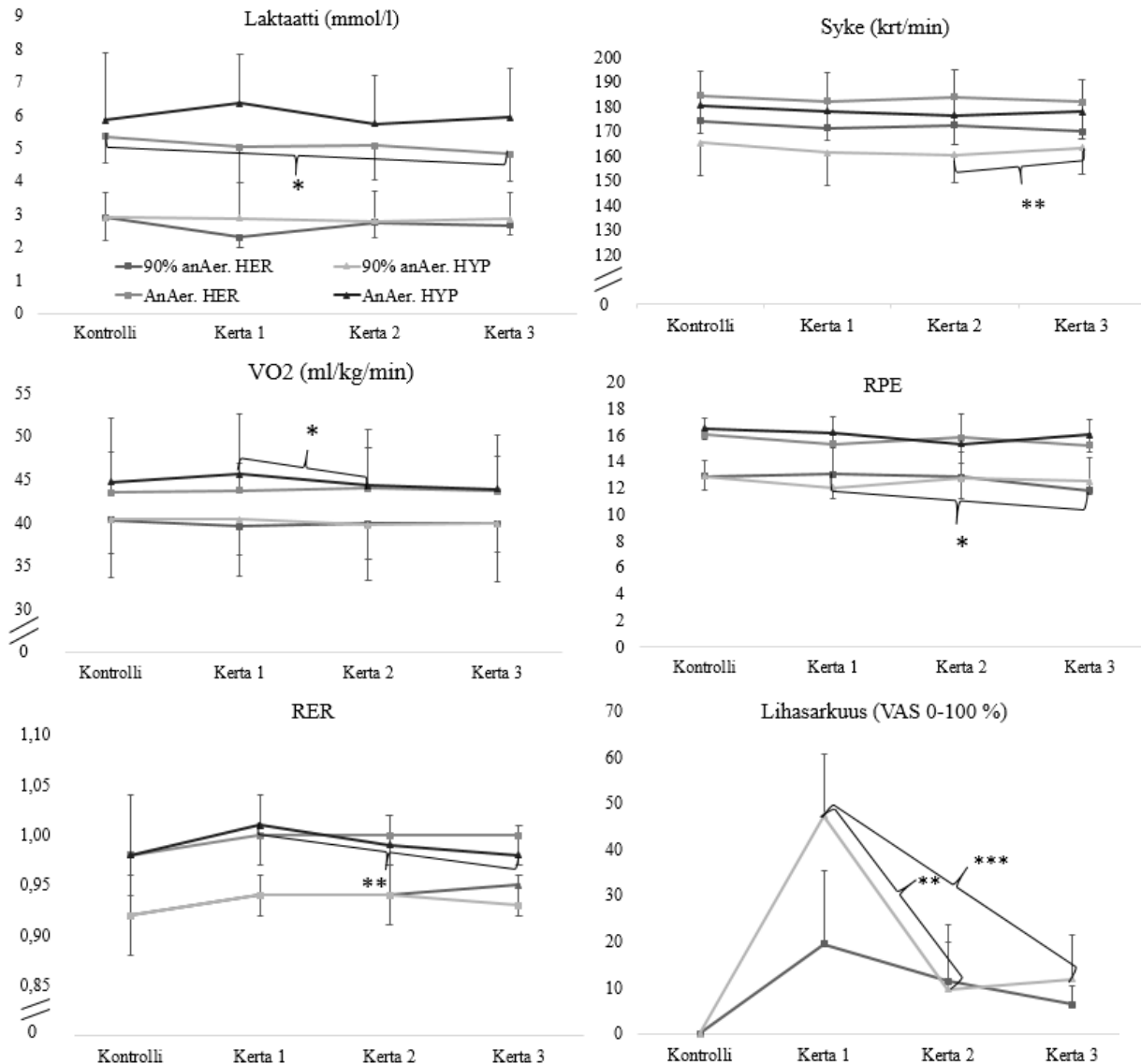
Hermostollista voimaa tehneessä ryhmässä lihasarkuutta ilmeni ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen, mutta vähemmän kuin hypertrofisessa ryhmässä. Testikertojen 1, 2, ja 3 välillä ei havaittu merkittäviä muutoksia lihasarkuudessa eri mittauspisteissä, lukuun ottamatta aamuna 2 koettua lihasarkuutta testikertojen 1 ja 3 välillä. Hermostollisessa ryhmässä nopeassa voimantuotossa havaittiin lievää heikkenemistä; RFD_{0-50} oli alhaisempi testikerralla 3 verrattuna testikertaan 2. $RFD_{peak20ms}$ -arvossa havaittiin lievästi heikompia tuloksia kontrollitestin ja testikerran 1 välillä sekä kontrollitestin ja testikerran 3 välillä. Kevennyshypyssä ei havaittu muutoksia testikertojen välillä hermostollisessa ryhmässä. (Taulukko 5.)

8.3 Juoksun taloudellisuus

Juoksun taloudellisuutta arvioitiin 90 % anaerobisesta kynnyksestä ja anaerobisella kynnysvauhdilla juostujen 10 minuutin suoritusten lopusta laktaattien, sykkeen, hapenkulutukset (VO_2), koetun kuormittuneisuuden (RPE) ja hengitysosamäärän (RER) avulla.

Taloudellisuutta mittaavista muuttujista hypertrofisessa ryhmässä ilmeni merkitsevää laskua hapenkulutuksessa anaerobisella kynnyksellä testikertojen 1 ja 2 välillä (45.6 ± 6.9 vs. 44.3 ± 6.5 ml/kg/min, $p < 0.05$). Hapenkulutus anaerobisella kynnysvauhdilla oli vielä alhaisempi testi kerralla 3, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Koettu lihasarkuus oli merkitsevästi koholla testikerralla 1 testikertoihin 2 ja 3 verrattuna. Merkitsevyyttä havaittiin hypertrofisessa ryhmässä myös 90 % anaerobisen kynnysvauhdin sykkeissä testikertojen 2 ja 3 välillä (160.2 ± 11.1 vs. 163.2 ± 11.0 , $p < 0.01$) sekä anaerobisen kynnysvauhdin RER-arvossa testikertojen 1 ja 2 välillä (1.01 ± 0.03 vs. 0.98 ± 0.03 , $p < 0.01$). (Kuva 13.)

Hermostollisessa ryhmässä merkittävä ero ilmeni anaerobisen kynnysvauhdin laktaattiarvossa kontrollitestin ja testikerran 3 välillä (5.36 ± 0.82 vs. 4.82 ± 0.81 mmol/l, $p < 0.05$). Lisäksi merkitsevästi alhaisempaa RPE:tä ilmeni 90 % anaerobisella kynnysvauhdilla testikertojen 1 ja 3 välillä (13.0 ± 2.0 vs. 11.8 ± 2.5 , $p < 0.05$). Muita merkittäviä eroja submaksimaalisten kuormien taloudellisuutta mittaavissa muutoksissa ei ilmennyt. (Kuva 13.)

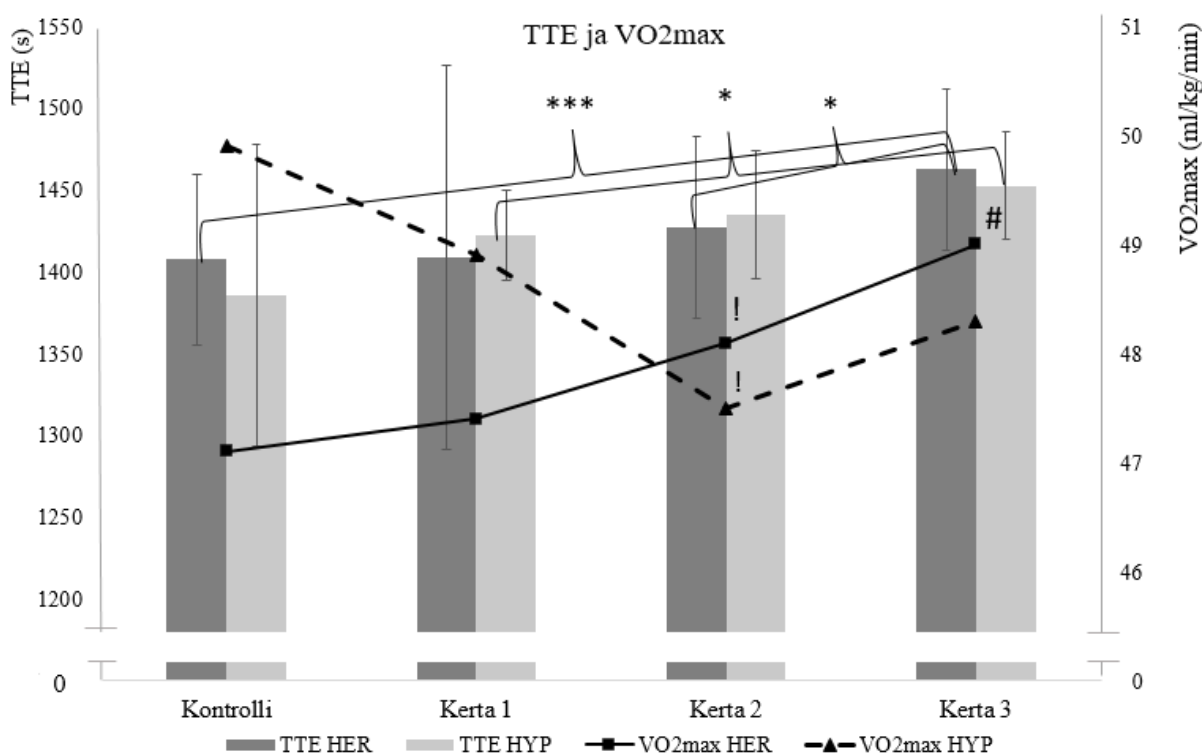


KUVA 13. Laktaatti-, syke-, hapenkulutus-, RPE- (koettu kuormittuneisuus, Borgin asteikko 6-20) ja RER-arvot (hengitysosamäärä) submaksimaalisten kuormien lopulla sekä koettu lihasarkeus ennen kestävyystestiä hermostollisella (neliö) ja hypertrofisella (kolmio) ryhmällä kontrollitestissä sekä 48 tuntia voimaharjoitusten 1-3 jälkeen. * = merkitsevyys ($p < 0.05$).

8.4 Maksimaalinen juoksuvoimakky

Molemmissa ryhmissä maksimisuorituskyky parantui jokaisessa juoksutestissä. Uupumukseen kulunut aika pidentyi merkitsevästi hermostollisessa ryhmässä kontrollitestin ja testikerran 3 välillä (1407.6 ± 52.2 - 1462.6 ± 49.6 ; $p < 0.001$) sekä 2. ja 3. testikertojen välillä (1427.2 ± 56.0 - 1462.6 ± 49.6 ; $p < 0.05$). Hypertrofisessa ryhmässä uupumukseen kulunut aika parantui

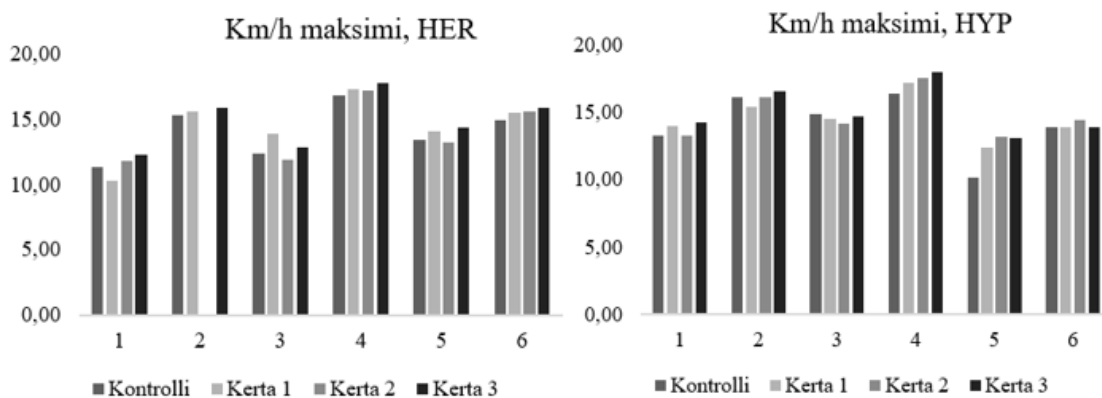
tilastollisesti merkitsevästi testikertojen 1 ja 3 välillä ($1422.2 \pm 27.5 - 1452.8 \pm 33.0$; $p < 0.05$) (kuva 14). Maksimihapenkulutus poikkesi ryhmien välillä siten, että hypertrofisessa ryhmässä VO₂max laski kontrollitestistä testikerroilla 1 ja 2, kun taas hermostollisessa ryhmässä VO₂max oli jokaisella testikerralla edelliskertaa suurempi. Tilastollista merkitsevyyttä hapenoton muutoksissa ilmeni hypertrofisessa ryhmässä kontrollitestin ja testikerran 2 välillä ($49.9 \pm 8.9 - 47.5 \pm 7.3$; $p < 0.05$) ja hermostollisessa ryhmässä kontrollitestin ja testikerran 2 välillä ($47.1 \pm 5.9 - 48.1 \pm 6.0$; $p < 0.05$) sekä kontrollitestin ja testikerran 3 välillä ($47.1 \pm 5.9 - 49.0 \pm 5.3$; $p < 0.05$). (Kuva 14.)



KUVA 14. Uupumukseen kulunut aika (TTE = time to exhaustion) ja saavutettu maksimivauhti (VO₂max) kestävyystestissä hermostollista (HER) ja hypertrofista (HYP) voimaa tehneissä ryhmissä. * = TTE merkitsevyydet. VO₂max merkitsevyydet: # = kontrolli vs. kerta 3; ! = kontrolli vs. kerta 2. ($P < 0.05$).

Molemmissa ryhmissä uupumukseen kulunut aika ja siten testissä saavutettu maksimivauhti parantuivat tutkimusjakson aikana, mutta yksilökohtaista vaihtelua havaittiin suorituskyvyn muutoksissa testikerroilla 1 ja 2. Hermostollisessa ryhmässä jokainen tutkittava paransi

suoritustaan testikerralla 3, mutta hypertrofisessa ryhmässä ilmeni myös suorituskyvyn heikkenemistä kahden tutkittavan osalta. (Kuva 15).



KUVA 15. Saavutetut maksiminopeudet jokaisen tutkittavan osalta. Vasemmassa kuvassa hermostollisen ryhmän tulokset ja oikeassa kuvassa hypertrofisen ryhmän tulokset.

Maksimisykkeessä ei ilmennyt muutoksia testikertojen välillä kummassakaan ryhmässä. Maksimilaktaateissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia hypertrofisessa ryhmässä, mutta merkitsevästi suuremmat laktaattiarvot ilmenivät hermostollisessa ryhmällä kontrollitestin ja testikerran 3 välillä. (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. Maksimilaktaatti, -syke ja -vauhti kestävyystestissä HER ja HYP -ryhmissä. Merkitsevyydet: * = kontrolli ja testikerran 3 välillä, # = testikertojen 2 ja 3 välillä, ! = testikertojen 1 ja 3 välillä. (*/#/! = $p < 0.05$, **/##/!! = $p < 0.01$, ***/###/!!! = $p < 0.001$)

	Kontrolli	Testikerta 1	Testikerta 2	Testikerta 3
LA max				
HER	7.3±0.5	8.3±1.5	7.8±1.3	8.9±1.4*
HYP	8.5±1.2	8.9±1.3	9.3±2.3	10.5±2.5
HR max				
HER	190.8±3.6	190.8±6.8	190.8±5.5	192.0±5.2
HYP	190.2±7.9	189±12.28	188.2±11.0	190.0±10.1
Km/h max				
HER	14.3±2.1	14.6±2.6	14.6±2.1	15.3±2.0***#
HYP	14.1±2.3	14.6±1.6	14.8±1.7	15.1±1.8!

9 POHDINTA

Tutkimuksessa havaittiin hypertrofisen voimaharjoituksen saavan aikaan merkittävää lihasarkuutta, mikä lieveni voimaharjoittelua toistettaessa. Vaikka ensimmäisen hypertrofisen voimaharjoituksen jälkeen juoksun taloudellisuudessa ei havaittu merkittävää heikkenemistä lihasarkuudesta huolimatta, niin toisen ja kolmannen voimaharjoituksen jälkeen juoksun taloudellisuus anaerobisella kynnyksellä oli parempaa, viitaten toistoharjoitusvaikutukseen. Kontrollitestiin verrattuna, juokсутestissä saavutettu maksimihapenkulutus heikentyi hypertrofisessa ryhmässä testikertaan 2 asti, kun taas hermostollista voimaa tehneessä ryhmässä maksimihapenotto sekä maksimilaktaatti nousivat testikertojen myötä ja maksimaalisessa suorituskyvyssä tapahtui merkittävää parantumista testijakson aikana.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hypertrofisen ja hermostollisen voimaharjoituksen akuutteja vaikutuksia kestävyysuorituksen sekä selvittää mahdollisia akuuteissa vaikutuksissa ilmeneviä muutoksia voimaharjoittelua toistettaessa. Perusteena tutkimuksen toteuttamiselle oli aikaisemmat havainnot siitä, että kuormittavan voimaharjoittelu aiheuttaa akuutteja lihasvaurioita ja väsymystä, jotka saattavat heikentävää kestävyysuorituksen taloudellisuutta sekä maksimaalista suorituskykyä. Pitkällä tähtäimellä jatkuva kestävyysuorituksen laadun kärsiminen, johtuen puutteellisesta palautumisesta voimaharjoitusten jälkeen, saattaisi mahdollisesti heikentää kestävyysuorituksen tuloksellisuutta, mikä on kuitenkin kestävyysurheilijoilla ensisijainen kehittämiskohde (Doma ym. 2017a). Näin ollen oli myös syytä selvittää, kuinka säännöllisesti toteutettu voimaharjoittelu vaikuttaa juoksun taloudellisuuteen ja suorituskykyyn. Termillä repeated bout effect (RBE), josta tässä tekstissä käytetään termiä toistoharjoitusvaikutus, tarkoitetaan ilmiötä, jossa uudelleen suoritettuna lihaksen vaurioitumista aiheuttava kuormitus aiheuttaa pienempiä lihasvaurioiden ja väsymyksen oireita ensimmäiseen harjoituskertaan verrattuna. Tällöin myös seuraavaan kestävyysuorituksen heijastuvat vaikutukset olisivat mahdollisesti pienemmät. (Doma ym. 2017a). Koska aikeisempaa tutkimusta kahden erilaisen voimaharjoitustyyppin akuuteista ja toistoharjoitusvaikutuksista ei ole, haluttiin tässä tutkimuksessa ottaa tarkastelun kohteeksi perinteisen hypertrofisen, uupumukseen asti tehtävän voimaharjoittelun lisäksi myös

kestävyyssurheilijoille soveltuva ja tyypillisempi maksimivoimaa sekä plyometrasta harjoittelua sisältävä hermostollinen voimaharjoitus.

Tarkemmin ottaen tutkimuksessa haluttiin selvittää, aiheuttaako 48 ± 3 h ennen kestävyysuoritusta toteutettu hypertrofinen voimaharjoitus tai hermostollinen maksimivoimaa ja plyometrasta harjoittelua sisältävä voimaharjoitus akuutisti juoksun taloudellisuuden ja maksimaalisen suorituskyvyn heikkenemistä kestävyyskuntoilijoilla. Lisäksi pyrkimyksenä oli selvittää, ilmeneekö juoksun taloudellisuudessa ja maksimaalisessa suorituskyvyssä voimaharjoittelun sietokyvyn parantumista hypertrofista tai hermostollista voimaharjoittelua toistettaessa, eli havaitaanko toistoharjoitusvaikutusta. Oletuksena oli, että hypertrofisen voimaharjoituksen jälkeen havaitaan mahdollisesti akuuttia heikkenemistä juoksun taloudellisuudessa ja maksimaalisessa suorituskyvyssä, mutta hermostollisessa voimaharjoituksessa, jossa maksimaalisten ja plyometrasten voimaharjoitteiden yhteisvolyyymi on maltillinen, ei merkittävää vaikutusta juoksun taloudellisuuteen ja maksimaaliseen suorituskykyyn mahdollisesti ilmene. Toistoharjoitusvaikutuksen osalta oletuksena oli, että hypertrofisessa voimaharjoittelussa tämä ilmiö mahdollisesti tapahtuisi, eli juoksun taloudellisuus ja maksimaalinen suorituskyky palautuisi lähtötasoa kohti voimaharjoittelua toistettaessa. Sen sijaan hermostollisen voimaharjoittelun osalta, jonka ei odotettu aiheuttavan akuuttia juoksusuorituksen heikkenemistä, ei oletettu myöskään tapahtuvan toistoharjoitusvaikutusta sen varsinaisessa merkityksessään.

Tuloksissa havaittiin hypoteesien pitävän osittain paikkansa. Oletus mahdollisesta juoksun taloudellisuuden ja maksimisuorituskyvyn akuutista heikkenemisestä hypertrofisen voimaharjoituksen seurauksena ei pitänyt paikkaansa. Merkittävästä lihasarkuudesta huolimatta ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen hapenkulutuksessa, laktaatissa, sykkeessä, RPE:ssä ja RER-arvoissa ei ilmennyt tilastollisesti merkittäviä muutoksia submaksimaalisilla kuormilla juostessa. Myöskään uupumukseen kulunut aika ei heikentynyt tai parantunut ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen kontrollitestiin verrattuna. Oletus siitä, että hermostollinen voimaharjoitus ei mahdollisesti vaikuta negatiivisesti juoksun taloudellisuuteen ja maksimaaliseen suorituskykyyn, sen sijaan piti paikkansa. Muutoksia taloudellisuutta ja maksimaalista suorituskykyä mittaavissa muuttujissa kontrollitestin ja ensimmäisen hermostollisen voimaharjoituksen jälkeen tehdyn kestävyysjuoksutestin välillä ei ilmennyt.

Hypoteesi, jonka mukaan hypertrofista voimaharjoittelua toistettaessa havaittaisiin toistoharjoitusvaikutusta kestävyysuorituksen taloudellisuudessa ja suorituskyvyssä, piti osittain paikkansa. Vaikka kontrollitestin ja ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen tehdyn juokсутestin jälkeen ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja, niin ensimmäisen ja kolmannen voimaharjoituksen jälkeen tehtyjen kestävyystestien tuloksissa havaittiin muutoksia. Taloudellisuutta mittaavissa muuttujista hapenkulutus ja RER-arvo anaerobisella kynnyksellä laskivat ja maksimaalisessa testissä uupumukseen kulunut aika parantui, ilman maksimihapenotossa tapahtuvia muutoksia. Koettu lihasarkuus oli merkittävästi alhaisempaa testikerroilla 2 ja 3, verrattuna ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen koettuun lihasarkuuteen. Myös viimeinen hypoteesi, jossa hermostollista voimaharjoittelua toistettaessa ei oletettu ilmenevän varsinaista toistoharjoitusvaikutusta kestävyysuorituksen muuttujissa, piti paikkansa. Taloudellisuutta mittaavissa muuttujissa ei tapahtunut muutoksia mittauskertojen välillä. Maksimaalinen kestävyysuorituskyky parantui, mikä ilmeni parantuneena uupumukseen kuluneena aikana sekä maksimaalisen hapenoton parantuneena arvoina. Myös maksimaalisessa juokсутestissä saavutetut maksimilaktaatit nousivat testijakson aikana merkitsevästi hermostollisessa ryhmässä.

Taloudellisuus. Vaikka tilastollisesti merkittäviä muutoksia yksittäisten muuttujien osalta ei ilmennyt, niin taloudellisuutta mittaavissa muuttujista voidaan hypertrofista voimaa tehneessä ryhmässä havaita hapenkulutuksen, laktaatin ja RER -arvojen osalta yhteneväistä nousevaa trendiä kontrollitestin ja testikerran 1 välillä, yhtä aikaa merkittävästi kohonneen lihasarkuuden kanssa. Toisen voimaharjoituksen jälkeen hapenkulutus anaerobisella kynnyksellä juostessa laski, verrattuna ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeisen juokсутestin hapenkulutukseen samalla kuormitustasolla. Myös anaerobisen kynnyksen RER-arvoissa ilmeni merkittävää laskua 1 ja 3 testikertojen välillä ja koettu lihasarkuus arkuus oli huomattavasti vähentynyt ensimmäiseen testikertaan verrattuna. Voisi arvioida, että ensimmäinen kuormittava voimaharjoitus on mahdollisesti saanut aikaan jonkin asteisia juoksun taloudellisuutta heikentäviä muutoksia ja toistettaessa voimaharjoittelun aiheuttamat lihasvauriot ja vaikutukset juoksun taloudellisuuteen ovat vähentyneet, kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu (mm. Burt ym. 2013; Doma ym. 2017b).

Subjektiiivisessa kuormittuneisuuden kokemuksessa submaksimaalisilla kuormilla ei ilmennyt eroja mittauskertojen välillä hypertrofisessakaan ryhmässä, eikä epäsuorasti lihasvaurioita ja väsymystä mittaavissa muuttujissa havaittu yhteyttä juoksun taloudellisuuden kanssa. Muuttumattomuus kuormittuneisuuden kokemuksessa oli poikkeavaa aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna (Burt ym. 2013; Doma & Deakin 2015; Smith ym. 2015; Doma ym. 2017b) ja mielenkiintoista, kun huomioidaan merkittävästi suurentunut lihasarkuus ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen. On huomioitava, että kuormittuneisuuden kokemus on hyvin subjektiivista ja RPE:n arviointi voi kehittyä kokemuksen myötä. Osa tutkittavista myös ilmaisi, että ennen testiä koettu lihasarkuus helpotti verryttelyjen ja submaksimaalisilla kuormilla juoksemisen aikana, mikä voi osaltaan selittää kuormituksen kokemusta suorituksen aikana.

Lihavauriomarkkereissa havaittava trendi oli jokseenkin erilainen juokсутestin aikaisiin taloudellisuutta mittaaviin muuttujiin verrattuna, sillä MVC-, RFD₁₀₀₋₂₀₀-, RFD_{peak20ms} sekä CMJ-tuloksissa heikoimmat tulokset ilmenivät vasta toisen voimaharjoituskerran jälkeen, vaikka tilastollisesti merkitseviä eroja muihin mittauskertoihin nähden ei ollut. Aikaisemmat tutkimukset kuitenkin ovat osoittaneet, että lihastoiminnassa sekä lihaksissa havaittavissa fysiologisissa, aineenvaihdunnallisissa, juokсутeknisissä ja kuormittuneisuuden kokemuksessa ilmenevät muutokset eivät aina tapahdu samanlaisella aikajänteellä (Burt ym. 2013) eikä epäsuorasti havaittavat lihavauriot välttämättä vaikuta juoksun taloudellisuuteen etenkin submaksimaalisilla kuormilla (Doma ym. 2015).

Toisin kuin hypertrofisen voimaharjoittelun osalta, hermostollisessa ryhmässä ei ilmennyt merkittäviä muutoksia koetussa lihasarkuudessa eikä submaksimaalisten kuormien hapenkulutuksessa tai RER-arvoissa muutoksia. Laktaattiarvoissa jopa ilmeni pientä laskua tutkimusjakson myötä vauhdilla 90 % anaerobisesta kynnyksestä. Tästä voisi todetta, että hermostollisella voimaharjoittelulla ei ole akuutteja kestävyysuorituksen taloudellisuutta heikentäviä vaikutuksia, vaikka tämän tyyppistä voimaharjoittelua toteutettaisiinkin yllättäen tai pidemmän tauon jälkeen.

Maksimaalinen suorituskyky. Vaikka taloudellisuudessa ei olisikaan havaittu muutoksia kuormittavan voimaharjoituksen jälkeen, niin useissa tutkimuksissa suorituskyvyn heikkeneminen on ilmennyt vasta intensiteetiltään korkeilla suoritusasteilla (Marcora & Bosio 2007; Doma & Deakin 2014), joissa lihasvaurioille herkemmat lihassolutyypit otetaan käyttöön (Chen ym. 2007; Doma ym. 2017b). Tässä tutkimuksessa maksimaalisessa suorituskyvyssä ei ilmennyt heikkenemistä, ja voimaharjoitusryhmästä riippumatta osa tutkittavista paransi, osa heikensi ja osalla suorituskyky pysyi jotakuinkin samana ensimmäisen voimaharjoituskerran jälkeen kontrollitestiin verrattuna, vaikka erityisesti hypertrofisessa ryhmässä koettu lihasarkuus olikin merkittävää.

Kaiken kaikkiaan molemmissa ryhmissä maksimaalinen suorituskyky parantui koko tutkimusjakson aikana. Maksimijuoksutestien tuloksissa kuitenkin ilmenee, että hermostollisessa ryhmässä maksimihapenotto parantui testikertojen myötä. Sen sijaan hypertrofisessa ryhmässä maksimihapenotto heikentyi kontrollitestistä toiseen voimaharjoituksen jälkeen toteutettuun kestävyystestiin asti, mutta ei enää viimeiseen. (Kuva 14.) Lisäksi, uupumukseen kuluneen ajan ja saavutetun maksiminopeuden osalta parannus oli jonkin verran suurempaa hermostollista voimaa tehneellä ryhmällä verrattuna hypertrofiseen ryhmään. Maksimitestissä saavutetut maksimilaktaattien keskiarvot olivat testi testiltä suuremmat molemmissa ryhmissä, mutta tilastollista merkitsevyyttä ei hypertrofisessa ryhmässä ilmennyt, toisin kuin hermostollisessa ryhmässä. Kuitenkin, maksimilaktaattien keskiarvon nousu myös hypertrofisessa ryhmässä jopa kahdella mmol/l (taulukko 6.), voidaan pitää varsin merkittävänä nousuna. Saavutetut maksimilaktaatit kertovat, että maksimitesteissä myös hypertrofisessa ryhmässä on tehty kyseisten hetkien maksimisuoritus ja että anaerobinen irtiottokyky on ollut mahdollisesti vaikuttava tekijä suorituskyvyn parantumisessa hypertrofisessa ryhmässä, eikä hapenotolla ole ollut vaikutuksia suorituskyvyn muutoksiin. Hermostollista voimaa tehneessä ryhmässä anaerobisen suorituskyvyn lisäksi parantunut hapenotto on mahdollisesti vaikuttanut siten, että suorituskyvyn parantuminen on ollut merkittävämpää tutkimusjakson aikana. Yksi mahdollinen tekijä voi myös olla ”delayed potentiation” eli voiman ”potentoituminen”, jolla tarkoitetaan ilmiötä, jossa volyymitaan maltillisella hermostollisella voimaharjoituksella vaikuttaisi olevan hermo-lihasjärjestelmän suorituskykyä edistäviä vaikutuksia vielä 48 tunninkin kuluttua voimaharjoituksesta (Harrison ym. 2019).

Nämä havainnot saavat pohtimaan, onko tyypiltään hypertrofinen voimaharjoittelu, joka koetun merkittävän lihasarkuuden perusteella on aiheuttanut lihassoluvaurioita ja suurentunutta hapenkulutusta anaerobisella kynnyksellä etenkin ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen, vaikuttanut myös heikentävästi maksimaalisen suorituskyvyn ja hapenoton saavuttamiseen ja voisiko sillä olla vaikutuksia maksimaalisen hapenottokyvyn ja kestävyys suorituskyvyn kehittymiseen, erityisesti voimaharjoittelun alkuvaiheissa? Ja, kuten aikaisemmin on arvioitu (Doma ym. 2017a), saattaako mahdollisesti kyseessä oleva riittämätön palautuminen pitkään jatkuessaan vaikuttaa kestävyuden kehittymiseen, mikäli kestävyys harjoituksia ei pystytä toteuttamaan niin laadukkaasti, kuin kehittävän harjoittelun kannalta olisi optimaalista? Tämän tutkimuksen tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että hypertrofiseen voimaharjoitteluun sopeutumista on tapahtunut jo kolmanteen voimaharjoitukseen mennessä. Arvioitavaksi jää, olisiko tutkimuksen mukaista harjoittelua pidempään toteutettaessa sopeutuminen jatkunut edelleen ja toisaalta, tulisiko jossain vaiheessa eteen tilanne, jossa kuormituksen kasautuessa suorituskyky kääntyisi laskuun.

Mahdollisia selityksiä sille, miksi tässä tutkimuksessa kestävyys suorituskyky ei heikentynyt, voi olla useita. Aikaisemmin havaittuja vaikuttavia tekijöitä on mainittu olevan muun muassa harjoitusjärjestys, voimaharjoituksen intensiteetti ja volyymi, harjoituksen kesto, palautumisaika voima- ja kestävyys harjoitusten välillä sekä palautumismenetelmät (Robineau ym. 2016; Doma ym. 2017a). Myös se, tehdäänkö voimaharjoituksessa sarjat uupumukseen asti voi vaikuttaa siihen, kuinka voimaharjoittelu vaikuttaa kestävyys suoritukseen (Izquierdo-Gabarren ym. 2010). Koetun lihasarkuuden perusteella hypertrofisessa ryhmässä lihasvaurioita on tapahtunut, mutta se ei tämän tutkimuksen perusteella ole ollut riittävä tekijä suorituskyvyn heikentymiselle. Epäsuorien lihasvauriomarkkereiden perusteella maksimaalisessa- ja nopeassa voimantuottokyvyssä ei havaittu merkittävää heikkenemistä, joiden on havaittu olevan yhteydessä hermo-lihasjärjestelmän toiminnan muutoksiin. Aikaisemmissa tutkimuksissa voimantuottokyvyssä on havaittu merkittävämpää akuuttia heikkenemistä lyhyemmän ajan kuin 48 ± 3 h tunnin jälkeen (mm. Fernandez-Gonzalo ym. 2011; Burt ym. 2013; Doma ym. 2017b). Tässä tutkimuksessa ei tehty hermo-lihasjärjestelmän toimintakykyä mittaavia testejä voimaharjoituksesta palautumisen aikana, mutta aikaisempaan tutkimusnäyttöön perustuen on mahdollista arvioida, että palautumista on jo ehtinyt tapahtua kahden vuorokauden aikana maksimaalisen kestävyys suorituskyvyn kannalta riittävästi.

Tutkittavat olivat kestävyyskuntoilijoita, joiden harjoittelussa maksimivauhtinen tai edes lähes maksimivauhtinen voi olla hyvin vähäistä. Jokainen yksittäinen totuttua kovempi suoritus voi näin ollen jo parantaa suorituskykyä sekä taloudellisuutta erityisesti kovavauhtisessa juoksussa. Juoksumatolla juoksemiseen totuttamisella, kovan rasitustason paremmalla sietämisellä ja nopean juoksukyvyn kehittymisellä saattaa tässäkin tapauksessa olla suurempi positiivinen vaikutus taloudellisuuteen ja maksimaaliseen suorituskykyyn, kuin voimaharjoittelun mahdollisilla akuuteilla negatiivisilla vaikutuksilla. Maksimaalisissa kestävyys suoritustesteissä suorituskykyyn vaikuttaa hyvin moni tekijä, kuten esimerkiksi viimeaikainen kokonaisstressin määrä, ravitsemustila ja uni. Koska ravintopäiväkirjaa ei tässä tutkimuksessa pyydetty täyttämään, eikä muuta fyysistä tai psyykkistä rasitusta kontrolloitu tai raportoitu, ei niiden vaikutuksista tutkimustuloksiin voida arvioida.

Tutkimuksen rajoitteet. Tavoitteena oli, että voima- ja kestävyys harjoitusyhdistelmät tehtäisiin noin viikon välein. Osa koehenkilöistä joutui pitämään harjoituskertojen välissä pidemmän kuin viikon tauon sairastumisesta tai muusta odottamattomasta syystä johtuen. Muutamassa tapauksessa testattava ehti jo tehdä voimaharjoituksen, mutta ei pystynyt tekemään kestävyystestiä 48 ± 3 h sisällä, jolloin niin voimaharjoitus kuin sitä seuraava kestävyys harjoitus tehtiin seuraavalla viikolla uudelleen. Kaikkien koehenkilöiden osalta koko tutkimus saatiin toteutettua kuuden viikon sisällä. Kuitenkin, väliviikko saattaa mahdollisesti vaikuttaa voimaharjoitusten aiheuttamiin vasteisiin sekä kestävyystestien tuloksiin. Maksimisuorituskykyä mittaavien muuttujien osalta tilastoanalyysissä poistettiin yhden koehenkilön tulokset jokaisen testikerran osalta, sillä yhdellä testikerralla testi jouduttiin keskeyttämään submaksimaalisten kuormien jälkeen. Keskiarvojen vertailun kannalta eri testikertojen välillä pidettiin järkevänä olla huomioimatta kyseisen testattavan maksimisuorituksen tuloksia millään testikerralla. Ravitsemuksen ja harjoittelun tarkempi kontrollointi, palautumisen aikaisen hermo-lihasjärjestelmän toiminnan ja suorituskyvyn testaaminen sekä verinäytteistä mitattavien epäsuorien lihasvauriomarkkereiden hyödyntäminen olisivat parantaneet tutkimuksen laatua ja auttaneet tutkimustulosten analysointia.

Tutkimuksen vahvuudet. Tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää kahden erilaisen voimaharjoitustyypin sisällyttämistä tutkimukseen. Aikaisemmissa saman aihealueen

tutkimuksissa on käytetty vain yhtä voimaharjoitusmenetelmää, joka usein on ollut hyvin kuormittavaa ja jopa uupumukseen asti tehtyä. Tässä tutkimuksessa hermostollinen voimaharjoitus otettiin mukaan, jotta voitaisiin havainnoida mahdollisia eroja hypertrofisen ja hermostollisen voimaharjoittelun kuormittavuudessa ja toisaalta, koska maksimivoimaa ja plyometrista harjoittelua sisältävä hermostollinen voimaharjoittelu on myös kestävyysurheilijoille suositeltu ja käytetympi tapa toteuttaa voimaharjoittelua. Tutkimuksen vahvuus on myös tutkimusprotokolla, joka oli suunniteltu asettumaan hyvin vertailtavaksi aikaisempien aihealueen tutkimusten joukkoon, tuoden kuitenkin uutta näkökulmaa kahden eri voimaharjoitustyypin myötä. Kuntotasoltaan suhteellisen homogeeninen ryhmä, vakioidut olosuhteet (harjoitukset ja mittaukset aina samassa paikassa ja samalla välineistöllä) ja voimaharjoittelussa käytettyjen kuormien lisääminen harjoitusten myötä vastaamaan sen hetkistä tasoa, ovat tutkimuksen vahvuuksia.

Jatkotutkimusehdotuksia. Hermostollisen ja hypertrofisen voimaharjoittelun akuutteja- ja toistoharjoitusvaikutusta olisi hyvä tutkia korkeamman tason kilpakestävyysjuoksijoilla, joiden kokonaisharjoittelumäärä ja -intensiteetti ovat huomattavasti suurempia. Pidempiä tutkimuksia toistoharjoitusvaikutuksesta olisi myös hyvä saada, jotta voidaan arvioida säännöllisen voimaharjoittelun pitkäaikaisvaikutuksia hypertrofisen ja hermostollisen voimaharjoittelun välillä sekä mahdollisesti löytää ajallinen kohta, jossa yhdistelmäharjoittelun aiheuttama mahdollinen väsymyksen kasaantuminen alkaisi vaikuttamaan kestävyysharjoittelun tuloksellisuuteen. Jatkotutkimuksissa mukaan olisi hyvä ottaa kontrolliryhmä, joka toteuttaisi saman tutkimuksen ilman voimaharjoituksia. Kontrolloituja tutkimuksia toistoharjoitusvaikutuksesta yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa, jossa prioriteettina on kestävyysominaisuuksien pitkäaikainen kehittyminen, on tehty vasta vähän. Näin ollen lisää yksittäisiä tutkimuksia aiheesta tarvitaan selkeämpien suositusten tekemiseksi.

Johtopäätökset. Tässä tutkimuksessa hypertrofisen voimaharjoittelun osalta havaittiin toistoharjoitusvaikutusta: voimaharjoitusten aiheuttama lihasarkuus väheni ja juoksun taloudellisuuden akuutti heikentyminen ensimmäisen voimaharjoituksen jälkeen väheni testijakson myötä. Tämä on linjassa aikaisemman tutkimusnäytön kanssa. Vaikka juoksun taloudellisuus ja saavutettu hapenotto olivatkin heikoimmillaan ensimmäisen raskaan hypertrofisen harjoituksen jälkeen, ei sillä ollut maksimaalista suorituskykyä heikentävää

vaikutusta. Oppimisella ja kuormituksen sietokyvyn parantumisella saattaa olla vaikutusta kestävyyskuntoilijoita tutkittaessa. Tämän tutkimuksen perusteella hermostollisella voimaharjoittelulla ei ole kestävyysharjoittelun laatua heikentäviä vaikutuksia, eikä estä kestävyysuorituksessa maksimaalista irtiottokykyä 48 tuntia myöhemmin, joten myös pitkällä aikavälillä hermostollisen voimaharjoittelun käyttö saattaa olla kestävyysuorituskyvyn kehittymisen kannalta otollisempaa. Lisää tutkimusta aiheesta kuitenkin tarvitaan.

Käytännön hyödyt valmennuskäyttöön. Tämän tutkimuksen perusteella kuormittava hypertrofinen voimaharjoitus aiheuttaa akuutisti merkittävää lihasarkuutta, saattaa heikentää juoksun taloudellisuutta ja voi haastaa maksimaalisen hapenoton saavuttamista vielä kaksi vuorokautta voimaharjoituksen jälkeen. Sopeutumista harjoitteluun näyttäisi tapahtuvan jo muutamien viikkojen aikana, joten ensimmäisen voimaharjoituksen aiheuttamaa lihasarkuutta tai kestävyysuorituksen akuuttia heikentymistä ole syytä pelätä. Kuitenkin, ennen tärkeämpiä kovatehoisia juoksuharjoituksia tai kilpailuja tällaista harjoittelua on syytä välttää optimaalisen subjektiivisen tuntuman ja suorituskvyn saavuttamiseksi. Hermostollinen maksimaalista voimaa ja plyometrasta harjoittelua kohtuullisissa määrin sisältävä voimaharjoitus sen sijaan ei näytä heikentävän taloudellisuutta tai suorituskvyyä akuutisti eikä aiheuttavan merkittävää lihasarkuutta edes pidemmän tauon jälkeen tehtynä. Tämän tyyppistä voimaharjoittelua, ennen tärkeämpääkin kestävyysuoritusta, voidaan tämän tutkimuksen mukaan pitää turvallisena. Hermostollinen voimaharjoittelu kaksi vuorokautta ennen kestävyysuoritusta, näyttäisi olevan maksimaalisen hapenoton saavuttamisen ja mahdollisesti myös sen kehittymisen kannalta parempi tapa toteuttaa kestävyysurheilijoiden voimaharjoittelua. Hermostollisen voimaharjoittelun soveltuvuutta kestävyysjuoksijoiden käyttöön tukee myös vahva näyttö sen muista hyödyllisistä vaikutuksista juoksun taloudellisuuteen niin matalatehoisemmissa kuin maksimaalisissa suorituksissa.

LÄHTEET

- Anning, S. 2016. The impact of resistance training on performance in endurance athletes. *Journal of Australian Strength and conditioning*, 2016, 24 (7) 69-78.
- Barash, I. A., Peters, D., Fridén, J., Lutz, G. L. & Lieber, R. L. 2002. Desmin Cytoskeletal modifications after a bout of eccentric exercise in the rat. *American Journal of Physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 2002, 283 (4) R958-963.
- Barnes, K. R., Hopkins, W. G., McGuigan, M. R., Northuis, M. E. & Kilding, A. E. 2013. Effects of resistance training on running economy and cross-country performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2013, 45 (12) 2322-2331.
- Bassett, D.R. jr. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32 (1) 70–84.
- Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., Rossiter, A. & Kenny, I. 2017. The effect of strength training on performance indicators in distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, 31 (1) 9-23.
- Beattie, K., Kenny, I., Lyons, M. & Carson, B. 2014. The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*, 44 (6) 845-865.
- 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*, 2000, 81 (5) 418–427.
- Bigland-Ritchie, B., Furbush, F. & Woods, JJ. 1986. Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. *Journal of Applied Physiology*, 1986, 61 (2) 421-429.
- Bishop, D. T., Meikle, A. W., Slattery, M. L., Stringham, J. D., Ford, M. H. & West, D. W. 1988. The effect of nutritional factors on sex hormone levels in male twins. *Genetic Epidemiology*, 1988, 5 (1) 43-59.

- Burt, D., Lamb, K., Nicholas, C. & Twist, C. 2013. Effects of repeated bouts of squatting exercise on sub-maximal endurance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 2013, 113: 285-293.
- Chen, T.C., Chen, H.L., Lin, M.J., Wu, C.J. & Nosaka, K. 2010. Potent protective effect conferred by four bouts of low-intensity eccentric exercise. *Medicine and Science in sports and Exercise*, 2010, 42 (5), 1004-1012.
- Chen, T.C., Chen, H.L., Lin, M.J., Wu, C.J. & Nosaka, K. 2009. Muscle damage responses of the elbow flexors to four maximal eccentric exercise bouts performed every 4 weeks. *European Journal of Applied Physiology*, 2009, 106: 267–275.
- Chen, T. C., Lin, K. Y., Chen, H. L., Lin, M. J. & Nosaka, K. 2011. Comparison of exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 2011, 111: 211-223.
- Chen, T. C., Nosaka, K. & Tu, J. H. 2007. Changes in running economy following downhill running. *Journal of Sports Science*, 2007, 25: 55–63.
- Chtara, M., Chaouachi 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 and Conditioning Research*, 2008, 22 (4) 1037-1045.
- Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G. B. & Amri, M. 2005. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *British Journal of Sports Medicine*, 2005, 39 (8) 555-560.
- Cleak, M. J. & Easton, R. G. 1992. Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *Journal of Sports Medicine*, 1992, 26 (4) 267-272.
- Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J. & Cook, C. Possible stimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. *Sports Medicine*, 2006, 36 (3) 215-238.
- Del Vecchio, A., Casolo, A., Negro, F., Scorcelletti, M., Bazzucchi, I., Enoka, R., Felici, F. & Farina, D. 2019. The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *The Journal of Physiology*, 2019, 597 (7) 1873-1887.

- Doma, K. & Deakin, G. B. 2013. The effects of combined strength and endurance training on running performance the following day. *International Journal of Sport and Health Sciences*, 2013, 11: 1-9.
- Doma, K. & Deakin, G. B. 2014. The acute effects intensity and volume of strength training on running performance. *European Journal of Sport Sciences*, 2014, 14 (2) 107-115.
- Doma, K., Deakin, G. B. & Bentley, D. J. 2017a. Implications of impaired endurance performance following single bouts of resistance training: An alternate concurrent training perspective. *Sports Medicine*. 2017, 47 (11) 2187-2200.
- Doma, K., Schumann, M., Leicht, A. S., Heilbronn, B. E., Damas, F. & Burt, D. 2017b. The repeated bout effect of traditional resistance exercises on running performance across 3 bouts. *Applied Physiology, nutrition and metabolism*, 2017; 42 (9), 978-985.
- Doma, K., Schumann, M., Sinclair, W. H., Leicht, A. S., Deakin, G. B. & Häkkinen, K. 2015. The repeated bout effect of typical lower body strength training sessions on sub-maximal running performance and hormonal response. *European Journal of Applied Physiology*, 2015, 115 (8) 1789–99.
- Duchateau, J. & Hainaut, K. 1993. Behaviour of short and long latency reflexes in fatigued human muscles. *Journal of Physiology*, 1993, 471: 787-799.
- Enoka, R. M. 2015. Muscle and motor units. *Teoksessa Neuromechanics of Human Movement*, 5. painos. Human Kinetics.
- Farup, J., Rahbek, S. K., Bjerre, J., de Paoli, F. & Vissing, K. 2016. Associated decrements in rate of force development and neural drive after maximal eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2016, 26: 498-506.
- Fernandez-Gonzalo, r., Bresciani, G., de Souza-Teixeira, F., Hernandez-Murua, J. A., Jimenez-Jimenez, R., Gonzalez-Gallego, J. & Antonio de Paz, J. 2011. Effects of a 4-week eccentric training program on the repeated bout effect in young active women. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2011, 10: 692-699.
- Ferrauti, A., Bergermann, M. & Fernandez-Fernandez, J. 2010. Effects of a concurrent strength and endurance-training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, 24 (10) 2770-2778.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. 2014. Designing resistance training programs. 4. painos. *Human Kinetics*.

- Folland, J. P. & Williams A. G. 2007. The adaptations to strength training; Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 2007, 37 (2) 145-168.
- Harrison, P. W., James, L. P., McGuigan, M. R., Jenkins, D. G. & Kelly, V. G. 2019. Resistance Priming to Enhance Neuromuscular Performance in Sport: Evidence, Potential Mechanisms and Directions for Future Research. *Sports Medicine*, 2019, 49 (10) 1499-1514.
- He, L., Van Roie, E., Bogaerts, A., Morse, C. I., Delecluse, C. Verschueren, S. & Thomis, M. 2018. Genetic predisposition score predicts the increases of knee strength and muscle mass after one-year exercise in healthy elderly. *Experimental Gerontology*, 2018, 111: 17-26.
- 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*, 1988, 65 (5) 2285-2290. "
- Hickson, R., C. 1980 Interference of Strength Development by Simultaneously Training for Strength and Endurance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1980, 45 (2-3) 255–263.
- Howatson, G., Van Someren, K. & Hortobágyi, T. 2007. Repeated bout effect after maximal eccentric exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 2007, 28 (7), 557-563.
- Howell, J. N., Chelboun, G. & Conaster, R. 1993. Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in humans. *The Journal of Physiology*, 1993, 464: 183-196.
- Hunter G., Demment R. & Miller, D. 1987. Development of strength and maximal oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 1987, 27 (3) 269-275.
- Hyldahl, R. D., Chen, T. C. & Nosaka, K. 2017. Mechanisms and mediators of the skeletal muscle repeated bout effect. *Exercise and Sport Science Reviews*, 2017, 45 (1) 24-33.
- Hynynen, E. 2016. 4.4 Hengitys- ja verenkiertoelimistö. Teoksessa Mero, A. (toim.), Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K, Huippu-urheiluvalmennus – Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. Lahti: VK-Kustannus Oy.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and

- endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 2003, 89 (1) 42-52.
- Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Newton, R. U. & Alen, M. 2001. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiologica Scandinavica*, 2001, 171 (1) 51-62.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kyröläinen, H., Cheng, S., Kim, D. H. & Komi, P. V. 1990. Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training. *International Journal of Sports Medicine*, 1990, 11 (2) 91-98.
- Ihalainen, J., Peltonen, H., Paulsen, G., Ahtiainen, J., Taipale, R., Härmäläinen, M., Moilanen, E. & Mero, A. A. 2017. Inflammation status of healthy young men: initial and specific responses to resistance training. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2018, 43 (3) 252-258.
- Ihalainen, J., Walker, S. Paulsen, G., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Härmäläinen, M., Vuolteenaho, K. & Mero, A. A. 2014. Acute leukocyte, cytokine and adipocytokine responses to maximal and hypertrophic resistance exercise bouts. *European Journal of Applied Physiology*, 2014, 114 (12) 2607-2616.
- Ingalls, C. P., Warren, G. L., Williams, J. H., Ward, C. V. & Armstrong, R. B. 1998. E-C coupling failure in mouse EDL muscle after in vivo eccentric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 1998, 85 (1) 58-67.
- Izquierdo-Gabarrén, M., Gonzales De Txabarri Exposito, R., Garcia-Pallares, J., Sanchez-medina, L., De Villarreal, E. S. & Izquierdo, M. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. 2010. *Medicine and Science in sports and exercise*, 2010, 42 (6), 1191-1199.
- Jamurtas, A. Z., Theocharis, V., Tofas, T., Tsiokanos, A., Yfanti, C., Paschalis, V., Koutedakis, Y. & Nosaka, K. Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European Journal of Applied Physiology*, 2005, 95: 179-185.
- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology*, 2008, 586 (1) 35-44.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H. & Costill, D. L. 2012. *Physiology of sports and exercise*. 5. painos. Champaign: Human Kinetics.

- Komi, P. 2000. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 2000, 33 (10) 1197-1206.
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Scott, G. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., Frykman, P., McCurry, D. & Fleck, S. 1990. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of Applied Physiology*, 1990, 69: 1442-1450.
- Johnson, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R. & Vroman, N. B. 1997. Strength training in female distance runners: impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1997, 11 (4) 224-229.
- Jones, A. M. 2006. The physiology of the world record holder for the women's marathon. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 2006, 1: 101-116.
- Lake, M. J. & Cavanagh, P. R. 1996. Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. *Medicine and Science of Sports and Exercise*, 1996, 28 (7) 860-869.
- Lapier, T. K., Burton, H. W., Almon, R. & Cerny, F. 1995. Alterations in intramuscular connective tissue after limb casting affect contraction-induced muscle injury. *Journal of Applied Physiology*, 1995, 78 (3) 1065-1069.
- Linnamo, V., Pakarinen, A., Komi, P. V., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2005. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2005, 19 (3) 566-571.
- Lynn, R. & Morgan, D. L. 1994. Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fiber than does incline running. *Journal of Applied Physiology*, 1994, 77 (3) 1439-1444.
- Marcora, S. M. & Bosio, A. 2007. Effect of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2007, 17 (6) 662-671.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. Exercise physiology – Nutrition, energy and human performance. Eight edition. *Skeletal Muscle: Structure and Function*. 354-381.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. Exercise physiology – Nutrition, energy and human performance. Eight edition. *Training for anaerobic and aerobic power*. 461-497.

- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. Exercise physiology – Nutrition, energy and human performance. Eight edition. Muscular strength: training muscles to become stronger. 498-541.
- McCarthy, J. P., Pozniak, M. A. & Agre, J. C. 2002. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and exercise*, 2002, 34 (3) 511-519.
- McCaulley, G. O., McBride, J. M., Cormie, P., Hudson, M. B., Nuzzo, J. L., Quindry, J. C. & Travis Triplett, N. 2009. Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 2009, 105 (5) 695-704.
- McHugh, M. P. 2003. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2003, 13 (2) 88-97.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A. J., Easton, R. G., Kremenec, I. J. & Glem, G. W. 1999a. The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *American Journal of Sport Medicine*, 1999, 27 (5) 594-599.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A. J., Easton, R. G. & Gleim, G. W. 1999b. Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Sports Medicine*, 1999, 27 (3), 157-170.
- Migdley, A. W., McNaughton, L. R. & Wilkinson, M. 2006. Is there an Optimal Training Intensity for Enhancing the Maximal Oxygen Uptake of Distance Runners? *Sports Medicine*, 2006, 36: 117-132.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K. & Nummela, A. 2011. Effects of strength training regimens on performance in recreational endurance runners. *Journal of sport science*, 2011, 29 (13) 1359–1371.
- Mikkola, J. S., Rusko, H. K., Nummela, A. T., Paavolainen, L. M. & Häkkinen, K. 2007a. Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21 (2) 613-620.
- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollar, 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*, 2007, 28 (7) 602-611.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F. & Candau, R. 2002 Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2002, 34 (8) 1351-1359.
- Moore, I. S. 2016. Is there an economical running technique? A review of modifiable biomechanical factors affecting running economy. *Sports Medicine*, 2016, 46 (6) 793-807.
- Moore, I. S., Jones, A. M. & Dixon, S. J. Mechanisms for improved running economy in beginner runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2012, 44 (9) 1756-1763.
- Nosaka, K. & Aoki, M. S. 2011. Repeated bout effect: research update and future perspective. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 2011, 5 (1) 5-15.
- Nosaka, K., Newton, M. J. & Sacco, P. 2005. Attenuation of protective effect against eccentric exercise induced muscle damage. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 2005, 30 (5) 529-542.
- Nosaka, K., Sakamoto, K., Newton, M. & Sacco, P. 2001. How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Medicine and Science of Sport and Exercise*, 2001, 33 (9) 1490-1495.
- Nosaka, K. 1998. Comparison of muscle damage induced by maximal forced eccentric load and submaximal controlled eccentric load. Teoksessa Häkkinen K. (toim.) *International conference of weightlifting and strength training. Conference book, Lahti*, 227-228.
- Nummela, A. 2016. 4.5 Energia-aineenvaihdunta. Teoksessa Mero, A. (toim.), Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K, *Huippu-urheiluvalmennus – Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. Lahti: VK-Kustannus Oy.
- Nummela, A. & Häkkinen, K. 2016. 7.5 Kestävyysarjoittelu ja voimaharjoittelu kestävyyslajeissa. Teoksessa Mero, A. (toim.), Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K, *Huippu-urheiluvalmennus – Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. Lahti: VK-Kustannus Oy. 2016.
- Nummela, A. 2010. Kestävyysuorituskykyä selittävät tekijät. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja. 2. uudistettu painos*. Liikuntatieteellisen seuran julkaisu 161, 51-59.

- Nummela, A. & Peltonen, J. 2018. Testimenetelmiä. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. (toim.), *Fyysisen kunnon mittaaminen – käsi- ja oppikirja kuntotestaajille*. 2018.
- Owens, D., Twist, C., Cogley, J. N., Howatson, G. & Close, G. L. 2018. Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *European Journal of Sport Science*, 2018, 19 (1) 71-85.
- Palmer, C. D. & Sleivert, G. G. Running economy is impaired following a single bout of resistance exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2001, 4 (4) 447-457.
- Paavolainen, L. M., 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*, 1999, 86 (5) 1527-1533.
- Paschalis, V., Koutedakis, Y., Baltzopoulos, V., Mougios, V., Jamurtas, A. Z. & Theoharis, V. The effects of muscle damage on running economy in healthy males. *International Journal of Sports Medicine*, 2005, 26 (10) 827-831.
- Pincheira, P. A., Hoffmann, B. W., Cresswell, A. G., Carroll, T. J., Brown, N. A. T. & Lichtwark, G. A. 2018. The repeated bout effect can occur without mechanical and neuromuscular changes after bout of eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2018, 28 (10), 2123-2134.
- Peñailillo, L., Blazeovich, A., Humazawa, H. & Nosaka, K. 2015. Rate of force development as a measure of muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science of Sports*, 2015, 25: 417-427.
- Price, D. D., McGrath, P. A., Rafii, A. & Buckingham, B. 1983. The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*, 17 (1) 45-56.
- Proske, U. & Allen, T. J. 2005. Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2005, 33 (2) 98-104.
- Pousson, M., Van Hoecke, J. & Goubel, F. Changes in elastic characteristics of human muscle induced by eccentric exercise. *Journal of Biomechanics*, 1990, 23 (4) 343-348.
- Ragab, M. M., Abdel Raouf, N. A. & Diab, R. H. 2015. Effect of submaximal eccentric versus maximal isometric contraction on delayed onset muscle soreness. *International Journal of Medical and Health Sciences*, 2015, 9 (8).

- Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Maresh, C. M., Van Heest, J. L., Sharman, M. J., Rubin, M. R., French, D. N., Vescovi, J. D., Silvestre, R., Hatfield, D. L., Fleck, S. J. & Deschenes, M. R. 2005. Androgen receptor content following heavy resistance exercise in men. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 2005, 93 (1) 35-42.
- Reich, T. E., Lindstedt, S. L., LaStayo, P. C. & Pierotti, D. J. 2000. Is the spring quality of muscle plastic? *American Journal of Physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 2000, 278 (6) 1661-1666.
- Robineau, J., Babault, N., Oiscione, J., Lacombe, M. & Bigard, A. X. 2016. Specific Training Effects of Concurrent Aerobic and Strength Exercises Depend on Recovery Duration. *Journal of strength and conditioning research*, 2016, 30 (3), 672-683.
- Rodriguez-Rosell, D., Pareja-Planco, F., Aagaard, P. & Gonzalez-Badillo, J. J. 2017. Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 2018, 38 (5) 743-762.
- Rønnestad, B. R. & Mujika, I. 2014. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: a review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science of Sport*, 2014, 24 (4) 603-612.
- Sabido, R., Peñaranda, M. & Hernández-Davó, José Luis. 2016. Comparison of acute responses to four different hypertrophy-oriented resistance training methodologies. *European Journal of Human Movement*, 2016, 37: 109-121.
- Sarabon, N., Panjan, A., Rosker, J. & Fonda, B. 2013. Functional and neuromuscular changes after drop jumps and leg curls. *Journal of Sport Science & Medicine*, 2013, 12 (3) 431-438.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D. & Hawley, J. A. 2004. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 2004, 34 (7) 465-485.
- Schumann, M., Mykkänen, O-P., Doma, K., Mazzolari, R., Nyman, K. & Häkkinen, K. 2015. Effects of endurance training only versus same-session combined endurance and strength training on physical performance and serum hormone concentrations on recreational endurance runners. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2015, 40 (1) 28-36.

- Smith, M. R., Marcora, S. M. & Coutts, A. J. 2015. Mental fatigue impairs intermittent running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2015, 47 (8) 1682-1690.
- Storen, O., Helgerud, J., Stoa, E. M. & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in endurance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2008, 40 (6) 1087-1092.
- Sung, J. & Song, Y. M. 2016. Genetic effects of serum testosterone and sex hormone-binding globulin in men: a Korean twin and family study. *Asian Journal of Andrology*, 2016, 18 (5) 786-790.
- Svartberg, J., Jorde, R., Sundsfjord, J., Bonna, K. H. & Barrett-Connor, E. 2003. Seasonal variation of testosterone and waist to hip ratio in men: the Tromsø study. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 2003, 88 (7) 3099-3104.
- Taylor, J. L., Todd, G. & Gandevia, S. C. 2006. Evidence for a supraspinal contribution to a human muscle fatigue. *Clinical and Experimental Pharmacology & Physiology*, 2006, 33 (4) 400-405.
- Thomaes, T., Thomis, M., Onkelinx, S., Goetschalckx, K., Fagard, R., Lambrechts, D. & Vanhees, L. 2013. Genetic predisposition scores associate with muscular strength, size, and trainability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2013, 45 (8) 1451-1459.
- Tzvetkov, S. 2017. Indicators of effectiveness and economy in evaluation of functional working capability of elite athletes. *Activities in Physical Education and Sport*, 2017, 7 (1) 95-99.
- Verkhoshansky, Y. & Verkhoshansky, N. *Special Strength Training Manual for Coaches*. Toim. Verkhozansky SSTM. Rome, Italy; 2011.
- Vikmoen, O., Ronnestad, B. R., Ellefsen, S. & Raastad, T. 2017. Heavy strength training improves running and cycling performance following prolonged submaximal work in well-trained female athletes. *Physiological Reports*, 2017, 5 (5) e13149.
- Walker, S. 2012. *Acute Neuromuscular and hormonal responses and long-term adaptations to hypertrophic resistance training – with special reference to constant versus variable resistance*. University of Jyväskylä. Faculty of Sport and Health Sciences. Department of Biology of Physical Activity. Neuromuscular Research Center. *Studies in sport, physical education and health* 188.

- Warren, G. L., Ingalls, C. P., Lowe, D. A. & Armstrong, R. B. 2001. Excitation-contraction uncoupling: major role in contraction-induced muscle injury. *Exercise and Sport Science Reviews*, 2001, 29 (2) 82-87.
- Warren, G. L., Hermann, K. M., Ingalls, C. P. & Masselli, M. R. 2000. Decreased EMG median frequency during a second bout of eccentric contractions. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 2000, 32 (4) 820-829.
- Weakley, J. J. S., Till, K., Read, D. B., Roe, G. A. B., Darrall-Jones, J., Phibbs, P. J. & Jones, B. 2017. The effects of traditional, superset, and tri-set resistance training structures on perceived intensity and physiological responses. *European Journal of Applied Physiology*, 2017, 117 (9) 1877-1889.
- Whitehead, N. P., Weerakkody, N. S., Gregory, J. E., Morgan, J. L. & Proske, U. 2001. Changes in passive tension of muscle in humans and animals after eccentric exercise. *The Journal of Physiology*, 2001, 533: 593-604.
- 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 Exercises. *Journal of strength and conditioning research*, 2012, 26 (8) 2293-2307.

LIHASARKUUSKYSELY

Nimi: _____

Käsitteellä DOMS (Delayed Onset of Muscle Soreness) tarkoitetaan harjoituksen jälkeistä viivästynyttä lihasarkuutta, joka tyypillisesti on voimakkaimmillaan pari vuorokautta voimaharjoituksen jälkeen. Tämä voidaan kokea kuormitetuissa lihaksissa kosketus- tai liikearkuutena tai jäykkyyden tunteena.



Merkitse poikkiviiva " | " janalle, kohtaan joka parhaiten kuvaa kokemaasi harjoituksen jälkeistä lihastenarkuutta

1. aamu

2. aamu

Ennen kestävyystestiä
