

**VESIUPOTUSMENETELMIEN VAIKUTUS FYYSISESTÄ KUORMITUKSESTA
PALAUTUMISEEN MIEHILLÄ**

Essi Ahokas

Liikuntafysiologian

Pro Gradu -tutkielma

Syksy 2017

Liikuntabiologia

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaajat: Antti Mero & Heikki

Kyröläinen

TIIVISTELMÄ

Ahokas Essi. 2017. Vesiupotusmenetelmien vaikutus fyysisestä kuormituksesta palautumiseen miehillä. Liikuntabiologia, Jyväskylän yliopisto, Pro Gradu -tutkielma, 118 s.

Johdanto. Palautuminen on tärkeää erityisesti urheilijoiden harjoittelun ja kilpailujen yhteydessä. Sitä tapahtuu harjoituksen tai kilpailun aikana, välittömästi harjoituksen tai kilpailun jälkeen ja pitkäkestoisena harjoitusten ja kilpailujen välillä. Erilaisia palautumismenetelmiä on lukuisia ja niistä tärkeimpiä ovat aktiiviset menetelmät kuten kevyt aerobinen kuormitus sekä liikkuvuusharjoitukset. Passiivisia menetelmiä ovat uni, ravinto (nesteytys), hieronta, fysioterapia, painemenetelmät, lämpömenetelmät ja kylmäkäsitely. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää aktiivisen palautumisen jälkeen suoritettujen eri vesiupotusmenetelmien sekä pelkän aktiivisen palautumisen vaikutusta fyysiseen suorituskykyyn ja siihen vaikuttaviin fysiologisiin muuttujiin.

Menetelmät. Koehenkilöinä oli liikunnallisesti aktiivisia 20–35 -vuotiaita miehiä (n = 9). Koehaaste sisälsi akuutin kuormituksen ja sen palautumisen seurannan. Koehenkilöt suorittivat intensiivisen hyppely- ja pikajuoksuharjoituksen, joka oli kokonaiskestoltaan 45 minuuttia. Satunnaistetussa järjestyksessä käytettiin neljää eri palautumismenetelmää kestoltaan 10 minuuttia: kylmävesiupotusta lämpötilalla 10 °C, lämpöneutraalia vesiupotusta (24 °C), kontrastimenetelmää (vuorotellen 10 °C ja 38 °C), jotka kaikki suoritettiin heti aktiivisen 10 minuuttia polkupyöräergometripalautuksen jälkeen, ja neljäntenä palautusmenetelmänä toimi pelkkä aktiivinen palautuminen. Kokonaiskestoltaan 96 tunnin ajan palautumista arvioitiin 30 metrin kiihdytysjuoksun, maksimaalisen esikevennyshyppyn, itse koetun lihaskivun ja rentouden tunteen, veren laktaattipitoisuuden ja pH:n sekä veren kreatiinikinaasi-, myoglobiini-, CRP-, testosteroni-, kortisoli-, adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuuksien avulla. Tulosten tilastollisessa analysoinnissa käytettiin toistomittausten varianssianalyysiä ja nonparametrista Friedmanin ja Wilcoxonin testiä. Muuttujien välisiä korrelaatioita analysoitiin Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiotestien avulla. Tilastollisen merkitsevyyden rajana pidettiin $p < 0,05$ -merkitsevyydestä.

Tulokset. Koehenkilöiden kokema rentouden tunne tunnin palautumisen kohdalla oli parempi ($p < 0,05$) kylmävesimenetelmän ja kontrastivesimenetelmä jälkeen verrattuna aktiiviseen palautumiseen ja lämpöneutraaliin palautumiseen, vastaavasti. Suorituskykymittauksissa (30 m kiihdytysjuoksu ja esikevennyshyppy), veren laktaattipitoisuudessa ja pH:ssa, koetussa lihaskivussa sekä lihassoluvauriomarkkereissa (kreatiinikinaasi-, myoglobiini- ja CRP-pitoisuus) ei havaittu eri palautumismenetelmien välisiä tilastollisia eroja.

Kuitenkin saatiin viitteitä siitä, että yksilöllistä suorituskykyhyötyä voi olla akuutissa palautumisessa, kun tuloksia verrattiin palautusmenetelmän sisällä lähtötilanteeseen. Erityisesti kylmävesiupotus ja termoneutraalivesiupotus voisivat edistää akuutisti teho- ja nopeusominaisuuksien palautumista joillakin yksilöillä. Lisäksi termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen havaittiin joillakin koehenkilöillä nopeampi laktaattipitoisuuden palautuminen, kun tuloksia verrattiin palautusmenetelmän sisällä lähtöarvoihin.

Pidempikestoisessa palautumisessa (48 tunnin kohdalla) havaittiin korkeampi seerumin kortisolipitoisuus termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen verrattuna aktiivisen palautumisen jälkeisiin arvoihin. Myös seerumin testosteronipitoisuuden havaittiin olevan kaikkien

vesiupotusmenetelmien jälkeen tilastollisesti merkitsevästi lähtötilannetta alhaisempi, kun kuormituksesta oli kulunut 60 minuuttia ja tilannetta verrattiin palautusmenetelmän sisällä lähtöarvoihin. Lisäksi kylmävesihoidon jälkeen havaittiin useilla koehenkilöillä korkeampi adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuus 40 minuuttia kuormituksen jälkeen, kun tuloksia analysoitiin palautusmenetelmien sisällä.

Pohdinta ja johtopäätökset. Tämän tutkimuksen päätuloksena voidaan todeta, että kylmävesimenetelmä (10 °C) sekä kontrastivesimenetelmä (vuorotellen 10 °C ja 38 °C) parantavat akuuttia koettua rentouden tunnetta, jolla voi olla positiivista merkitystä urheilijoiden kilpailusuoritukseen ja kuntoilijoiden hyvinvointiin. Edelleen joillakin yksilöillä teho- ja nopeussuoritusten palautuminen voi nopeutua vesiupotusmenetelmien käytön avulla. Lisäksi hormonimittaukset antavat viitteitä siitä, että pidempikestoisessa palautumisessa vesiupotusmenetelmät voivat heikentää yksilöllisesti elimistön palautumista. Kohonnut katabolisen kortisolin pitoisuus, laskenut rakentavan testosteronin pitoisuus ja hermostoa aktivoivat adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuudet lisäävät esimerkiksi elimistön stressiä, heikentävät proteiinisynteesiä sekä vaikuttavat energiantuottosysteemien toimintaan.

Asiasanat: vesiupotusmenetelmät, kylmävesimenetelmä, termoneutraali vesiupotus, kontrastivesimenetelmä, palautuminen, lihassoluvauriot

ABSTRACT

Ahokas Essi. 2017. Effects of different water immersion methods on recovery from physical exercise. *Biology of Physical activity*, University of Jyväskylä, Master's thesis, 118 p.

Introduction. Recovery is important among athletes, especially after exercises and competitions. There are several different recovery methods. The most important of these are active recovery methods, like low-intensity aerobic exercise and mobility exercises. There are also passive recovery methods, like sleep, nutrition, massage, thermal methods and cold treatments. The aim of this study was to clarify the effectiveness of three water immersion interventions after active recovery in comparison to only active recovery on physical performance and physiological variables affecting it.

Methods. The subjects were physically active men (age 20-35 years, $n = 9$). All volunteers performed an intensive exercise, which included jumping and sprinting (total duration 45 minutes). Four different recovery methods (10 minutes) were used in random order: cold water immersion (CWI, 10 °C), thermoneutral water immersion (TWI, 24 °C), contrast water therapy (CWT, alternately 10 °C and 38 °C), all of which was performed after an active recovery (10 minutes bicycle ergometer), and the fourth method was just the active recovery (ACT). Recovery was evaluated during 96 hours with a 30 m running test, a maximal counter-movement-jump, self-perceived muscle soreness and relaxation questionnaires, blood lactate, pH, creatine kinase (CK), myoglobin, high-sensitive C-reactive protein (CRP), testosterone, cortisol and catecholamine levels. The variance analysis of repeated measurements and non-parametric Friedman and Wilcoxon tests were used in the statistical analysis of the results. The correlations between the variables were analysed using Pearson and Spearman correlation tests. The limit of the statistical significance was $p < 0.05$.

Results. The self-perceived feeling of relaxation after one hour recovery was better after CWI and CWT than the active recovery and TWI, respectively. In performance measurements (a 30 m running test and a counter-movement-jump), self-perceived muscle soreness, blood lactate, pH, CK, myoglobin, and high-sensitive CRP levels, no statistically significant differences were found between the recovery methods.

However, there were indications that the individual performance benefit may be possible when the results were compared to baseline within the recovery method. Especially CWI and TWI could improve the recovery of power and speed capacities in some individuals. In addition, after TWI faster recovery of lactate concentration was observed in some subjects when the results were compared to baseline values within the recovery method.

For a longer period recovery (at 48 h), a higher serum cortisol content was observed after TWI compared to the active recovery values. Also, after all the water immersion methods the serum testosterone concentration was found to be statistically significantly lower than baseline after one hour recovery, when the values were compared the baseline values within the recovery method. In addition, after CWI higher adrenaline and noradrenaline levels were observed after 40 minutes recovery when the results were analysed within recovery procedures.

Discussion. Based on this study, it can be concluded that CWI (10 °C) and CWT (alternately 10 °C and 38 °C) improve the acute feeling of relaxation that can play a positive role in athletes' performance and well-being. Furthermore, in some individuals, the recovery of power and speed capacities can be improved by using water immersion methods. Additionally, hormonal measurements suggest that in a longer period recovery water immersion methods can attenuate individual recovery of the body. Increased elevated cortisol levels, decreased testosterone concentrations and increased adrenaline and noradrenaline levels can, for example, increase the stress of the body and impair both protein synthesis and energy metabolism.

Key words: water immersions, cold water immersion, thermoneutral water immersion, contrast water therapy, recovery, exercise-induced muscle damage

KÄYTETYT LYHENTEET

ACT	Active recovery, aktiivinen palautuminen
AMP	Adenosine monophosphate, adenosiinimonofosfaatti
ADP	Adenosine diphosphate, adenosiidifosfaatti
ATP	Adenosine triphosphate, adosiinitrifosfaatti
BMI	Body mass index, painoindeksi
Ca ²⁺	Calcium ion, kalsiumioni
CWI	Cold water immersion, kylmävesihoito
CWT	Contrast water therapy, kontrastivesihoito
DOMS	Delayed onset of muscle soreness, viivästynyt lihaskipu
EIMD	Exercise-induced muscle damage, harjoittelun aiheuttamat lihassoluvauriot
MVC	Maximal voluntary contraction, maksimaalinen tahdonalainen lihassupistus
PCr	Phosphocreatine, fosfokreatiini
P _i	Inorganic phosphate, inorgaaninen fosfaatti
TWI	Thermoneutral water immersion, termoneutraalivesiupotus

KIITOKSET

Haluan kiittää Ecomarine Oy:ta ja Avantopool Oy:ta yhteistyöstä tämän tutkimuksen suunnittelussa ja toteutuksessa. Ecomarine Oy:lta sekä Avantopool Oy:lta saatu tuki on ollut erityisen arvokasta tämän tieteellisen tutkimuksen ja oppimisprosessin aikana. Lisäksi haluan kiittää Jyväskylän Yliopiston Liikuntatieteellistä tiedekuntaa sekä tämän työn ohjaajia. Suuri kiitos kuuluu myös tutkimuksessa mukana olleille koehenkilöille.

SISÄLLYS

Tiivistelmä

Abstract

Käytetyt lyhenteet

Sisällys

1 Johdanto.....	1
2 Fyysiseen suorituskykyyn vaikuttavat tekijät.....	4
2.1 Energia-aineenvaihdunta	4
2.2 Voiman tuottaminen	6
3 Urheilusuorituksen aiheuttama väsymys ja siitä palautuminen.....	10
3.1 Urheilusuorituksen aiheuttama väsymys	10
3.1.1 Inorgaanisen fosfaatin vaikutus väsymyksen muodostumisessa.....	11
3.1.2 Veren laktaattipitoisuus ja happamuus.....	12
3.1.3 Adenosiinitrifosfaatti ja magnesiumionit	13
3.1.4 Glykogeeni	15
3.1.5 Reaktiiviset happiradikaalit.....	15
3.2 Palautuminen	16
4 Harjoittelun aiheuttamat lihassoluvauriot.....	18
4.1 Lihassoluvaurioiden mekanismi	18
4.2 Lihassoluvaurioita aiheuttava harjoittelu	19
4.3 Lihassoluvaurioiden vaikutus suorituskykyyn	20
4.4 Lihassoluvaurioiden arviointitavat	22
5 Vesiupotusmenetelmien aiheuttamat fysiologiset vasteet	24
5.1 Lämpöneutraalin vesiupotuksen aiheuttamat fysiologiset vasteet.....	24
5.2 Kylmävesimenetelmän ja kontrastimenetelmän aiheuttamat fysiologiset vasteet	25
6 Vesiupotusmenetelmien vaikutus palautumiseen ja suorituskykyyn	28

6.1 Kylmävesimenetelmän vaikutus palautumiseen ja suorituskykyyn	28
6.1.1 Kylmävesimenetelmän vaikutus kestävyys suorituskykyyn	28
6.1.2 Kylmävesimenetelmän vaikutus voima- ja teho-ominaisuuksiin.....	29
6.1.3 Kylmävesimenetelmän vaikutus lihassoluvaurioihin.....	32
6.1.4 Kylmävesimenetelmän vaikutus stressihormonien ja testosteronin pitoisuuteen	33
6.1.5 Kylmävesimenetelmän toteutus	35
6.2. Kontrastimenetelmän vaikutus palautumiseen ja suorituskykyyn	37
6.2.1 Kontrastimenetelmän vaikutus kestävyys suorituskykyyn	37
6.2.2 Kontrastimenetelmän vaikutus voima- ja teho-ominaisuuksiin.....	38
6.2.3 Kontrastimenetelmän vaikutus lihassoluvaurioihin	39
6.2.4 Kontrastimenetelmän toteutus.....	40
6.3 Lämpöneutraali vesiupotus.....	42
7 Kylmävesihoidon riskit ja haittavaikutukset	44
8 Tutkimusongelmat ja hypoteesit.....	47
9 Menetelmät	49
9.1 Koeasetelma.....	49
9.2 Koehenkilöt	51
9.3 Antropometriset mittaukset, suorituskykymittaukset sekä kuormitus.....	51
9.4 Lihaskuuden arviointi sekä POMS-kysely	54
9.5 Palautusmenetelmät	55
9.6 Veri- ja sylkinäytteet	56
9.7 Tulosten tilastollinen analysointi.....	58
10 Tulokset	60
10.1 Kehonkoostumus ja kuormitus	60
10.2 Suorituskykymittaukset	60
10.3 Veren laktatti ja pH.....	63
10.4 Koettu lihaskipu ja rentous	64

10.5 Seerumin kreatiinikinaasi-, myoglobiini- ja CRP-pitoisuus.....	66
10.6 Veren testosteroni- ja stressihormonien pitoisuudet.....	71
10.7 Lihassoluvauriomarkkereiden yhteys suorituskymuuttujiin sekä hormoneihin	81
11 Pohdinta.....	83
Lähteet	93
Litteet.....	114

1 JOHDANTO

Urheilijat harjoittelevat usein intensiivisesti, jolloin harjoitukset aiheuttavat akuutisti suorituskyvyn laskua. Urheilijoiden harjoittelujakson tavoitteena on kuitenkin suorituskyvyn lisääminen. Riittävällä palautumisajalla urheilijan suorituskyky voi nousta korkeammalle tasolle verrattuna harjoitusta edeltäneeseen suorituskykyyn eli tapahtuu superkompensaatiota. (Halson & Jeukendrup 2004.) Täten palautumisen tulisi olla mahdollisimman nopeaa, jotta suorituskyky voidaan maksimoida niin harjoituksissa kuin kilpailuissakin (Versey ym. 2013). Monissa tilanteissa, kuten turnauksissa, urheilijoilla ei ole kuitenkaan riittävästi aikaa täydelliseen palautumiseen (Montgomery ym. 2008). Esimerkiksi NHL:n (National Hockey League) runkosarjassa kaudella 2016–2017 otteluita kertyy yhdelle joukkueelle 82 reiluun kuuteen kuukauteen, mikä tarkoittaa keskimäärin kolmea ottelua viikossa (NHL 2016).

Kovat urheilusuoritukset aiheuttavat energiavarastojen tyhjentymistä, mutta monet lajit sisältävät myös eksentristä lihastyötä. Ne voivat aiheuttaa lihassoluvaurioita (exercise-induced muscle damage, EIMD) (Howatson & van Someren 2008). Lihassoluvauriot voivat kestää useita päiviä harjoituksen jälkeen (Proske & Morgan 2001) ja tavallisesti ne heikentävät lihasten toimintakykyä, lisäävät lihasten arkuutta ja turvotusta sekä lisäävät intramuskulaaristen proteiinien vapautumista vereen (Howatson & van Someren 2008).

Vaatimukset nopeammasta palautumisesta ja tavoite harjoittelun aiheuttamien liikuntakoneiston lihassoluvaurioiden korjaamisesta ja energiavarastojen täydentämisestä on johtanut palautumisstrategioiden lisääntyneeseen käyttöön urheilijoiden keskuudessa (Versey ym. 2013). Erilaisia palautumismenetelmiä on lukuisia ja niistä tärkeimpiä ovat aktiiviset menetelmät kuten kevyt aerobinen kuormitus sekä liikkuvuusharjoitteet. Passiivisia menetelmiä ovat uni, ravinto (nesteytys), hieronta, fysioterapia, painemenetelmät sekä lämpömenetelmät ja kylmäkäsitely. Jälkimmäiseen ryhmään kuuluvat vesiupotusmenetelmät eli vesiupotushoidot, joita voidaan suorittaa usealla eri tavalla. Vesiupotusmenetelmien tyypit voidaan luokitella neljään eri kategoriaan: kylmävesihoito ($< 20\text{ °C}$), kuumavesihoito ($\geq 36\text{ °C}$), lämpöneutraali (=termoneutraali) vesiupotushoito ($> 20\text{ °C}$:sta $< 36\text{ °C}$:een) sekä kontrastihoito, jossa tehdään kylmä- ja kuumavesihoitoa vuorotellen. (Versey ym. 2013.)

Kylmävesihoitoa toteutetaan usein joko 5 °C:n lämpötilassa tai 10–15 °C:n lämpötilassa. Vesiupotuksen kesto vaihtelee 3–20 minuutin välillä. Vaihtoehtoisesti voidaan tehdä toistuvia 1–5 minuutin vesiupotuksia. Veteen voidaan upottaa joko lantioon tai hartioihin asti tai upottamalla vain jokin kehon osan veteen. Kylmävesihoidossa vedessä ollaan tavallisesti passiivisia. Termoneutraali vesiupotushoito kestää usein 15–30 minuuttia. (Versey ym. 2013.) Termoneutraalina veden lämpötilana pidetään 35 °C:sta, sillä se ei aiheuta keskivartalon lämpötilan muutosta pitkässäkin vesiupotushoidossa. Uima-altaissa veden lämpötilana käytetty 21 °C lasketaan kuitenkin usein vielä termoneutraaliksi lämpötilaksi, sillä se aiheuttaa keskivartalon lämpötilassa ainoastaan niukkaa laskua. (Craig & Dvorak 1966.) Tavallisesti vedessä ei olla passiivisesti, vaan uidaan, kävellään tai harrastetaan jotakin muuta aerobista harjoittelua (Cortis ym. 2010, Dawson ym. 2005, Lum ym. 2010, Takahashi ym. 2006, Tessitore ym. 2008, Tessitore ym. 2007).

Kontrastivesimenetelmässä vaihdellaan kylmä- ja kuumavesihoitojen välillä (Versey ym. 2013). Useimmissa tutkimuksissa kumpaakin vesiupotusta on tehty 3–7 kertaa siten, että kylmävesialtaassa on oltu 1–1,5 min ja kuumavesialtaassa 1–2 min (Higgins ym. 2011, Pournot ym. 2011, Vaile ym. 2008b, Vaile ym. 2008c). Tavallisesti kontrastihoidossa ollaan passiivisia, mutta altaiden välillä siirtyminen edellyttää fyysistä aktiivisuutta (Versey ym. 2013).

Vesiupotushoitojen hyöty palautumisen kannalta perustuu pääasiassa hydrostaattiseen paineeseen sekä veden lämpötilaan. Termoneutraalissa vedessä hydrostaattinen paine aiheuttaa elimistön nesteiden siirtymistä raajoista kohden keskivartaloa. Tämä voi lisätä lihaksista peräisin olevien substraattien siirtymisiä, lisätä sydämen minuuttitulavuutta, laskea perifeeristä vastusta ja näin lisätä elimistön kykyä kuljettaa substraatteja, kuten happea, ravinteita ja hormoneja lihaksille. (Wilcock ym. 2006.) Veden aiheuttama hydrostaattinen paine aiheuttaa lihasten ja verisuonten puristumista, mikä laskee lihasten turvotusta. Turvotuksen pienentyminen vähentää kipu- ja painereseptoreiden aktiivisuutta ja hillitsee näin immuunivastetta. (Vaile ym. 2007.)

Kylmyydelle altistuminen saa aikaan monia fysiologisia reaktioita kehon normaalin toiminnan säilyttämiseksi. Kylmävesihoidoissa käytetty kylmä veden lämpötila aiheuttaa muun muassa sydämen sykkeen kohoamista ja verisuonten supistumista eli vasokonstriktiota, mikä nostaa verenpainetta. (Park ym. 1999, Srámek ym. 2000.) Toisaalta ihonalaisten verisuonien vasokonstriktio sekä keskivartalon lämpötilan lasku vähentävät ihonalaista verenkiertoa ja

suuntavat verenkiertoa keskivartalon alueelle, mikä laskee sydän- ja verenkiertoelimistön kuormitusta (Ihsan ym. 2016). Harjoituksen jälkeisen kylmävesihoidon aiheuttama vasokonstriktio vaimentaa tulehdusreaktiota laskemalla veri- ja imusuonten läpäisevyyttä (Eston & Peters 1999). Vasokonstriktio laskee myös nesteen diffuusiota solun sisään sekä myoproteiinien diffuusiota solun ulkopuoliseen tilaan. Tämän on esitetty hillitsevän turvotusta sekä tulehdusreaktiota. (Yanagisawa ym. 2003.)

Kontrastihoidon on epäilty edistävän palautumista vasokonstriktion ja vasodilaation (verisuonten laajenemisen) aiheuttaman pumppauksen myötä (Wilcock ym. 2006). Kontrastihoidossa kuuman ja kylmän veden aiheuttamien fysiologisten vasteiden vaihtelut nopeuttavat palautumista lisäämällä metaboliittien poistoa sekä stimuloimalla keskushermostoa. Lisäksi kontrastihoidon on havaittu vähentävän harjoituksen jälkeistä turvotusta sekä edistävän lihasten verenkiertoa. (Cochrane 2004.)

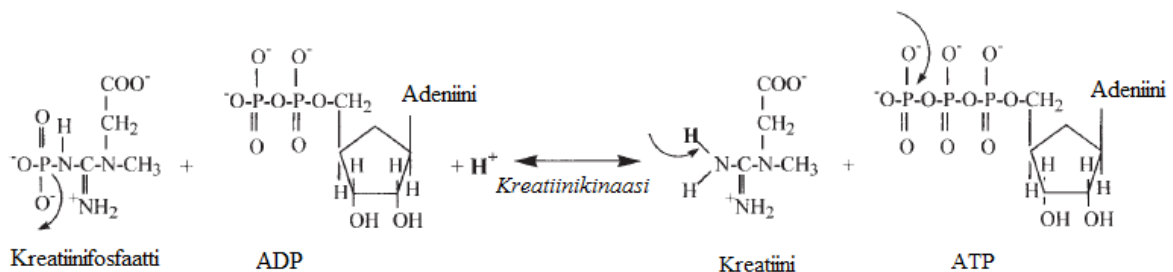
Vesiupotusmenetelmien käyttö palautusmenetelmänä on yleistynyt. Niiden suosioista huolimatta tieteellisissä tutkimuksissa on saatu ainoastaan rajallista sekä ristiriitaista näyttöä menetelmien hyödyistä kuormituksen jälkeisen palautumisen edistämiseksi. (King & Duffield 2009.) Lisäksi useissa tutkimuksissa palautusmenetelmien hyötyä verrataan pelkkään passiiviseen palautumiseen. Tavallisesti urheilijat kuitenkin suorittavat aktiivisen palautumisen ja hyödyntävät vasta tämän jälkeen muita palautusmenetelmiä. Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää aktiivisen palautumisen jälkeen suoritettujen eri vesiupotusmenetelmien sekä pelkän aktiivisen palautumisen vaikutusta fyysiseen suorituskyykyyn ja siihen vaikuttaviin fysiologisiin muuttujiin.

2 FYYSISEEN SUORITUSKYKYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

2.1 Energia-aineenvaihdunta

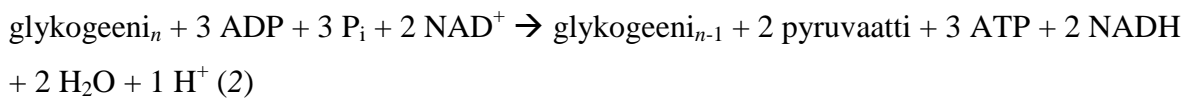
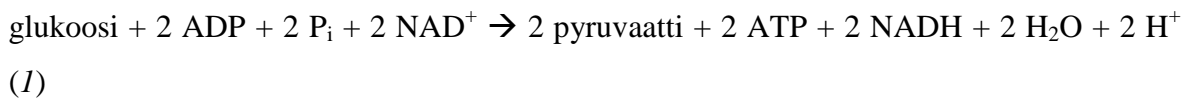
Kehon energianlähteenä toimii adenosiinitrifosfaatti (ATP) (Guyton & Hall 2006, 829). ATP:in varastoitunut kemiallinen energia vapautuu sen hajotessa adenosiidifosfaatiksi (ADP) ja fosfaatti-ioniksi (P_i). ATP:tä tulee myös uudelleenmuodostaa ADP:sta ja P_i :sta. (Robergs ym. 2004.) ATP:tä voidaan uudelleenmuodostaa kolmella energiametaboliasysteemillä: adenosiinitrifosfaatti-kreatiinifosfaatti eli ATP-PCr -systeemillä sekä anaerobisella glykolyttisellä ja oksidatiivisella systeemillä. Energiantuotto riippuu suorituksen pituudesta sekä tehosta. Lyhyissä sprinttisuorituksissa käytetään pääasiassa ATP-PCr -systeemiä. Keskimatkoilla energiaa saadaan pääasiassa glykolyttisen systeemin myötä ja pidemmissä suorituksissa käytetään eniten oksidatiivista systeemiä. (Kenney ym. 2012, 220.) Tämä johtuu siitä, että oksidatiivisella systeemillä saadaan paljon energiaa, mutta sen käynnistyminen on melko hidasta. Tämän vuoksi välittömään energiantarpeeseen käytetään anaerobisia energianlähteitä eli solujen ATP- ja PCr-varastoja sekä glykolyysiä, joilla energiaa pystytään tuottamaan maksimaaliseen suoritukseen ainoastaan lyhyitä aikoja. (Guyton & Hall 2006, 883.)

Välittömään energiantarpeeseen energiaa saadaan solujen kreatiinifosfaattivarastoista. ATP-PCr -systeemissä kreatiinifosfaatti P_i liittyy ADP:n, jolloin muodostuu ATP:a (kuva 1) (Robergs ym. 2004). Solujen PCr-varastot ovat kuitenkin rajalliset, joten ATP:ia voidaan tuottaa ATP-PCr -systeemillä niin kauan kuin PCr:a riittää eli noin 5-10 sekunnin maksimaaliseen suoritukseen (Guyton & Hall 2006, 883).



KUVA 1. Kreatiinikinaasireaktion lähtöaineiden ja tuotteiden kemialliset kaavat (muokattu Robergs ym. 2004). ADP = adenosiidifosfaatti, ATP = adenosiinitrifosfaatti, H^+ = vetyioni.

Glykolyysissä ATP:ia tuotetaan glukoosi-6-fosfaatista, joka on peräisin joko glukoosista tai glykokeenistä. Glykolyysin reaktiot on esitetty taulukossa 1. Glykolyysin lopputuotteena saadaan ATP:n lisäksi pyruvaattia, vettä, NADH-molekyyleja sekä vetyioneita (H⁺). Jos glukoosi-6-fosfaatti on peräisin glukoosista, tuottaa glykolyysi yhden H⁺:n enemmän ja yhden ATP:n vähemmän kuin glykokeenistä alkava reaktiosarja. (Robergs ym. 2004.) Glykolyysin metaboliset kaavat alkaen glukoosista sekä glykokeenista on esitetty alla:



TAULUKKO 1. Glykolyysin reaktiot ja reaktioiden entsyymit (muokattu Stryer 1995, 491).

Reaktion numero	Reaktio	Enstyymi
1	Glukoosi-6-fosfaatti ²⁻ → fruktoosi-6-fosfaatti ²⁻	Glukoosi-6-fosfaatti isomeraasi
2	Fruktoosi-6-fosfaatti ²⁻ + MgATP ²⁻ → fruktoosi-1,6-bifosfaatti ⁴⁻ + MgADP ⁻ + H ⁺	6-Fosfofruktokinaasi
3	Fruktoosi-1,6-bifosfaatti ⁴⁻ → Dihydroksiasetonifosfaatti + Glyseraldehydi-3-fosfaatti ²⁻	Aldolaasi
4	Dihydroksiasetonifosfaatti → Glyseraldehydi-3-fosfaatti ²⁻	Trioosifosfaatti-isomeraasi
5	2 Glyseraldehydi-3-fosfaatti ²⁻ + 2 NAD ⁺ + 2 P _i ²⁻ → 2 1,3-bisfosfoglyseraatti ⁴⁻ + 2 NADH + 2 H ⁺	Glyseraldehydi-3-fosfaattidehydrogenaasi
6	2 1,3-bisfosfoglyseraatti ⁴⁻ + 2 MgADP ⁻ → 2 3-fosfoglyseraatti ³⁻ + 2 MgATP ²⁻	Fosfoglyseraattikinaasi
7	2 3-fosfoglyseraatti ⁴⁻ → 2 2-fosfoglyseraatti ⁴⁻	Fosfoglyseraattimutaasi
8	2 2-fosfoglyseraatti ³⁻ → 2 fosfoenolipyruvaatti ³⁻ + 2 H ₂ O	Fosfopyruvaatti hydrataasi
9	2 fosfoenolipyruvaatti ³⁻ + 2 MgADP ⁻ + 2 H ⁺ → 2 pyruvaatti ⁻ + 2 MgATP ²⁻	Pyruvaattikinaasi

Jos happea ei ole saatavilla, pyruvaatti muutetaan seuraavan kaavan mukaisesti laktaatiksi:



Tämä mahdollistaa glykolyysin substraatin NAD⁺:n vapautumisen ja glykolyysin jatkumisen. Lisäksi reaktiossa kulutetaan H⁺, mikä ehkäisee H⁺-pitoisuuden kasvua. Laktaatti kuljetetaan

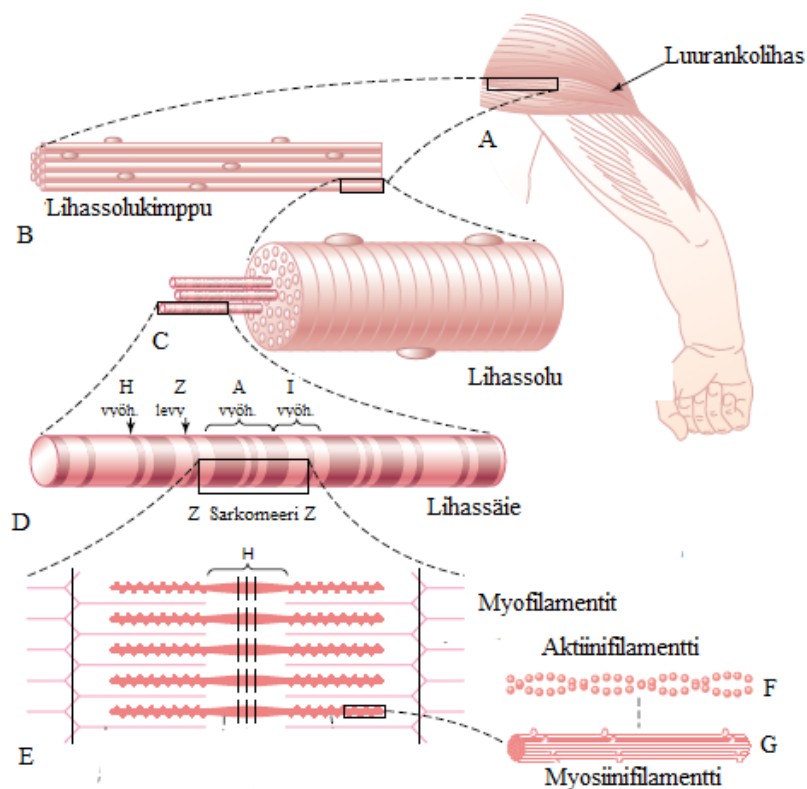
pois sitä tuottaneesta solusta. Sitä voidaan käyttää aineenvaihdunnan lähtöaineena esimerkiksi muissa lihassoluissa, maksassa ja munuaisissa. (Robergs ym. 2004.) Veren laktaattipitoisuuden avulla voidaan arvioida kuormituksen intensiteettiä, sillä intensiteetin lisääntyessä laktaatin tuotto lisääntyy (McArdle ym. 2015, 162–163). On kuitenkin huomioitava, että myös laktaatin eliminaatio lisääntyy, kun levosta siirrytään kuormitukseen. Suurin osa laktaatin eliminaatiosta tapahtuu, kun työskentelevät lihakset käyttävät laktaattia aerobisessa energiantuotossa. Tämän lisäksi laktaatin eliminaatiossa ovat mukana maksa, sydän ja levossa olevat luurankolihakset. Työskentelevien lihasten osuus laktaatin eliminaatiossa lisääntyy kuormituksen intensiteetin kasvaessa. (Stanley ym. 1986.)

Jos happea on saatavilla, pyruvaatti muutetaan laktaatin sijasta asetyylikoentsyymi-A:ksi, joka siirtyy sitruunahappokiertoon. Mitokondriossa tapahtuvassa sitruunahappokierron reaktioista saadaan hiilidioksidia (CO_2), NADH:ta ja kaksi ATP-molekyyliä. Lopulta tapahtuu oksidatiivinen fosforylaatio mitokondrion sisäkalvolla. Siinä elektroninsiirtäjä NADH luovuttaa elektroninsa, joita siirretään elektroninsiirtoketjussa alemmille energiatasoille. Tästä aiheutuu mitokondrion sisäkalvon yli kalvopotentiaali, jonka vuoksi H^+ :t pyrkivät siirtymään takaisin mitokondrion matriksiin. H^+ :t siirtyvät matriksiin ATP-syntaasin kautta, minkä seurauksena ATP-syntaasi saa energiaa, jolla se pystyy fosforyloimaan ADP:ia ATP:ksi ja näin muodostuu runsaasti ATP-molekyyliä elimistön käyttöön. (Guyton & Hall 2006, 833–836.)

2.2 Voiman tuottaminen

Lihakset muodostuvat lihassolukimpuista, jotka puolestaan muodostuvat lihassoluista. Lihassolut koostuvat lihassäikeistä, jotka muodostuvat peräkkäin olevista sarkomeereista. Sarkomeerit ovat Z-levyjen väliin jääviä alueita, jotka supistuessaan saavat aikaan koko lihaksen supistumisen. Sarkomeerit sisältävät aktiini- ja myosiinifilamentteja, joiden lomittain liikkuminen aiheuttaa sarkomeerin supistumisen. Aktiinifilamentti koostuu kolmesta proteiini-komponentista: aktiinista, tropomyosiinista sekä troponiinista. Nämä komponentit osallistuvat lihassupistukseen. Myosiinifilamentit puolestaan muodostuvat myosiinimolekyyleistä. Myosiinifilamentteihin kuuluu ulokkeita, poikittaissiltoja, jotka kiinnittyvät aktiinifilamenttiin lihaksen supistuksessa. (Guyton & Hall 2006, 72–73, 75–76.) Lihaksen rakenne on esitetty kuvassa 2.

Tahdonalaisissa supistuksissa lihasten aktivointi alkaa motoriselta aivokuorelta, josta signaali etenee selkäyttimeen. Selkäytimestä aktiopotentiaali puolestaan leviää α -motoneuronia pitkin hermolihasliitokseen. Aktiopotentiaalin saapuminen hermolihasliitokseen aiheuttaa neurotransmitteri asetylkoliinin vapautumisen hermolihasliitoksesta. Asetylikoliinin kiinnittyminen lihassolukalvon reseptoreihin avaa lihassolukalvon natriumkanavia. (Allen ym. 2008.) Natriumin siirtyminen solun sisään ja kaliumin ulosvirtaus solusta saa aikaan solukalvon aktiopotentiaalin, joka leviää solun sisälle poikittaistubuluksiin (Delbono 2003). Poikittaistubulusten kalvolla on runsaasti L-tyypin kalsiumkanavia, jotka muuttavat konformaatiota aktiopotentiaalin vaikutuksesta ja vapauttavat kalsiumia (Ca^{2+}). Näiden kanavien yhteydessä on ryanodine reseptoreita (RyR1s), jotka vapauttavat Ca^{2+} sarkoplasmisesta retikulumista L-tyypin kalsiumkanavien konformaatiomuutoksen seurauksena. (Rossi & Dirksen 2006.) RyR1-reseptoreiden toimintaan vaikuttaa myös Ca^{2+} :n pitoisuus (Ma ym. 1988).



KUVA 2. Luurankolihasen rakenne (muokattu Guyton & Hall 2006, 73). Vyöh. = vyöhyke, band.

Vapautunut Ca^{2+} kiinnittyy aktiinifilamentissa troponiini C:n, joka saa aikaan tropomyosiinin liikkumisen pois aktiinifilamentin aktiivisen osan päältä ja mahdollistaa näin poikittaissiltojen muodostumisen aktiini- ja myosiinifilamenttien välillä, mikä puolestaan saa aikaan lihaksen

supistumisen (Loeser & Delbono 1999, Delbono 2003 mukaan). Supistuksen päättyessä Ca^{2+} siirretään sytosolista sarkoplasmisen retikulumin Ca^{2+} -ATPaasi (SERCA) pumpun avulla takaisin sarkoplasmiseen retikulumiin. Tämän seurauksena lihaksen tuottama voimataso laskee ja lihas rentoutuu. (Fill & Copello 2002.)

Ihmisen liikkeessa lihakset tuottavat kuormiin tai pintoihin kohdistuvia voimia. Lihaksen ja kuorman voimien ollessa yhtä suuret lihaspituus ei muutu eikä kuorma liiku. Tällöin tuotetaan isometristä voimaa. Kun lihaksen ja kuorman aiheuttamat voimat ovat erisuuruiset, lihaspituus muuttuu ja kuorma liikkuu. Konsentrisessa lihastyössä lihaksen tuottama voima on kuorman tuottamaa voimaa suurempi ja lihas lyhenee. Eksentrisessä työssä puolestaan kuorman tuottama voima on suurempi, jolloin aktiivinen lihas pitenee. (Enoka 1996.)

Lihaksen tuottama voima on riippuvaista hermoston tahdonalaisesta aktivaatiosta (Enoka 1996), lihastyötavasta, lihaksen pituudesta ja lihaksen supistusnopeudesta (Knuttgen & Komi 2003). Suurimmat voimatasot pystytään tuottamaan eksentrisessä lihastyössä. Lisäksi eksentrisen lihastyön aikana hermoston aktivaatio on alhaisempaa. (Enoka 1996.) Lihaksen pituus vaikuttaa sarkomeerien pituuteen ja täten voimantuottoon. Suurimmat voimatasot on havaittu tuotettavan sarkomeerin keskipituuksilla. (Edman 2003.) Supistusnopeus vaikuttaa siten, että mitä nopeampi konsentrisen supistus on, sitä alhaisemmaksi maksimaalinen voimantuotto jää (Enoka 1996). Tämä johtuu siitä, että aktiini- ja myosiinifilamenttien välille muodostuvien poikittaissiltojen muodostuminen ja irtoaminen vie aikaa, jolloin supistuksen nopeutuessa muodostuneiden poikittaissiltojen määrä jää alhaisemmaksi (Lieber 2010, 55–56). Eksentrisen voimantuotto ei ole niin riippuvainen lihaksen supistusnopeudesta (Enoka 1996).

Teho tarkoittaa tehtyä työtä tiettyä aikaa kohden (Knuttgen & Komi 2003). Lihasten maksimaalinen voimantuotto on monien urheilulajien tärkein neuromuskulaarinen toiminto. Lihasten maksimaalista tehontuottoa rajoittaa voima-nopeus-suhde. (Cormie ym. 2011.) Lihassupistuksen nopeutuessa lihasten tuottama voima laskee (Lieber 2010, 55–56). Näin ollen suurin mahdollinen teho saadaan tuotettua submaksimaalisen voimantuoton ja nopeuden parhaalla yhdistelmällä (Cormie ym. 2011). Lihasten tehontuottokykyyn vaikuttavat myös yllämainitut lihastyötapa sekä lihaspituus. Lisäksi tehontuottoon vaikuttavat morfologiset tekijät kuten lihassolujakauma, lihaksen pinta-ala ja arkkitehtuuri sekä jänteen ominaisuudet. Myös hermostolliset tekijät, esimerkiksi motoristen yksiköiden rekrytointi ja syttymistiheys sekä lihas-

ten koordinaatio, vaikuttavat tehontuottokykyyn. On huomioitava, että myös väsymyksen aiheuttamat akuutit muutokset vaikuttavat tehontuottoon. (Cormie ym. 2011.)

Venymis-lyhenemis-sykli. Luonnollisessa liikkeessä yllä esitetyt lihastyötavat yhdistyvät ja vuorottelevat. Esimerkiksi juoksussa ja hyppelyssä eksentristä lihastyötä seuraa välittömästi konsentrisen lihastyö. Tätä kutsutaan venymis-lyhenemis-sykliksi (stretch-shortening cycle, SSC). SSC:n aikana konsentrisessa supistuksessa tuotettu voima on suurempaa kuin yksittäisen konsentrisen supituksen, millä voidaan vaikuttaa suorituskkykyyn. Tämä voimantuoton edistyminen johtuu elastisen energian hyödyntämisestä. Lisäksi SSC:n aikana lihakset esiaktivoidut ja lihasten aktivointi on erilaista kuin yksittäisten lihastyötapojen yhteydessä. (Komi 2003.)

3 URHEILUSUORITUKSEN AIHEUTTAMA VÄSYMYS JA SIITÄ PALAUTUMINEN

3.1 Urheilusuorituksen aiheuttama väsymys

Urheilijat pyrkivät harjoittelujakson aikana nostamaan suorituskykyään. Urheilijat kuitenkin harjoittelevat usein intensiivisesti, jolloin harjoitukset aiheuttavat akuutisti suorituskyvyn laskua. Riittävällä palautumisajalla urheilijan suorituskyky voi nousta korkeammalle tasolle verrattuna harjoitusta edeltäneeseen suorituskykyyn eli tapahtuu superkompensaatiota. Pitkällä aikavälillä urheilijan elimistö adaptoituu korkeampaan harjoitteluintensiteettiin ja suorituskyky kehittyy. (Halson & Jeukendrup 2004.) Väsymys määritellään usein väsymyksen tunteeksi, joka on yhdistetty lihasten toiminta- ja suorituskyvyn heikkenemiseen. Väsymys voi johtua metabolisista syistä tai ei-metabolisista syistä, kuten lihassoluvaurioista. (Green 1997, Abbis & Laursen 2005.) Huippu-urheilijat kokevat usein väsymystä ja suorituskyvyn laskua. Lisäksi urheilijan väsymys voi akkumuloitua harjoittelujakson aikana harjoittelun ja palautumisen epätasapainon vuoksi, mikä voi johtaa yllirasitustilaan. (Halson & Jeukendrup 2004.)

Väsymys voi johtua perifeerisistä tekijöistä tai sentraalisista tekijöistä eli siitä, ettei keskushermosto pysty aktivoimaan motoneuroneita vaaditulla tavalla (Gandevia 2001). Kehon lämpötilan nousu ja sitä seuraava hypertermia vaikuttavat voimakkaasti sentraaliseen väsymiseen (Morrison ym. 2004, Nybo 2012). Hypertermia voi aiheuttaa muutoksia aivosähkökäyrän aktiivisuudessa (Nielsen ym. 2001b, Nybo & Nielsen 2001a), aivojen neurotransmitteissa (Meeusen ym. 2006), aivojen verenkierrossa ja hapensaannissa (Nybo & Nielsen 2001b) sekä aivojen metaboliassa (Nybo ym. 2003). Perinteisesti on ajateltu, että perifeerisistä tekijöistä laktaatti- ja vetyionien akkumulaatio heikentäisi lihasten supistuskoneiston toimintaa. Kuitenkin myös muut tekijät voivat vaikuttaa väsymyksen muodostumiseen. Näitä tekijöitä ovat kalsiumionien vapautumisen häiriöt sarkoplasmisesta reitikulusta, reaktiiviset happiradikaalit, inorogaanin fosfaatti sekä energiavarastojen ehtyminen. (Allen ym. 2008.)

3.1.1 Inorgaanisen fosfaatin vaikutus väsymyksen muodostumisessa

Lihassolun lisääntynyt inorgaanisen fosfaatin (P_i) pitoisuus heikentää poikittaissiltojen toimintaa. Myosiinin pää kiinnittyy aluksi heikosti aktiinifilamenttiin, minkä jälkeen kiinnittyminen vahvistuu. (Allen ym. 2008.) Ainoastaan voimakkaat poikittaissillat pystyvät aktivoimaan lihassupistuksen (Millar & Homsher 1990). Lisääntynyt P_i :n määrä inhiboi voimakkaampaa kiinnittymistä, minkä seurauksena harvemmat poikittaissillat ovat vahvemmassa kiinnittymisen tilassa. Tämän mekanismin on esitetty laskevan tetaanista voimantuottoa väsymyksessä. (Allen ym. 2008.) P_i :n aiheuttama voimantuoton heikkeneminen ilmenee voimakkaammin lämpötilan laskiessa (Coupland ym. 2001). Tämän vuoksi P_i :n aiheuttaman poikittaissiltojen toiminnan heikkenemisen ja sen aiheuttaman väsymyksen uskotaankin olevan pientä normaalissa ruumiin lämpötilassa (Allen ym. 2008).

Nopeissa lihassoluissa väsymys voidaan jaotella kolmeen vaiheeseen voimantuoton ja lihassolun vapaan Ca^{2+} -pitoisuuden muutosten mukaan. Ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu tetaanisegssa voimantuotossa nopea lasku sekä Ca^{2+} -pitoisuuden lisääntyminen. Tätä seuraa vaihe 2, jossa tetaaninen voima on lähes muuttumaton. Viimeisessä vaiheessa tapahtuu nopea voimantuoton sekä Ca^{2+} -pitoisuuden lasku. (Allen ym. 2008.) P_i voi aiheuttaa useiden mekanismien kautta ensimmäisessä vaiheessa havaittuun Ca^{2+} -pitoisuuden lisääntymiseen. P_i voi heikentää Ca^{2+} :n kiinnittymistä troponiini C:en (Millar & Homsher 1990) sekä saattaa vaikuttaa RyR1-reseptoreihin ja näin lisätä Ca^{2+} :n vapautumisesta sarkoplasmisesta retikulumista (Balog ym. 2000). P_i saattaa myös inhiboida Ca^{2+} :n takaisin pumppausta sarkoplasmiseen retikulumiin (Stienen ym. 1993).

Väsymyksen viimeisessä vaiheessa tetaaninen voima laskee, sillä P_i heikentää lihassäikeiden kalsiumsensitiivisyyttä (Allen ym. 2008). Lisäksi väsymyksen jatkuessa P_i -pitoisuus lisääntyy ja osa P_i :sta siirtyy sarkoplasmiseen retikulumiin, jossa muodostuu Ca^{2+} - P_i -saostumaa. Tämän seurauksena sarkoplasmisen retikulumin vapaan Ca^{2+} :n määrä laskee, mikä aiheuttaa Ca^{2+} :n vapautumisen vähentymistä ja hidastumista sarkoplasmisesta retikulumista. (Fryer ym. 1995.)

3.1.2 Veren laktaattipitoisuus ja happamuus

Laktaatin akkumulaatio lihassoluissa ei ole päätekijä väsymyksen muodostumisessa (Allen ym. 2008). Laktaattipitoisuuden kasvu solun ulkoisessa tilassa aiheuttaa solun ulkoisen tilan osmolarisuuden kasvua (Allen ym. 2008). Tämän seurauksena vettä siirtyy solun sisältä sen ulkopuolelle ja solun sisäinen ionipitoisuus kasvaa, mikä aiheuttaa voimantuoton ja kalsiumsensitiivisyyden heikentymistä. (Lamb ym. 1993.) Solun sisäisen laktaattipitoisuuden kasvulla on suhteellisen pieni vaikutus supistumiskoneiston voimantuottoon. Lisäksi sillä on ainoastaan pieni tai olematonta vaikutusta kalsiumsensitiivisyyteen ja Ca^{2+} :n vapautumiseen. (Dutka & Lamb 2000, Posterino ym. 2001.)

Lihaksen pH on levossa noin 7.05 ja uuvuttavan kuormituksen jälkeen noin 6.5–6.6 (Cady ym. 1989, Sahlin ym. 1976). Joissain tapauksissa lihaksen pH on laskenut uuvuttavan kuormituksen jälkeen vain 6.8–6.9 (Bangsbo ym. 1996, Hogan ym. 1999), osoittaen, että väsymystä voi ilmetä ilman suurta vetyionien (H^+) pitoisuuden kasvua (Allen ym. 2008). On myös havaittu, että kuormituksen jälkeen alentuneet voimatasot ovat palautuneet nopeammin kuin laskenut pH on palautunut (Cady ym. 1989), mikä viittaa siihen, että myös muut tekijät ovat aiheuttaneet voimatasojen heikentymistä väsymyksessä (Allen ym. 2008).

Alhaisen pH:n on uskottu vaikuttavan Ca^{2+} :n vapautumiseen sarkoplasmisesta retikulumista (Allen ym. 2008). Alentuneen pH:n on havaittu laskevan kalsiumin aiheuttamien Ca^{2+} -kanavien (Ca^{2+} -induced Ca^{2+} release, CICR), kuten RyR1-kanavien, aktivoitumista (Ma ym. 1988, Williams & Ward 1992). Sen ei ole kuitenkaan havaittu inhiboivan jännitteen mukaan aktivoituvaa Ca^{2+} :n vapautumista L-tyypin Ca^{2+} -kanavista edes pH:n ollessa 6.2 (Lamb & Stephenson 1994, Lamb ym. 1992).

Alhainen pH heikentää Ca^{2+} :n kiinnittymistä troponiini C:en (Fabiato & Fabiato 1978) mahdollisesti siksi, että myös H^+ pyrkii kiinnittymään troponiini C:en. Tämän on uskottu vaikuttavan negatiivisesti lihasten supistumiskykyyn. (Allen ym. 2008.) Alhainen pH kuitenkin heikentää myös Ca^{2+} :n kiinnittymistä sarkoplasmisen retikulumin Ca^{2+} -pumppuihin sekä laskee Ca^{2+} :n pumppausta takaisin sarkoplasmiseen retikulumiin (Wolosker ym. 1997), mikä johtaa sytoplasman vapaan Ca^{2+} :n määrän kasvuun (Westerblad & Allen 1993). Tämän seurauksena Ca^{2+} :n määrä, joka pystyisi kiinnittymään troponiini C:n kanssa, kasvaa happamassa pH:ssa

korkeammalle kuin normaalissa pH:ssa (Westerblad & Allen 1993). Tämän on havaittu edistävän voimantuottoa (Allen ym. 2008).

Alentuneen pH:n on havaittu myös vaikuttavan positiivisesti lihaksen eksitabiliteetin säilyttämiseen väsymyksessä (Allen ym. 2008). pH:n laskun on havaittu vastustavan eksitabiliteetin heikentymistä kalvon depolarisaation yhteydessä (Hansen ym. 2005, Nielsen ym. 2001a), sillä alentunut pH heikentää kloridi-ionien johtumista tubulusten kalvolla. Tavallisesti kloridi-ionit mahdollistavat aktiopotentiaalin leviämisen lihassolukalvolla sekä tubuluksissa. (Pedersen ym. 2004.) Eristetyssä lihaksessa onkin havaittu, ettei alhainen pH vaikuta tetaaniseen voimantuottoon tai lihassolujen väsymiseen (Bruton ym. 1998). Tämän uskotaan ainakin osittain johtuvan pH:n vaikutuksesta tubulusten eksitabiliteettiin (Pedersen ym. 2004). Tutkimuksissa, joissa koko elimistön pH on laskenut kuormituksen myötä, asidoosin on havaittu heikentävän suorituskykyä (Cairns 2006). Elimistön alentunut pH voi heikentää veren happisatuaatiota ja hapen vapautumista kudoksille, sydämen ja paikallisen verisuoniston toimintaa, keskushermoston ohjaustoimintaa sekä muita tekijöitä. Yhteenvetona voidaan todeta, ettei H⁺-pitoisuuden kasvu ole lihasväsymyksen päätekijä, sillä sen suorat vaikutukset voimantuottoon ovat suhteellisen pieniä. (Allen ym. 2008.)

3.1.3 Adenosiinitrifosfaatti ja magnesiumionit

Väsyttävän kuormituksen aikana nopean lihassolun ATP-pitoisuus laskee 7 mM:sta (mmol/l) 1.2 mM:in eli noin 80 %:a. Tämän lisäksi PCr-pitoisuus laskee 30 mM:sta 2.5 mM:in (noin 89 %:a) sekä ADP-pitoisuus lisääntyy 10 μM:sta 200 μM:in. Myös IMP-pitoisuus voi lisääntyä 5 mM:in. Lisäksi magnesiumionien (Mg²⁺) pitoisuus voi lisääntyä 1 mM:sta 2 mM:in tai mahdollisesti korkeammalle. Hitaassa lihassolussa voi tapahtua hieman laskua tai ei ollenkaan muutosta sytoplasman ATP-pitoisuudessa. (Karatzaferi ym. 2001.) Toisaalta tutkimuksissa on myös todettu, ettei sytoplasman ATP-pitoisuus laske alle 60 %:n lepotasosta. Näissä tutkimuksissa on kuitenkin tutkittu koko lihasta, jolloin kaikki lihassolutyypit ovat olleet edustettuina. (Bangsbo ym. 1996, Walter ym. 1999.)

Yksittäisen lihassolun maksimaalisen voimatuoton ei ole havaittu heikentyvän ennen kuin ATP-pitoisuus laskee alle 20 μM:n (Cooke & Bialek 1979). Dutka ja Lamb (2004) puolestaan havaitsivat maksimaalisen tetaanisen voimantuoton heikkenevän noin 10 %:a ATP-

pitoisuuden laskiessa 1 mM:sta 0.5 mM:in. He havaitsivat myös voimantuottonopeuden laskevan ATP-pitoisuuden laskiessa 2 mM:in. Lisäksi voimantuottokyvyn on havaittu paranevan submillimolaarisilla ADP-pitoisuuksilla (Godt & Nosek 1989). Ca^{2+} -sensitiivisyys ei muutu ATP-pitoisuuden laskiessa 0.5 mM:in, mutta sen on havaittu jopa hieman paranevan submillimolaarisilla ADP:n pitoisuuksista (Dutka & Lamb 2004, Godt & Nosek 1989). Mg^{2+} -pitoisuuden lisääntymisen 3 mM:in on havaittu heikentävän maksimaalista voimantuottoa (Dutka & Lamb 2004). Lisäksi sen on havaittu laskevan merkittävästi Ca^{2+} -sensitiivisyyttä (Blazev & Lamb 1999a). On huomioitava, että todennäköisesti nämä muutokset tapahtuvat yhdessä kohonneiden P_i - ja H^+ -pitoisuuksien kanssa (Allen ym. 2008).

Tutkimukset yksittäisistä lihassoluista ovat osoittaneet, että tetaanista voimantuottoa seuraava relaksaatio hidastuu ATP-pitoisuuden laskiessa 0.5 mM:in (Dutka & Lamb 2004). Tämän on esitetty johtuvan sarkoplasmisen retikulumin Ca^{2+} -pumppujen heikentyneestä kalsiumin takaisin otosta (Allen ym. 2008). ATP vaikuttaa pumpun säätelyyn siten, että jos ATP-pitoisuus laskee viidestä 0.25 mM:in, pumppujen Ca^{2+} :n affiniteetti heikkenee kymmenkertaisesti (Nakamura ym. 2002). Jos pumppujen Ca^{2+} :n affiniteetti on jo heikentynyt alhaisen pH:n vuoksi (Wolosker ym. 1997), ei ATP-pitoisuuden kasvu enää juuri heikennä affiniteettia (Nakamura ym. 2002).

ATP:n kiinnittyminen stimuloi RyR1-kanavien Ca^{2+} :n vapautumista. On myös havaittu, että ADP ja AMP toimivat heikompina kilpailevina agonisteina ATP:lle. IMP:n ei ole havaittu vaikuttavan RyR1-kanavien ja ATP:n yhteistoimintaan. (Laver ym. 2001.) Sytoplasman Mg^{2+} puolestaan inhiboi Ca^{2+} :n vapautumista (Laver ym. 2004, Meissner ym. 1986). Mg^{2+} -pitoisuuden ollessa lepotasolla (noin 1 mM) Ca^{2+} -kanavat pysyvät suljettuina ilman jännitesensoreiden aktivointia (Laver ym. 2004). Lisäksi Mg^{2+} -pitoisuuden lisääntyminen 1 mM:sta 3 mM:in heikentää jänniteaktivoitujen Ca^{2+} -kanavien Ca^{2+} :n vapauttamista noin 40 %:a (Dutka & Lamb 2004). Myös ATP-pitoisuuden aleneminen heikentää näiden kanavien toimintaa, erityisesti jos ATP hydrolyysin tuotteita, AMP:a ja adenosinia, on paikalla (Blazev & Lamb 1999a, Blazev & Lamb 1999b, Dutka & Lamb 2004). Yhteenvetona voidaan todeta, että ATP-pitoisuuden laskun myötä ATP:a käytetään vähemmän poikittaissiltojen muodostumiseen sekä Ca^{2+} :n takaisinottoon, jolloin lihassolujen tuottama teho laskee eli ilmenee väsymystä. On kuitenkin huomioitava, että se suojaa täydelliseltä ATP:n ehtymiseltä ja soluvaurioilta. (Allen ym. 2008.)

3.1.4 Glykogeeni

Glukoosi varastoidaan luurankolihasissa glykokeeniksi, joka on tärkein energianlähde useimmissa liikuntamuodoissa. Nykyisin glykokeenivarastojen ehtymisen vaikutus kohtalaisen kuormittavan kuormituksen (60–80 % VO_{2max} :sta) väsymykseen tunnetaan laajalti. Kuitenkaan syytä glykokeenivarastojen ehtymisen ja väsymyksen aikaisen voimatasojen laskun välillä ei täysin tunneta. (Allen ym. 2008.) Tutkimukset yksittäisestä lihassyistä osoittivat glykokeenivarastojen ehtymisen seurauksena samanaikaisen laskun väsymyksen aikaisen tehtaamisen voimantuoton sekä Ca^{2+} :n siirron välillä (Chin & Allen 1997). Tämä voi johtua glykokeenin metabolisesta tai rakenteellisesta vaikutuksesta (Allen ym. 2008).

Yhteys glykokeenin määrän laskun sekä heikentyneen Ca^{2+} :n siirron välillä voisi johtua siitä, että glykokeeni tarjoaa asetyylikoentsyymi-A:ta sitruunahappokiertoon sekä säilyttää sitruunahappokierron välituotteiden riittävän pitoisuuden (Helander ym. 2002, Sahlin ym. 1990). Toisaalta on havaittu, että lihassäikeiden vaste poikittaistubulusten depolarisaatiolle heikkeni glykokeenivarastojen ehtyessä, vaikka energiaa oli tarjolla ATP:n ja kreatiinifosfaatin muodossa, mikä viittaisi glykokeenin rakenteelliseen rooliin Ca^{2+} :n vapautumisessa (Stephenson ym. 1999).

3.1.5 Reaktiiviset happiradikaalit

Reaktiivisilla happiradikaaleilla (reactive oxygen species, ROS) tarkoitetaan erilaisia molekulaarisesta hapestä johdettuja molekyyliä ja vapaita radikaaleja eli kemiallisia aineita, joilla on yksi pariton elektroni. Kun hapestä poistetaan yksi elektroni, muodostuu superoksidi ($O_2^{\cdot-}$), joka on useimpien ROS:n prekursori. $O_2^{\cdot-}$:ja muodostuu mitokondriossa oksidatiivisen fosforylaation sivutuotteena. $O_2^{\cdot-}$ jakautumisen seurauksena muodostuu vetyperoksidia (H_2O_2), joka voidaan puolestaan muuttaa vedeksi tai osittain myös hydroksyyli-radikaaleiksi (OH^{\cdot}). (Turrens 2003.) OH^{\cdot} reagoivat käytännössä minkä tahansa orgaanisen molekyylin kanssa ja voivat näin vahingoittaa proteiineja, DNA:ta ja lipidejä (Allen ym. 2008).

Lihaskäyttö ja lihasten kohonnut lämpötila lisäävät ROS:n muodostumista (Allen ym. 2008, Reid ym. 1992). ROS:n tiedetään aiheuttavan väsymystä. On kuitenkin vielä epäselvää, mitkä mekanismit väsymyksen aiheuttavat. (Allen ym. 2008.) Kalsiumin aktivoivaa voiman-

tuottoa sekä Ca^{2+} -sensitiivisyyttä on tutkittu mahdollisina mekanismeina, mutta tulokset ovat olleet hyvin ristiriitaisia. Esimerkiksi H_2O_2 ei havaittu vaikuttuvan maksimaaliseen kalsiumin aktivoimaan voimantuottoon ($F_{\text{Ca,max}}$), kun taas $\text{O}_2^{\cdot-}$:n havaittiin laskevan 15 % ja $\text{OH}\cdot$:n 44 % $F_{\text{Ca,max}}$:a (Callahan ym. 2001). Lamb ja Posterino (2003) eivät havainnet vapaiden happiradikaalien laskevan $F_{\text{Ca,max}}$:a, mutta havaitsivat niiden lisäävän Ca^{2+} -sensitiivisyyttä. Moopanar ja Allen (2005) puolestaan havaitsivat Ca^{2+} -sensitiivisyyden laskevan ja heidän mukaansa tutkimuksessa havaittu voiman laskeminen ROS:n myötä johtui juuri Ca^{2+} -sensitiivisyyden laskemisesta. Myös Andrade ym. (1998) havaitsivat pitkittyneen H_2O_2 :lle altistumisen laskevan Ca^{2+} -sensitiivisyyttä.

3.2 Palautuminen

Palautumisella tarkoitetaan lihasten toiminnan palautumista harjoitusta edeltävään tilaan. Palautumisen aikana metabolia palautuu harjoitusta edeltävälle tasolle. (Tomlin & Wenger 2001.) Palautumisen nopeammassa vaiheessa tapahtuu elimistön energiavarojen täydentäminen (Jentjens & Jeukendrup 2003) sekä nestetasapainon palauttaminen (Shirreffs ym. 2004). Tämä tapahtuu yleensä 24 tunnin sisällä suorituksesta. Palautumisen hitaammassa vaiheessa harjoittelun aiheuttamat lihassoluvaurioita korjaantuvat ja viivästynyt lihaskipu (DOMS, delayed onset muscle soreness) helpottaa. (Barnett 2006.) Harjoittelun aiheuttamista lihassoluvaurioista kerrotaan tarkemmin kappaleessa neljä.

Urheilijoiden palautumisen tulisi olla mahdollisimman nopeaa, jotta suorituskyky voidaan maksimoida niin harjoituksissa kuin kilpailuissakin (Versey ym. 2013). Nopeutunut palautuminen mahdollistaa suuremmat harjoittelukuormat tai edistää käytetyn harjoittelukuorman harjoitteluadaptaatioita sekä mahdollistaa optimaalisen suorituskyvyn kilpailutilanteissa (Barnett 2006). Monissa tilanteissa, kuten turnauksissa, urheilijoilla ei ole kuitenkaan riittävästi aikaa täydelliseen palautumiseen (Montgomery ym. 2008). Tämän vuoksi urheilijoiden keskuudessa erilaiset strategiat palautumisen nopeuttamiseksi ovat lisääntyneet (Versey ym. 2013).

Urheilijoiden suosimia strategioita ovat muun muassa hieronta, aktiivinen palautuminen, venyttely, tulehduskipulääkkeet, kompressiovaatteet, sähköstimulaatio, ylipainehappihoito sekä näiden yhdistelmät (Barnett 2006). Lisäksi urheilijoiden palautumisstrategiaksi ovat muodos-

tuneet myös vesiupotushoidot, jotka voidaan jakaa neljään eri kategoriaan: kylmävesihoitoon, kuumavesihoitoon, termoneutraaliin vesiupotushoitoon sekä kontrastihoidon, jossa tehdään kylmä- ja kuumavesihoitoa vuorotellen. (Versey ym. 2013.) On esitetty, että palautumisstrategioiden avulla tehty suoritus ei aiheuttaisi niin suurta tehon, liikkuvuuden ja kestävyysominaisuuksien heikkenemistä sekä pienentäisi koettua viivästynyttä lihaskipua, jolloin seuraavassa harjoituksessa tai kilpailussa suorituskyky ei olisi niin merkittävästi heikentynyt (Dawson ym. 2005).

Tavallisesti kuormituksen jälkeen urheilijat suorittavat aktiivisen palautumisen, jossa liikutaan alhaisella intensiteetillä (King & Duffield 2009). Aktiivisen palautumisen vaikutusta laktaatin poistoon sekä suorituskykyyn on tutkittu paljon (Ahmaidi ym. 1996, Monedero & Donne 2000). Sen onkin havaittu lisäävän aineenvaihdunnan tuotteiden poistoa ja ehkäisevän laktaatin akkumulaatiota parantuneen verenkierron seurauksena (Monedero & Donne 2000, Taoutaou ym. 1996). Sen sijaan laktaatin edistyneen poistumisen ja tulevan kuormituksen suorituskyvyn välisen yhteyden on havaittu olevan heikko (Ahmaidi ym. 1996, Monedero & Donne 2000).

4 HARJOITTELUN AIHEUTTAMAT LIHASSOLUVAURIOT

Harjoittelun aiheuttamia lihassoluvaurioita (exercise-induced muscle damage, EIMD) ilmenee uudenlaisen tai eksentrisiä lihassupistuksia sisältävän harjoituksen jälkeen (Howatson & van Someren 2008). Lihassoluvauriot voivat kestää useita päiviä harjoituksen jälkeen (Proske & Morgan 2001) ja tavallisesti ne heikentävät lihasten toimintakykyä, lisäävät lihasten arkuutta ja turvotusta sekä lisäävät intramuskulaaristen proteiinien vapautumista vereen (Howatson & van Someren 2008). Eksentrisen harjoituksen aiheuttamat lihassoluvauriot voivat aiheuttaa seuraavien kuormitusten aikana kipua, rajoittaa liikkeitä sekä laskea harjoitteluintensiteettiä (Howatson & van Someren 2008), mistä voi olla hyötyä harjoittelijalle välttämättömän adaptiivisen uudelleenmuodostumisen vuoksi (Yu ym. 2004).

4.1 Lihassoluvaurioiden mekanismi

Useista tutkimusartikkeleista huolimatta eksentrisen supistuksen aiheuttamien vaurioiden, korjaantumisen ja adaptaatioiden tarkasta mekanismista ei ole päästy yksimielisyyteen. Lihassoluvauriot voidaan jakaa primääriseen vaurioon, joka ilmenee harjoituksen aikana, sekä sekundääriseen vaurioon, jossa vaurio pahenee inflammatoristen vasteiden seurauksena. (Howatson & van Someren 2008.) Primääriset vauriot voidaan puolestaan jakaa metabolisiin sekä mekaanisiin vaurioihin (Ebbeling & Clarkson 1989, Armstrong ym. 1991). Metabolisten vaurioiden uskotaan johtuvan harjoittelun aiheuttamasta iskemiasta ja hypoksiasta, joiden on esitetty vaikuttavan ionikonsentraatioon, aineenvaihduntatuotteiden akkumulaatioon sekä ATP:n puutteeseen (Ebbeling & Clarkson 1989). Tämä johtaa lopulta lihassoluvaurioihin (Byrnes & Clarkson 1986, de Vries 1966). Metabolisten vaurioiden ei kuitenkaan uskota toimivan eksentrisen harjoituksen aiheuttaman EIMD:n perustana (Howatson & van Someren 2008).

Mekaanisten vaurioiden uskotaan olevan seurausta myofiibereihin kohdistuvasta mekaanisesta kuormituksesta (Howatson & van Someren 2008). Eksentrisissä supistuksissa sarkomeerit eivät veny yhtenäisesti, jolloin jotkin myofilamenteista ylivenyvät siten, etteivät ne ole enää lomittain pystyäkseen muodostamaan poikittaissiltoja (Proske & Allen 2005). Kun kyseiset filamentit venyvät tämän jälkeen, sarkomeerin passiivisiin rakenteisiin kohdistuu suurempia voimia, jolloin passiiviset rakenteet vaurioituvat (Morgan & Proske 2004). Nämä passiivisiin

rakenteisiin kohdistuvat voimat siis aiheuttavat häiriöitä sarkomeerin rakenteessa ja heikentävät lihaksen kykyä tuottaa voimaa (Proske & Morgan 2001).

Sekundääriset vauriot alkavat intrasellulaaritalan kalsiumhomeostaasin häiriintymisestä (Howatson & van Someren 2008). Lisääntyneen intrasellulaaritalan kalsiumin määrän on esitetty olevan peräisin ekstrasellulaaritalasta (Armstrong ym. 1991). Eksentrisen harjoituksen on havaittu heikentävän sarkoplasmisen retikulumin kalvon eheyttä, minkä seurauksena kalsiumia virtaa intrasellulaaritalaan (Nielsen ym. 2005, Yasuda ym. 1997). Tätä seuraavat tapahtumat puolestaan vaurioittavat solua aiheuttamalla muutoksia soluntukirangassa, sarkoplasmisessa retikulumissa, mitokondrioissa sekä myofilamenteissa (Bryd 1992, Gissel & Clausen 2001). Kalsiumin välittämät vasteet johtavat lopulta solukalvojen ja sarkolemmän hajoamiseen, vieraiden aineiden tunkeutumiseen vaurioituneeseen soluun (Jones ym. 1986), joissakin tapauksissa solujen nekroosiin (Proske & Morgan 2001) sekä muutamia päiviä myöhemmin solujen uudelleenmuodostumiseen (Friden ym. 1983). Solukalvon vaurioituminen aiheuttaa myös intramuskulaaristen proteiinien vuotoa, mikä voidaan havaita verestä useita päiviä vaurion jälkeen (Warren ym. 1999). Pidetään todennäköisempänä, että lihassoluvaurioiden jälkeen kudokset adaptoituvat ja uudelleenmuodostuvat kuin, että nekroosia ilmenisi (Yu ym. 2004, Yu & Thornell 2002).

4.2 Lihassoluvaurioita aiheuttava harjoittelu

Eksentristen lihassupistusten tiedetään aiheuttavan lihassoluvaurioita (Howatson & van Someren 2008). Maksimaalisessa eksentrisessä lihastyössä voimantuotto on suurempaa kuin isometrisessä lihastyössä (Webber & Kriellaas 1997) ja tällöin aktivoidaan vähemmän motorisia yksiköitä kuin maksimaalisessa isometrisessä ja konsentrisessä lihastyössä. Lisäksi tietyllä voimatasolla eksentrisessä voimantuotossa aktivoidaan vähemmän motorisia yksiköitä. (Enoka 1996, Kellis & Paltzopoulos 1998.) Korkean voimantuoton ja alhaisen lihasfiibereiden rekrytoinnin yhdistelmä aiheuttaa lihassolujen rakenteille mekaanista stressiä ja tämän on esitetty vaikuttavan lihassoluvaurioiden muodostumiseen eksentrisen harjoituksen jälkeen (Enoka 1996).

Lihassoluvauriot ilmenevät nopeissa lihassoluissa. On kuitenkin havaittu, että myös osassa hitaita soluja voi esiintyä lihassoluvaurioita. (Sorichter ym 2001.) Lisäksi lihassoluvaurioiden

on havaittu olevan merkittävimpiä nopeiden eksentristen supistuksen jälkeen (Howatson & van Someren 2008), mikä saattaa johtua lisääntyneen nopeuden aiheuttamasta alentuneesta poikittaissiltojen muodostumisesta (Lieber 2010, 55–56). Eksentristen supistusten ei kuitenkaan tarvitse olla maksimaalisia aiheuttaakseen vaurioita (McHugh ym. 2002, Nosaka & Newton 2002). Enemmän vaurioita kuitenkin usein muodostuu, kun supistukset ovat maksimaalisia ja suoritettu pidemmällä lihaspituuksilla (McHugh & Pasiakos 2004, Nosaka & Newton 2002). On kuitenkin huomioitava, että kuormituksen ollessa uusi, eksentriset supistukset aiheuttavat vauriota riippumatta supistusnopeudesta tai -intensiteetistä (Howatson & van Someren 2008).

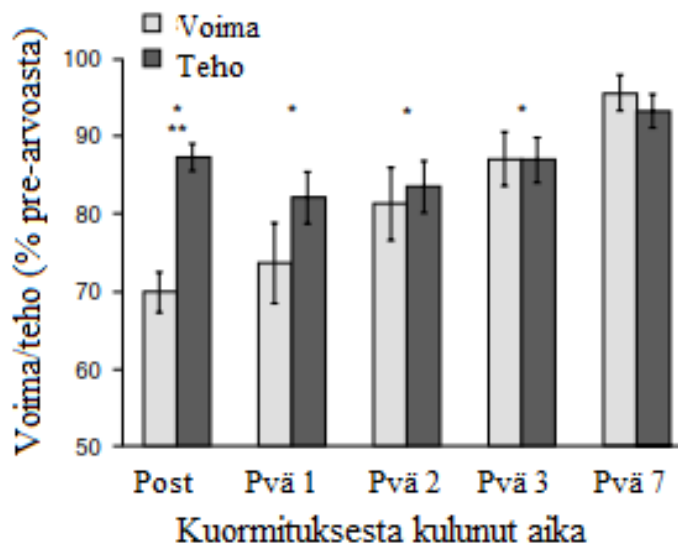
4.3 Lihassolvaurioiden vaikutus suorituskykyyn

Isometrisen voimantuoton on havaittu laskevan välittömästi eksentrisen harjoituksen jälkeen ja sen palautumisen on havaittu olevan asteittaista ja pitkittynyttä (Byrne ym. 2004). Lisäksi optimaaliseen voimantuottoon vaadittavan nivelkulman on havaittu siirtyvän pidemmille lihaspituuksille (Jones ym. 1997, Whitehead ym. 1998). Tämä johtuu siitä, että ylivenyntyneiden sarkomeerien vuoksi tarvitaan pidempiä lihaspituuksia, jotta samanlainen myofilamenttien lomittaisuus saavutetaan eksentrisen harjoituksen jälkeen (Proske & Morgan 2001). On huomioitava, ettei pelkkä lihasten voimantuotto kapasiteetti heikkene lihassolvaurioiden myötä, sillä myös motorisen kontrollin on havaittu heikkenevän (Byrne ym. 2004). Muun muassa EMG:llä mitatun neuromuskulaarisen hyötysuhteen on havaittu laskevan eksentrisen harjoituksen jälkeen (Deschenes ym. 2000).

Isokineettistä dynamometriä on käytetty arvoimaan lihassolvaurioiden vaikutusta erilaisten lihastyötapojen voimantuottoon. Tietyllä kulmanopeudella suoritettuja liikkeitä vertailtaessa isometrisen, konsentrisen ja eksentrisen voimantuoton välillä ei ole havaittu merkitseviä eroja voimantuoton heikkenemisen tai palautumisen suhteen. (Byrne & Eston 2002a, Michaut ym. 2002.) Isokineettisellä dynamometrillä on tutkittu myös voimantuottonopeuden vaikutusta voimantuottokyvyn heikkenemiseen ja palautumiseen. Useat tutkijat ovat havainneet nopeammalla kulmanopeudella suoritettujen liikkeiden voimantuoton heikkenevän vähemmän. Asiasta on kuitenkin saatu ristiriitaisia tuloksia. (Byrne ym. 2004.)

Voimantuottokyvyn heikkenemisen taustalla on ärsytys-supistus-kytkennän hyötysuhteen heikkeneminen eksentrisen harjoituksen jälkeen. Häiriöt ärsytys-supistus-kytkennässä heikentävät sekä maksimaalista että submaksimaalista voimantuottoa. Maksimaalisen voimantuoton heikkeneminen vaikuttaa voima- ja teho-ominaisuuksia sisältäviin suoritusksiin. Submaksimaalisen voimantuoton heikkenemisen seurauksena motoristen yksiköiden rekrytointia sekä syttymistehyitä lisätään tietyllä submaksimaalisella kuormalla, jolloin tietyn kuormituksen tekeminen vaatii enemmän vaivaa. (Byrne ym. 2004.)

Tehon tuottokyvyn on havaittu palautuvan eri tavalla kuin isometrisen voimantuottokyvyn. Isometrisen voimantuoton havaittiin palautuvan lineaarisesti, kun taas tehontuottokyky heikkeni vielä ensimmäisenä ja toisena päivänä kuormituksen jälkeen ennen kuin se palautui lineaarisesti (kuva 3). (Byrne & Eston 2002b.)



KUVA 3. Voiman ja tehon tuottokyvyn lasku ja palautuminen kuormituksen jälkeen. Arvot ovat prosenttiosuuksia kuormitusta edeltäneistä arvoista. (Muokattu Byrne & Eston 2002b.) Post = kuormituksen jälkeinen arvo, pre= kuormitusta edeltävä arvo, pvä= päivä.

Harjoittelun aiheuttamien lihassoluvaurioiden aikaansaavan DOMS:n ja inflammaatiiovasteiden uskotaankin vaikuttavan tehontuottokykyyn, mutta ei voimantuottokykyyn (Byrne & Eston 2002b). Tehontuottokyvyn on havaittu heikkenevän esimerkiksi vertikaalihypyissä (Byrne & Eston 2002a) sekä Wingate-testissä (Byrne & Eston 2002b). Myös kestävyys suorituskyvyn fysiologisten vasteiden on havaittu voimistuvan lihassoluja vaurioittavan harjoituksen jälkeen

(Gleeson ym. 1995, Gleeson ym. 1998). Muun muassa ventilaation, hengitystiheyden, sykkeen, laktaattipitoisuuden ja koetun kuormittuneisuuden havaittiin kasvavan enemmän eksentrisen kuin konsentrisen harjoituksen jälkeen (Gleeson ym. 1995). Lihassoluvaurioiden on havaittu vaikuttavan myös kuumassa ilmastossa tehdyn kuormituksen aikaiseen lämmönsäätelyyn (Montain ym. 2000) sekä heikentävän lihasten glykogeenin uudelleenmuodostusta (Asp ym. 1998, Asp ym. 1999).

4.4 Lihassoluvaurioiden arviointitavat

MVC ja ROM. Isometrisen voimantuoton mittaus on ollut käytetyin lihasten toimintakykyä määrittävä mittaus eksentrisen harjoituksen jälkeen. Maksimaalisen tahdonalaisen voimantuoton (maximal voluntary contraction, MVC) mittausta pidetäänkin parhaana eksentristen supistusten aiheuttamien lihassoluvaurioiden mittarina. Kun mittauksissa käytetään samaa nivelkulmaa, voidaan saman yksilön ja yksilöiden välillä tehdä pätevää vertailua. (Warren ym. 1999.) Lisäksi MVC-mittauksen reliabiliteetin on havaittu olevan suhteellisen korkea (Abernethy ym. 1995). Nivelen liikelaajuus (range of motion, ROM) on toinen toiminnallinen lihassoluvaurioiden mittari. ROM määritellään kaareksi, jonka alueella nivel voi liikkua (Warren ym. 1999). Passiivisen ROM-mittauksen yksilöiden välinen reliabiliittetti on heikko tai kohtalainen, mutta yksilön sisäinen reliabiliteetti on hyvä (Roberson & Giurintano 1995).

Viivästynyt lihaskipu, DOMS. Viivästynyt lihaskipu (delayd onset of muscle soreness, DOMS) tarkoittaa asteittain harjoituksen jälkeen lisääntyvää lihaskipua, joka suurimmillaan 24–48 tuntia harjoituksen jälkeen (Enoka 1996). DOMS aiheutuu lihassoluvaurion ja ei-supistuvan tukikudoksen inflammaation seurauksena (Jones ym. 1989). Viivästynyttä lihaskipua ei suositella käyttämään lihassoluvaurioiden tai toimintakyvyn heikkenemisen suuruuden mittarina, sillä lihasten toimintakyky heikkenee jo ennen lihasarkuuden alkamista. Lisäksi lihassoluvauriot säilyvät vielä, kun lihasarkuus helpottaa. Tässä vaiheessa myös lihasten toimintakyky voi olla vielä heikentynyt. (Nosaka ym. 2002, Rodenburg ym. 1993.)

Myofiibereiden proteiinipitoisuus veressä. Myofiibereiden proteiinien, kuten kreatiinikinaasin (CK) ja myoglobiinin, pitoisuuden mittausta verestä on käytetty harjoittelun aiheuttamien lihassoluvaurioiden mittarina. Verestä mitattujen myofiibereiden proteiinien pitoisuuden muutosten on havaittu kuitenkin korreloivan heikosti lihaksen toimintakyvyn heikkenemisen

kanssa, sillä MVC-tulos heikkenee välittömästi lihassoluvaurioiden muodostumisen jälkeen, kun taas veren CK-pitoisuuden on havaittu kasvavan vasta yhden päivän kuluttua vaurion muodostumisesta. (Warren ym. 1999.) On myös havaittu, että joidenkin yksilöiden CK-aktiivisuus kasvaa huomattavasti (high-responders) lihassoluvaurioiden muodostumisen jälkeen verrattuna normaaliin vasteeseen. Lisäksi yhden harjoituksen jälkeen CK-aktiivisuuden kasvu pienenee, kun samanlainen harjoitus suoritetaan uudestaan. (Koch ym. 2014.)

C-reaktiivinen proteiini, CRP. Fyysisiä vaurioita ja infektioita seuraa akuutin vaiheen stimulus, jonka seurauksena maksasta peräisin olevien plasman proteiinien konsentraatio lisääntyy. C-reaktiivinen proteiini (CRP) on yksi näistä plasman proteiineista. CRP:a tuotetaan infektion tai vaurion aiheuttaman sytokiinien määrän lisääntymisen seurauksena. Se pystyy neutralisoimaan inflammatorisia aineita, minimoimaan paikallisten kudolvaurioiden ilmenemisen sekä korjaamaan ja uudelleenmuodostamaan kudosta. (Steel & Whitehead 1994.) Verestä mitatun CRP:n avulla voidaan arvioida tulehdustilaa (Brouwer & van Pelt 2015).

5 VESIUPOTUSMENETELMIEN AIHEUTTAMAT FYSIOLOGISET VASTEET

5.1 Lämpöneutraalin vesiupotuksen aiheuttamat fysiologiset vasteet

Vesiupotushoitojen fysiologiset vasteet aiheutuvat pääasiassa hydrostaattisesta paineesta sekä veden lämpötilasta. Termoneutraalissa vedessä hydrostaattinen paine aiheuttaa elimistön nesteiden siirtymistä raajoista kohden keskivartaloa. Tämä voi lisätä lihaksista peräisin olevien substraattien translokaatiota ja sydämen minuuttitilavuutta sekä laskea perifeeristä vastusta ja näin lisätä elimistön kykyä kuljettaa substraatteja, kuten happea, ravinteita ja hormoneja lihaksille. (Wilcock ym. 2006.) Verisuonten vasodilaation on havaittu lisäävän myös metaboliittien, kuten laktaatin, poistoa lihaksista sen parantuneen verenkierron myötä (Coffey ym. 2004). On esitetty, että elimistön nesteiden siirtyminen keskivartaloon edistäisi urheilijan palautumista (Wilcock ym. 2006).

Harjoittelu aiheuttaa plasman siirtymistä lihaksiin aiheuttaen turvotusta (Hildebrandt ym. 1992). Tämä voi muuttaa paikallisten kapillaarien kuljetusreittejä sekä niihin kohdistuvaa puristusta, mikä heikentää hapenkuljetusta soluille (Wilcock ym. 2006). Veden aiheuttama hydrostaattinen paine aiheuttaa lihasten ja verisuonten puristumista, mikä laskee lihasten turvotusta. Turvotuksen pienentyminen vähentää kipu- ja painereseptoreiden aktiivisuutta ja näin hillitsee immuunivastetta. Turvotuksen ehkäiseminen siis laskee kudosten sekundaarisia vaurioita ja auttaa urheilijan palautumisessa. (Vaile ym. 2007.) Hydrostaattinen paine aiheuttaa myös nesteiden siirtymistä soluvälitilasta intravaskulaariseen tilaan. Tämä nesteiden siirtyminen korvataan nopeasti solun sisäisen tilan nesteistä, jolloin solun sisäisen tilan nestemäärä pienenee ja solun ulkoisen tilan nesteet lisääntyvät. Tästä seuraa osmoottisen gradientin muutoksia, jotka kiihdyttävät solunsisäisten ainesosien sekä aineenvaihdunnan sivutuotteiden siirtymistä verenkiertoon. (Stocks ym. 2004.) Näin kyseinen nesteiden siirtyminen voi edistää solunsisäisten ainesosien ja aineenvaihduntatuotteiden poistoa (Wilcock ym. 2006).

Veden aiheuttama nostovoima puolestaan laskee lihaksistoon kohdistuvaa gravitaatiovoimaa, mikä rentouttaa veden varassa olevia lihaksia ja avustaa energian säästämistä (Wilcock ym. 2006). Lisäksi nostovoima saattaa aiheuttaa helpotusta koetussa väsymyksen tunteessa (Pöyhönen ym. 1999).

5.2 Kylmävesimenetelmän ja kontrastimenetelmän aiheuttamat fysiologiset vasteet

Kylmyydelle altistuminen saa aikaan monia fysiologisia reaktioita kehon normaalin toiminnan säilyttämiseksi. Kylmävesihoidoissa käytetty kylmä veden lämpötila nostaa sydämen sykettä, mikä puolestaan nostaa sydämen minuuttitilavuutta. Lisäksi tapahtuu verisuonten supistumista eli vasokonstriktiota, minkä seurauksena verenpaine kasvaa. Hapenkulutus ja metabolia lisääntyvät, sillä keskivartalon lämpötila pyritään säilyttämään. (Park ym. 1999, Srámek ym. 2000.) Toisaalta ihonalaisten verisuonien vasokonstriktio sekä keskivartalon lämpötilan lasku vähentävät ihonalaista verenkiertoa ja suuntaavat verenkiertoa keskivartalon alueelle, mikä laskee sydän- ja verenkiertoelimistön kuormitusta (Ihsan ym. 2016). Verenkierron keskittyminen keskivartalon alueelle ja sitä seuraava sydämen iskutilavuuden ja minuuttitilavuuden kasvu aktivoivat barorefleksejä. Tämän seurauksena sympaattisen hermoston aktivaatiota inhiboidaan ja parasympaattisen hermoston aktivaatiota lisätään, mikä johtaa sykkeen laskuun. (Pump ym. 2001.) Kylmävesihoidon jälkeen sydämen sykkeen onkin havaittu olevan alhaisempi sekä levossa (Minett ym. 2014, Pointon ym. 2012) että kuormituksessa (Dunne ym. 2013). Myös hormonaalisia muutoksia on havaittu kylmävesihoidon seurauksena (Srámek ym. 2000).

Harjoituksen jälkeisen kylmävesihoidon aiheuttama vasokonstriktio vaimentaa tulehdusreaktiota laskemalla veri- ja imusuonten läpäisevyyttä, mikä puolestaan laskee tulehduksellisten tekijöiden, kuten kreatiinikinaasin, ulosvirtausta luurankolihasista (Eston & Peters 1999). Vasokonstriktio laskee myös nesteiden diffuusiota solun sisään sekä myoproteiinien diffuusiota solun ulkopuoliseen tilaan. Tämän uskotaan hillitsevän turvotusta sekä tulehdusreaktiota. (Yanagisawa ym. 2003.) Vaimentuneen tulehdusreaktion puolestaan on esitetty laskevan kivun tunnetta sekä hillitsevän voimantuoton laskua (Smith 1991, Wilcock ym. 2006 mukaan). Veden lämpötila laskee myös lihaksen lämpötilaa (Ihsan ym. 2014), mikä vähentää intramuskulaarista metaboliaa (Ihsan ym. 2013). Tämä saattaa vähentää tulehduksellisten tapahtumien aiheuttamia sekundaarisia vaurioita (Merrick ym. 1999).

Hermoston johtumisnopeus hidastuu kylmävesihoidon myötä, mikä puolestaan saattaa heikentää kivun tuntemista (Herrera ym. 2010, Washington ym. 2000). Hermoston johtumisnopeus saattaa aiheuttaa myös lihassupistuksen hidastumista ja voimantuottokyvyn laskemista

(Rutkove 2001), mikä voi hetkellisesti heikentää suorituskykyä heti kylmävesihoidon jälkeen (Wilcock ym. 2006). Lisäksi kylmävesihoito voi vaikuttaa akuutisti (≤ 60 min) sentraaliseen väsymykseen joko suoraan tai alentamalla keskivartalon lämpötilaa (Ihsan ym. 2016). Kylmyys voi vaikuttaa aivosähkökäyrän α : β -suhteeseen, joka kasvaa kuormituksen aiheuttaman hypertermian myötä, minkä on esitetty heikentävän vireyttä ja valppautta (Nielsen ym. 2001b). α : β -suhde voi vaikuttaa myös koettuun kuormittuneisuuden tunteeseen (RPE) (Nybo & Nielsen 2001a). Kylmävesihoito voi vaikuttaa sentraaliseen väsymykseen myös aivojen neurotransmittereihin dopaminergisen ja serotonergisen järjestelmän kautta (Ihsan ym. 2016). Nämä järjestelmät vaikuttavat mielialaan, uneen, tunnetiloihin, tarkkaavaisuuteen sekä motivaatioon ja siten voivat vaikuttaa sentraalisen väsymisen muodostumiseen (Newsholme ym. 1987, Meeusen ym. 2006 mukaan).

Kylmissä olosuhteissa lämpövuotoa pyritään minimoimaan ihonalaisen rasvakerroksen avulla. Korkeamman rasvaprosentin omaavilla henkilöillä on havaittu pienempi lämmön menetys kylmävesiupotuksessa. Tämä on ilmennyt pienempänä hapenkulutuksena verrattuna alhaisemman rasvaprosentin omaaviin henkilöihin. (Glickman-Weiss ym. 1995.) Lemire ym. (2008) kuitenkin havaitsivat, ettei ihonalainen rasvakerros vaikuttanut keskivartalon lämpötilan säilyttämiseen harjoituksen jälkeen. Kehon lämpötilan laskiessa lämpöä pyritään tuottamaan lihasvärinän avulla (Craig & Dvorak 1966). Lämmöneristystä pyritään myös lisäämään plasman tilavuutta pienentämällä, mikä tapahtuu lisäämällä virtsan muodostusta (Young ym. 1987). Säännöllinen kylmäaltistus aiheuttaa fysiologista sopeutumista. Sykkeen, verenpaineen ja hyperventiloinnin kasvun sekä verenkiertoon vapautuneiden stressihormonien vapautumisen on havaittu vaimenevan (Mäkinen 2010). Lisäksi metabolisen vasteen on havaittu pienevän (Mäkinen 2010, Tipton ym. 2013) ja ruskean rasvan määrän lisääntyvän (Mäkinen 2010).

Kontrastimenetelmän aiheuttamat fysiologiset vasteet. Kuumavesihoidon on havaittu aiheuttavan vasodilaatiota, lisäävän metaboliittien tuottoa ja lihasten elastisuutta sekä vähentävän lihaskouristuksia (spasm). Lisääntynyt verenvirtaus puolestaan lisää hapen kuljetusta sekä metaboliittien poistoa. Kontrastihoidossa kuumen ja kylmän veden aiheuttamien fysiologisten vasteiden vaihtelut nopeuttavat palautumista lisäämällä metaboliittien poistoa sekä stimuloimalla keskushermostoa. Lisäksi kontrastihoidon on havaittu vähentävän harjoituksen jälkeistä turvotusta sekä edistävän väsyneiden lihasten verenkiertoa. (Cochrane 2004.) Kontrastihoidon on esitetty edistävän palautumista vasokonstriktion ja vasodilaation aiheuttaman pumppauk-

sen myötä. On kuitenkin huomioitava, että kontrastihoidossa altaiden välillä vaihdot tapahtuvat tavallisesti 30–120 sekunnin välein, jolloin pumppauksen frekvenssi jää todella alhaiseksi. (Wilcock ym. 2006.) Lisäksi on haviattu, että lihasten sisäinen lämpötila ei muutu kontrastihoidon upotusten välillä (Myrer ym. 1994, Myrer ym. 1997). Jos näin on, verisuoniston pumppaus tapahtuisi ainoastaan ihonalaisissa kudoksissa (Wilcock ym. 2006).

6 VESIUPOTUSMENETELMIEN VAIKUTUS PALAUTUMISEEN JA SUORITUSKYKYYN

6.1 Kylmävesimenetelmän vaikutus palautumiseen ja suorituskykyyn

6.1.1 Kylmävesimenetelmän vaikutus kestävyysuorituskykyyn

Kylmävesihoidon havaittiin edistävän vain hieman tai ei ollenkaan (vaikutuksen koko 0.19) kestävyysuorituskyvyn palautumista urheilijoita koehenkilöinä käyttäneessä katsausartikkelissa (Poppendieck ym. 2012). Kylmävesihoidon vaikutuksista kestävyysuorituskykyyn onkin saatu ristiriitaisia tuloksia. Kahden juoksusuorituksen välissä tehty 15 minuutin kylmävesihoito paransi juoksusuorituksen kestoa ennen uupumista verrattuna passiiviseen palautumiseen. Juoksun taloudellisuudessa sekä hapenkulutuksessa ei kuitenkaan havaittu eroja palautumismenetelmien välillä. (Dunne ym. 2013.) Myös Vaile ym. (2010) havaitsivat kahden maksimaalisen pyöräilykuormituksen välissä tehdyn kylmävesihoidon (15 °C, 15 min) parantavan suorituskykyä verrattuna aktiiviseen palautumiseen. Kuormitukset ja palautumismenetelmät suoritettiin kuumassa lämpötilassa (32,8 °C).

Kylmävesihoidon (15 °C, 15 min) havaittiin ehkäisevän pyöräilykuormituksen kokonaistyömäärän laskua kahden intensiivisen pyöräilykuormituksen välillä verrattuna passiiviseen palautumiseen, kun kuormitusten välillä oli 24 tuntia. Kylmävesihoidon ja aktiivisen palautumisen jälkeen suorituskyvyssä ei kuitenkaan havaittu eroa. (Lane & Wenger 2004.) Myös Stacey ym. (2010) ja Stanley ym. (2010) havaitsivat, ettei pyöräilykuormitusten välissä suoritettu kylmävesihoito edistänyt pyöräilyn suorituskykyä verrattuna aktiiviseen ja passiiviseen palautumiseen.

Kylmävesihoitoa ja termoneutraalia vesiupotusta vertailevassa tutkimuksessa triathlonistit suorittivat intervallijuokskuormituksen jälkeen joko kylmävesiupotuksen (10 °C, 5 x 1 min) tai termoneutraalin vesiupotuksen (34 °C). Ennen vesiupotuksia tutkittavat suorittivat viiden minuutin aktiivisen palautumisen juosten sekä viisi minuuttia passiivista venyttelyä. He nauttivat myös palautusjuoman (21 g proteiinia ja 48 g hiilihydraatteja). Yhdeksän tuntia kuormituksen jälkeen suoritettussa intervallipyöräilykuormituksessa keskiteho oli korkeampi kylmä-

vesihoidon jälkeen verrattuna termoneutraaliin vesiupotukseen. Lisäksi koettu kuormittuneisuus (RPE) oli alhaisempi kylmävesihoidon jälkeen. Kuitenkaan maksimaalisessa viiden minuutin pyöräilyn suorituskyvyssä ei havaittu eroa palautumismenetelmien välillä. (Rowsell ym. 2014.)

Kylmävesimenetelmän vaikutus anaerobisen energiantuoton palautumiseen. Tutkimuksessa, jossa käytettiin kylmävesimenetelmää sekä aktiivista palautumista kahden maksimaalisen pyöräilykuormituksen välissä, ei havaittu veren laktaattipitoisuudessa eroa palautumismenetelmien välillä. Lukuun ottamatta heti palautumismenetelmän jälkeistä mittausta, jolloin aktiivisen palautumisen jälkeen veren laktaattipitoisuus oli alhaisempi kuin kylmävesihoidon jälkeen (Vaile ym. 2010). Myös muissa tutkimuksissa veren laktaattipitoisuudessa ei havaittu eroa kylmävesihoidon jälkeen verrattuna sekä aktiiviseen että passiiviseen palautumiseen (Crowe ym. 2007, Pointon ym. 2012, Stacey ym. 2010). Dunne ym. (2013) eivät havainneet eroa veren laktaattipitoisuudessa kylmävesihoidon ja passiivisen palautumisen välillä, kun analysoitiin palautumismenetelmien jälkeen suoritettua kuormituksen aikana otettuja verinäytteitä. Toisaalta Rowsell ym. (2014) havaitsivat palautumismenetelmien jälkeen suoritettua kuormituksessa korkeamman laktaattipitoisuuden kylmävesihoidon jälkeen verrattuna termoneutraaliin vesiupotukseen.

6.1.2 Kylmävesimenetelmän vaikutus voima- ja teho-ominaisuuksiin

Kylmävesihoidon on havaittu olevan tehokasta voima- ja teho-ominaisuuksien palautumisessa joukkueurheilun kaltaisten suoritusten jälkeen (Ascensao ym. 2011, Elias ym. 2012, Ingram ym. 2009). Kylmävesihoidon (10 °C, 10 min) havaittiin parantavan polvenojentajien maksimaalisen isometrisen voimantuoton, esikevennyshypyn sekä 20 m juoksun tulosten palautumista jalkapallo-ottelun jälkeen verrattuna termoneutraaliin vesiupotukseen (10 min, 35 °C) (Ascensao ym. 2011). Simuloidun joukkuelajin harjoituksen sekä uupumukseen asti suoritettua sukkulajuoksutestin jälkeen tehty kylmävesihoito (10 °C, 2 x 5 min) puolestaan edisti toistuvien sprinttien suorituskykyä verrattuna passiiviseen palautumiseen sekä kontrastihoidon. Kylmävesihoito ei kuitenkaan edistänyt alaraajojen MVC:n palautumista verrattuna passiiviseen palautumiseen sekä kontrastihoidon. Kylmävesihoidon jälkeen ei kuitenkaan havaittu voimatasojen merkitsevää laskua, mikä havaittiin passiivisen sekä kontrastivesihoidon jälkeen. (Ingram ym. 2009.)

sen päättymisestä. Nopeutunutta palautumista ei havaittu termoneutraalin vesihoidon, kontrastihoidon tai passiivisen palautumisen jälkeen. 24 tuntia kuormituksesta MVC-tulos oli edelleen alentunut termoneutraalin vesihoidon ja passiivisen palautumisen jälkeen, mutta ei kylmävesihoidon ja kontrastivesihoidon jälkeen. (Pournot ym. 2011.)

Kylmävesihoidon (15 °C, 12 min) ei puolestaan havaittu parantavan polvenojentajien MVC-tulosta pudotushyppyjen jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen (Goodall & Howatson 2008). Sellwood ym. (2007) eivät myöskään havainneet polvenojentajien MVC:ssa eivätkä yhdenjalan hyppytestissä eroa verrattuna termoneutraaliin vesiupotukseen (24 °C vs 5 °C, 3 x 1 min). Heidän kuormituksessaan tehtiin eksentrisiä polvenojennuksia. Vieira ym. (2016) havaitsivat kylmävesihoidon edistävän esikevennyshyppytuloksen palautumista, mutta eivät isometrisen maksimivoiman palautumista. Tutkijoiden mukaan vaikuttaisi siltä, että kylmävesihoito edistäisi venymis-lyhenemis-syklin palautumista, mutta ei lihaksen maksimaalisen supistuskapasiteetin palautumista (Vieira ym. 2016). Myös Leeder ym. (2012) havaitsivat meta-analyyssissään, että kylmävesihoito edisti lihasten tehontuottokyvyn palautumista (vaikutuksen koko 0.60), mutta ei edistänyt lihasten voimantuottokyvyn palautumista (vaikutuksen koko 0.13). Tutkijoiden mukaan tämä voisi johtua tyyppin 2 lihassolujen nopeammasta palautumisesta kylmävesihoidon myötä (Leeder ym. 2012).

Poppendieck ym. (2013) havaitsivat katsausartikkelissaan, jossa koehenkilöinä oli urheilijoita, että kylmävesihoito edisti ainoastaan hieman voimantuottokyvyn palautumista (vaikutuksen koko 0.10) sekä hyppysuoritusten palautumista (vaikutuksen koko 0.15). Tutkijat havaitsivat kuitenkin kylmävesihoidon edistävän sprinttisuorituskyvyn palautumista kohtalaisesti (vaikutuksen koko 0.69). Kylmävesihoidon suurempi hyöty sprinttisuorituskyvylle johtui kuitenkin pääosin siitä, että kahdessa tutkimuksessa (Elias ym. 2012, Vaile ym. 2008b) kylmävesihoito oli edistänyt sprinttisuorituskykyä erityisen paljon. Todennäköisesti siksi, että näissä tutkimuksissa oli käytetty koko vartalon kylmävesihoitoa. Muissa katsausartikkelin huomioimissa tutkimuksissa koko vartalon kylmävesihoitoa oli käytetty ainoastaan yhdessä tutkimuksessa. Ilman näitä kahta tutkimusta hyöty olisi ollut huomattavasti pienempi (vaikutuksen koko 0.20). Sprinttisuorituskyky on riippuvainen lihasten voimantuottokyvystä ja neuromuskulaarisesti koordinaatiosta (Delecluse 1997). Koska kylmävesihoito edistää vain hieman tai ei ollenkaan voimantuottokyvyn palautumista, voisi sprinttisuorituskyvyn palautuminen johtua neuromuskulaarisen koordinaation palautumisesta (Poppendieck ym. 2013).

6.1.3 Kylmävesimenetelmän vaikutus lihassoluvaurioihin

Kylmävesihoidon on esitetty heikentävän EIMD:ta paikallisen kylmentämisen, hydrostaattisen paineen sekä verenkierron uudelleen jakautumisen aiheuttamien mekanismien avulla (Ihsan ym. 2016, Wilcock ym. 2006). Lihasten turvotuksen ja tulehdustilan heikentäminen kylmävesihoidon avulla auttaa puolestaan heikentämään DOMS:a. Lisäksi kylmävesihoito lieventää kivuntuntemusta ja voi näin vaikuttaa DOMS:n kokemiseen. (Cheung ym. 2003.)

Kylmävesihoidon vaikutuksista EIMD:n ja DOMS:n ehkäisemisessä on saatu ristiriitaisia tuloksia (Ihsan ym. 2016). Yhden nivelen eksentrisiä supistuksia sisältävän voimaharjoitusten jälkeen suoritettua kylmävesihoidon ei ole havaittu ehkäisevän lihassoluvaurioista viestivien tekijöiden ilmenemistä. Näitä tekijöitä ovat lihasproteiinien (CK) vuoto verenkiertoon (Goodall & Howatson 2008, Sellwood ym. 2007), maksimaalisen tahdonalaisen voimantuoton heikkeneminen (Goodall & Howatson 2008, Paddon-Jones & Quigley 1998, Sellwood ym. 2007), koetun DOMS:n ilmeneminen (Goodall & Howatson 2008, Paddon-Jones & Quigley 1998, Sellwood ym. 2007) sekä turvotus (Goodall & Howatson 2008, Easton & Peters 1999, Paddon-Jones & Quigley 1998, Sellwood ym. 2007). Toisaalta Vaile ym. (2008c) havaitsivat kylmävesihoidon laskevan veren CK:n aktiivisuutta sekä reiden turvotusta eksentrisen voimaharjoituksen jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen. Myös isometrisen voimantuoton heikkeneminen oli merkitsevästi pienempää kuin passiivisen palautumisen jälkeen.

Kylmävesihoidon on kuitenkin havaittu ehkäisevän lihassoluvaurioita kestävyys- ja joukkueurheilun kaltaisten kuormitusten jälkeen. Kyseisiä kuormituksia käyttäneissä tutkimuksissa havaittiin edistynyt suorituskyky (Brophy-Williams ym. 2011, Elias ym. 2012, Ingram ym. 2009), myoproteiinien, kuten kreatinikinaasin sekä myoglobiinin, puhdistuma verestä (Ascensao ym. 2011, Bailey ym. 2007, Minett ym. 2014, Pournot ym. 2011), heikentynyt tulehdusvaste (Ascensao ym. 2011, Brophy-Williams ym. 2011, Pournot ym. 2011), MVC:n nopeutunut palautuminen (Ascensao ym. 2011, Bailey ym. 2007, Minett ym. 2014, Pournot ym. 2011) sekä itse koetun DOMS:n heikkeneminen (Ascensao ym. Bailey ym. 2007, 2011, Elias ym. 2012, Ingram ym. 2009, Minett ym. 2014, Pointon ym. 2012, Rowsell ym. 2014) verrattuna muihin vesiupotushoitoihin ja passiiviseen palautumiseen. Lisäksi King & Duffield (2009) havaitsivat lihasarkuuden olevan merkitsevästi pienempää kylmävesihoidon jälkeen verrattuna passiiviseen sekä aktiiviseen palautumiseen.

On huomioitava, että vaikka MVC:a pidetään myofiibereiden vaurioiden ja EIMD:sta palautumisen parhaana markkerina, se ei kuitenkaan kerro tehon tuottokyvyn ja urheilusuoritukseen vaadittavien ominaisuuksien palautumisesta (Ihsan ym. 2016). Esimerkiksi Ingram ym. (2009) havaitsivat toistuvien sprinttijuoksujen palautuvan kylmävesihoidon jälkeen, mutta eivät havainneet MVC:n palautumisessa edistystä.

Leederin ym. (2012) meta-analyysissä havaittiin kylmävesihoidon edistävän koetun DOMS:n palautumista (vaikutus koko 0.53), mutta eivät havainneet kylmävesihoidon juuri vaikuttavan CK-aktiivisuuteen (vaikutus koko 0.22). Veren CK-aktiivisuuden on havaittu laskevan kylmävesihoidon jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen (Easton & Peters 1999, Minett ym. 2014, Pournot ym. 2011) ja muihin vesiupotushoitoihin (Ascensao ym. 2011, Pournot ym. 2011). Myös CRP:n on havaittu olevan alhaisempi kylmävesihoidon jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen (Brophy-Williams ym. 2011). Osassa tutkimuksista CK-aktiivisuudessa ja CRP:ssa ei ole kuitenkaan havaittu eroa kylmävesihoidon ja passiivisen palautumisen välillä (Bailey ym. 2007, Ingram ym. 2009, Pointon ym. 2012). Lisäksi Bailey ym. (2007) ovat havainneet kylmävesihoidon jälkeen alhaisemman myoglobiinipitoisuuden. Tulee kuitenkin muistaa, että intramuskulaaristen proteiinien käyttö ei korreloi vahvasti funktionaalisen heikkenemisen kanssa (Warren ym. 1999).

6.1.4 Kylmävesimenetelmän vaikutus stressihormonien ja testosteronin pitoisuuteen

Harjoitukset aiheuttavat solujen ja organellien homeostaasin häiriintymistä (Kuipers & Keizer 1988), mihin elimistö reagoi erittämällä hormoneja, jotta homeostaasi saadaan palautettua (de Graaf-Roelfsema ym. 2007). Harjoituksen jälkeiset hormonaaliset tapahtumat voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Välittömästi harjoituksen jälkeen voidaan havaita katabolinen vaihe, jolloin ilmenee väsymystä sekä hormonaalisia ja immunologisia muutoksia. (de Graaf-Roelfsema ym. 2007.) Tätä seuraa anabolinen vaihe, jolloin adaptiivinen kapasiteetti on suurempi ja suorituskyky paranee (Urhausen ym. 1995).

Kortisolilla on tärkeä rooli katabolisen vaiheen aikana. Se stimuloi substraattien käyttöönottoa edistämällä glukoneogeneesiä sekä vapaiden rasvahappojen mobilisointia. Harjoituksen aikana glukoosin ehtyessä myös aminohappoja voidaan käyttää energianlähteenä. (de Graaf-

Roelfsema ym. 2007.) Harjoituksen jälkeisten katabolisten muutosten tarkoituksena on lisätä vapaiden aminohappojen määrää (Viru & Viru 2004), mikä mahdollistaa lisääntyneen proteiinisynteesin (de Graaf-Roelfsema ym. 2007). Täten katabolisten reaktioiden täytyy alkaa harjoituksen aikana, jotta saadaan stimulus harjoituksen jälkeisille adaptaatioille, kuten proteiinisynteesille (Viru & Viru 2004). Kortisolipitoisuuden onkin havaittu kasvavan välittömästi harjoituksen jälkeen sekä laskevan merkittävästi 6–10 tuntia harjoituksen jälkeen (Kern ym. 1995).

Testosteroni on anabolinen hormoni, joka stimuloi proteiinisynteesiä ja inhiboi proteiinien hajotusta. Se on tärkeä hormoni harjoitusten jälkeisten adaptaatioiden muodostumisessa. (Vingren ym. 2010.) Testosteronipitoisuus kasvaa kuormituksen aikana. Pitoisuuden kasvu on sitä suurempaa, mitä korkeampi harjoituksen intensiteetti on. (Lane & Hackeny 2014.) Kuormituksen jälkeen testosteronipitoisuus laskee jopa alle lepotason tunneiksi tai päiviksi riippuen kuormituksesta (Lac & Berthon 2000, Lutoslawska ym. 1991, Shearer ym. 2015), mikä on merkki katabolisesta vaiheesta (Lac & Berthon 2000). Tämän jälkeen testosteronipitoisuuden on kuitenkin havaittu palautuvan lepotasolle tai jopa yli lepotason, jolloin anabolinen vaihe käynnistyy (Lac & Berthon 2000). Kortisolin ja testosteronin lisäksi voidaan käyttää testosteroni-kortisoli-suhdetta, joka kertoo anabolisen ja katabolisen tilan tasapainosta. Suhde laskee harjoituksen intensiteetin ja keston lisääntyessä. (Urhausen ym. 1995.)

Adrenaliinia ja noradrenaliinia eritetään sympaattisen hermoston kontrolloimana lisämunuaisytimestä (Zouhal ym. 2008). Niiden erityys lisääntyy stressaavissa tilanteissa, kuten harjoituksen aikana (Jacob ym. 2004, Kjær 1998). Adrenaliinin ja noradrenaliinin tiedetään stimuloivan hengityksen, sydämen, aineenvaihdunnan ja lämmönsäätelyn toimintoja. Kuormituksen aikana ne ovat mukana hapen sekä ravintoaineiden kuljetuksessa aktiivisille lihaksille. Kuormituksen aikaisiin katekolamiinien pitoisuuden muutoksiin vaikuttavat sekä kuormituksen kesto että intensiteetti. Kuormituksen aiheuttama stressi on voimakkaasti yhteydessä kuormituksen intensiteettiin, joten intensiteetti vaikuttaa todennäköisesti päätekijänä katekolamiinien vasteisiin. (Zouhal ym. 2008.) Lisäksi katekolamiinien pitoisuuksiin vaikuttavat kehon asento levossa ja kuormituksessa (Zouhal ym. 2008) sekä harjoittelutausta (Jacob ym. 2004).

Kylmävesihoidon havaittiin nostavan välittömästi upotuksen jälkeen veren kortisoli- sekä noradrenaliinipitoisuutta (Kauppinen ym. 1989). Hermanussen ym. (1995) havaitsivat 30 mi-

nuuttia kylmävesihoidon jälkeen kohonneen kortisolipitoisuuden. Pitoisuus kuitenkin palautui lepotasolle tunti upotuksen jälkeen. Myös Heikura (2015) havaitsi kortisolipitoisuuden olevan korkeampi kuormitusta seuranneen kylmävesihoidon jälkeen verrattuna aktiiviseen palautumiseen, kun palautusta oli kulunut 35 minuuttia. Kun kuormituksen päättymisestä oli kulunut tunti, kortisolipitoisuus oli laskenut kummankin palautumismuodon jälkeen alle kuormituksen jälkeisen pitoisuuden. Aktiivisen palautumisen jälkeen kortisolipitoisuuden lasku oli kuitenkin suurempi. Lisäksi kylmävesihoidon jälkeen tunnin palautumisen aikana veren testosteronipitoisuus laski tilastollisesti merkitsevästi. Aktiivisen palautumisen jälkeen ei havaittu merkitsevää laskua testosteronipitoisuudessa. Vuorokauden palautumisen jälkeen kummankaan hormonin pitoisuudessa ei havaittua eroa palautumismenetelmien välillä. (Heikura 2015.)

Halson ym. (2008) havaitsivat pyöräilykuormituksen jälkeen tehdyn kylmävesihoidon nostavan kortisolipitoisuutta sekä laskevan testosteroni-, adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuutta, kun verinäytteet otettiin 40 minuuttia kuormituksen jälkeen. Tutkijat eivät kuitenkaan havainneet eroa kylmävesihoidon ja passiivisen palautumisen välillä. Minett ym. (2014) puolestaan havaitsivat alhaisemman kortisolipitoisuuden kylmävesihoidon jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen, kun kuormituksesta oli kulunut tunti. Lisäksi testosteronipitoisuus ei ollut muuttunut lähtötilanteesta kylmävesihoidon jälkeen, mutta passiivisen palautumisen jälkeen se oli kohonnut lepotasosta.

6.1.5 Kylmävesimenetelmän toteutus

Kirjallisuudessa kylmävesihoidon lämpötilana on käytetty tavallisesti joko 5 °C:n (Paddon-Jones & Quigley 1998, Sellwood ym. 2007 ja Yeargin ym. 2006) tai 10–15 °C:n lämpötilaa (Bailey ym. 2007, Brophy-Williams ym. 2011, Goodall & Howatson 2008, Ingram ym. 2009, Lane & Wenger 2004, Montgomery ym. 2008, Pournot ym. 2011, Vaile ym. 2008a, Vaile ym. 2008b, Vaile ym. 2008c, Yeargin ym. 2006). Tutkimukset, joissa kylmävesihoidon on havaittu edistävän palautumista, ovat käyttäneet tavallisesti 10–15 °C:n lämpötilaa (Bailey ym. 2007, Brophy-Williams ym. 2011, Ingram ym. 2009, Lane & Wenger 2004, Montgomery ym. 2008, Pournot ym. 2011, Vaile ym. 2008a, Vaile ym. 2008b, Yeargin ym. 2006).

Kylmävesihoidossa käytetyn lämpötilan vaikutusta palautumiseen on kuitenkin tutkittu vähän. Yeargin ym. (2006) havaitsivat, että 14 °C:n lämpötilan edisti kestävyys suorituskyvyn palau-

tumista kahden juoksusuorituksen välissä enemmän kuin 5 °C:n lämpötila verrattuna kontrolliryhmään. Vaile ym. (2008a) eivät puolestaan havainneet eroa kestävyysuorituskyvyn palautumisessa, kun vedenlämpötilana käytettiin 10, 15 ja 20 °C:sta. On kuitenkin huomioitava, että Yeargin ym. (2006) sekä Vaile ym. (2008a) tutkimuksen suorituskykymittaukset ovat suoritettu kuumassa lämpötilassa ja noin 30 minuuttia kylmävesihoidon jälkeen. Tällöin kehon lämpötilan viilentäminen ennen kuumassa suoritettua kestävyysuoritusta voi parantaa tuloksia (Quod ym. 2006). Yaergin ym. (2006) mukaan 5 °C:n lämpötila on voinut viilentää koehenkilöiden kehoa jo liian paljon optimaalisen suorituskyvyn kannalta. On myös huomioitava, ettei heidän tutkimuksissaan mitattu suorituskyvyn muutoksia seuraavina päivinä kylmävesihoidon tekemisestä (Versey ym. 2013).

Optimaalista vedenlämpötilaa etsittiin myös tutkimuksessa, jossa pudotushyppyjä sisältänyt kuormitus aiheutti lihassoluvaurioita. 15 °C:n kylmävesihoito edisti esikevennyshyppyn tuloksen palautumista verrattuna 5 °C:n kylmävesihoitoon sekä kontrolliryhmään. Maksimaalisen isometrisen voimantuoton palautumisessa ei kuitenkaan havaittu eroa ryhmien välillä. Lisäksi kreatiinikinaasin aktiivisuus palautui 15 °C:n kylmävesihoidon jälkeen nopeammin lähtötasolle. (Vieira ym. 2016.) Poppendieckin ym. (2013) mukaan 12–15 °C:n lämpötilalla toteutettu kylmävesihoito olisi tehokkainta, eikä lämpötilan lasku tästä tutkijoiden mukaan edistäisi enempää palautumista.

Peiffer ym. (2009) tutkivat puolestaan optimaalista kylmävesihoidon kestoja. Tutkimuksessa vertailtiin 5, 10 ja 15 minuutin vesiupotusta 14 °C:n lämpötilassa. Mikään eri vesiupotuksista ei kuitenkaan edistänyt polvenojentajien maksimaalista isometristä ja isokineettistä vääntömomentin palautumista. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että voimatestit suoritettiin 10–25 minuuttia kylmävesihoidon jälkeen, jolloin koehenkilöt olivat vielä liian kylmissään suorittaakseen maksimaalisia voimatestejä optimaalisesti. (Peiffer ym. 2009.) Tutkimuksissa, joissa kylmävesihoito on edistänyt suorituskyvyn palautumista, on käytetty 5–15 minuutin kylmävesihoitoa (Bailey ym. 2007, Brophy-Williams ym. 2011, Ingram ym. 2009, Lane & Wenger 2004, Montgomery ym. 2008, Vaile ym. 2008b, Vaile ym. 2008c, Yeargin ym. 2006). On kuitenkin huomioitava, että myös niissä tutkimuksissa, joissa kylmävesihoidon ei ole havaittu edistävän palautumista, upotusten kesto on ollut 5–15 minuuttia (Crowe ym. 2007, Peiffer ym. 2009, Stacey ym. 2010). Optimaaliseen kylmävesihoidon keston vaikuttaa myös käytetty veden lämpötila (Versey ym. 2013), sillä mitä kylmempi veden lämpötila on, sitä nopeammin kehon lämpötila laskee (Vaile ym. 2008a).

Kylmävesihoidon ajoitus voi vaikuttaa palautumiseen. Useimmissa tutkimuksissa kylmävesiupotus on tehty 30 minuutin sisällä kuormituksen päättymisestä. (Versey ym. 2013.) Brophy-Williams ym. (2011) tutkivat välittömästi kuormituksen jälkeen suoritettua kylmävesihoidon sekä kolme tuntia kuormituksen jälkeen suoritettua kylmävesihoidon vaikutusta palautumiseen. Välittömästi suoritettu kylmävesihoito edisti palautumista enemmän kuin viivästynyt kylmävesihoito. Osassa tutkimuksista on myös seurattu kylmävesihoidon suorittamista useampana kuormitusta seuraavana päivänä. Ei ole kuitenkaan tietoa onko useamman kerran suoritettu kylmävesihoito tehokkaampaa kuin kerran suoritettu vesiupotus. (Versey ym. 2013.)

Kylmävesihoidon vaikutusta palautumiseen on tutkittu välittömästi kylmävesihoidon jälkeisestä ajasta useisiin päiviin (Versey ym. 2013). Poppendieck ym. (2013) katsausartikkelin mukaan suurin hyöty kylmävesihoidosta saavutetaan vasta 2–4 päivää kuormituksen ja kylmävesihoidon jälkeen. Puolestaan tutkimuksissa, joissa kylmävesihoidon on havaittu heikentävän suorituskykyä, korkea intensiteettisiä ja räjähtäviä suorituksia on suoritettu alle 45 minuuttia kylmävesihoidon päättymisestä (Crowe ym. 2007, Parouty ym. 2010, Peiffer ym. 2009b). Tällaisia suorituksia ennen tulisi siis välttää kylmävesihoitoa 45 minuutin sisällä suorituksen alkamisesta, sillä kylmävesihoito laskee kehon lämpötilaa (Peiffer ym. 2009b). On havaittu, että kohonnut kehon lämpötila voi edistää suorituskykyä (Fradkin ym. 2010). Kehon viilentäminen ennen suoritusta voi kuitenkin edistää suorituskykyä pitkissä suorituskykytesteissä sekä testeissä, jotka suoritetaan kuumassa lämpötilassa (Quod ym. 2006).

Veteen upottautuminen päätä ja kaulaa lukuun ottamatta vaikuttaisi tehokkaamalta kuin vain kehonosan upottaminen veteen. Tällöin kylmävesihoito aiheuttaa suuremman kehon lämpötilan laskun. Lisäksi keho altistuu suuremmalle hydrostaattiselle paineelle koko vartalon vesiupotuksissa. (Poppendieck ym. 2013.)

6.2. Kontrastimenetelmän vaikutus palautumiseen ja suorituskykyyn

6.2.1 Kontrastimenetelmän vaikutus kestävyys suorituskykyyn

Kontrastihoidon vaikutuksista kestävyys suorituskyvyn palautumiseen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Kontrastivesihoidon havaittiin parantavan pyöräilijöiden suorituskykyä verrattuna

kuumavesihoitoon ja passiiviseen palautumiseen, kun tutkittavat suorittivat korkeaintensiteettisiä pyöräily-suorituksia viitenä peräkkäisenä päivänä. Kontrastihoidoa tehtiin neljänä peräkkäisenä päivänä (1 min 38 °C ja 1 min 15 °C, 14 minuutin ajan). Ennen kutakin palautumismenetelmää pyöräilijät suorittivat viiden minuutin aktiivisen palautumisen polkupyöräergometrillä. Tutkittavien aika-ajosuoritus parani päivinä 2–5 tilastollisesti merkitsevästi verrattuna passiiviseen palautumiseen. Lisäksi kontrastivesihoidon jälkeen tutkittavien sprinttisuorituskyky oli neljäntenä ja viidentenä päivänä parempi kuin kuumavesihoidon ja passiivisen palautumisen jälkeen. Kylmävesihoidon havaittiin olevan yhtä tehokasta palautumisen kannalta kuin kontrastihoidon. (Vaile ym. 2008b.)

Pournot ym. (2011) havaitsivat kontrastihoidon edistävän 30 sekunnin maksimaalisen soutu-suorituksen palautumista soutu ja esikevennyshyppyjä sisältäneen intervallikuormituksen jälkeen, kun suorituskykyä mitattiin tunti kuormituksen päättymisestä. Kylmävesihoito, termoneutraalivesiupotus sekä passiivinen palautuminen eivät edistäneet soutu-suorituksen palautumista kyseisessä aikapisteessä. Kuitenkin jo 24 tuntia kuormituksen päättymisestä kaikkien palautumismenetelmien jälkeen suorituskyky oli palautunut kuormitusta edeltäneelle tasolle. (Pournot ym. 2011.) Stanley ym. (2012) eivät havainneet korkea intensiteettisen pyöräilykuormituksen jälkeen suoritettua kontrastivesihoidon (4 x 1 min 14 °C, 3 x 2 min 36 °C) parantavan pyöräilykuormituksen suorituskykyä, joka suoritettiin kolme tuntia kuormituksen päättymisestä, verrattuna passiiviseen palautumiseen.

Kontrastimenetelmän vaikutus anaerobisen energiantuoton palautumiseen. Kontrastimenetelmän on havaittu edistävän laktaattipitoisuuden palautumista verrattuna passiiviseen palautumiseen (Coffey ym. 2004) sekä aktiiviseen palautumiseen (King & Duffield 2009). Toisaalta Coffey ym. (2004) havaitsivat, että laktaattipitoisuuden palautuminen oli yhtä tehokasta niin kontrastihoidon kuin aktiivisen palautumisenkin jälkeen. Tutkijat eivät havainneet pH:n palautumisessa eroa kontrastihoidon jälkeen verrattuna passiiviseen ja aktiiviseen palautumiseen.

6.2.2 Kontrastimenetelmän vaikutus voima- ja teho-ominaisuuksiin

Kontrastimenetelmän vaikutuksista voima- ja teho-ominaisuuksien palautumiseen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Positiivisia tuloksia saatiin, kun kontrastihoidon (1 min 38 °C ja 1 min 15 °C, 14 minuutin ajan) havaittiin edistävän eksentrisen voimaharjoituksen jälkeistä palau-

tumista verrattuna passiiviseen palautumiseen. Niin isometrisen kyykyn tulos kuin vertikaalihypyn tulos lisäpainoilla 24–72 tuntia kuormituksen jälkeen heikkenivät merkitsevästi vähemmän kuin passiivisen palautumisen jälkeen. Palautumismenetelmät toistettiin päivittäin jokaisen mittauskerran jälkeen. (Vaile ym. 2008c.) Myös Vaile ym. (2007) havaitsivat eksentrisen voimaharjoituksen jälkeen suoritettujen isometrisen kyykkytuloksen sekä vertikaalihypyn tuloksen lisäpainoilla heikentyvän vähemmän kontrastihoidon jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen.

Pournot ym. (2011) havaitsivat kontrastihoidon edistävän polvenojentajien MVC-tuloksen palautumista soutu sisältäneen intervallikuormituksen jälkeen, kun suorituskykyä mitattiin 24 tuntia kuormituksen päättymisestä. Kontrastivesihoito ei kuitenkaan edistänyt palautumista, kun mittaukset tehtiin tunti kuormituksen päättymisestä. Termoneutraalivesiupotus sekä passiivinen palautuminen ei edistänyt MVC:n palautumista kummassakaan aikapisteessä, mutta kylmäveihoito edisti palautumista jo, kun kuormituksesta oli kulunut tunti. Lisäksi kylmävesihoito oli tehokkaampi esikevennyshypyn palautumisen edistämisessä. (Pournot ym. 2011.)

Alaraajojen MVC:n sekä toistuvien sprinttien suorituskyvyn palautuminen simuloidusta joukkuelajin harjoituksesta ja uupumukseen asti suoritetusta sukkulajuoksusta ei edistynyt kontrastihoidon myötä (10 °C 2 min & 40 °C 2 min x 3) verrattuna passiiviseen palautumiseen (Ingram ym. 2009). Lisäksi eksentrisen voimaharjoituksen jälkeen suoritettu kontrastihoido (4 x 1 min 8–10 °C, 3 x 3 min 37–40 °C) ei edistänyt esikevennyshypyn tai 30 m juoksun palautumista verrattuna passiiviseen palautumiseen (French ym. 2008). Myös Kuligowski ym. (1998) eivät havainneet kontrastihoidon (3 min 39 °C & 1 min 13 °C, 24 minuutin ajan, jossa pelkkä käsi upotettiin) edistävän MVC:n palautumista eksentrisestä voimaharjoituksesta.

6.2.3 Kontrastimenetelmän vaikutus lihassoluvaurioihin

Kontrastihoidon vaikutuksista harjoituksen aiheuttamaan lihasarkuuteen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Sen ei ole myöskään havaittu ehkäisevän myoproteiinien vapautumista verenkiertoon (French ym. 2008, Ingram ym. 2009, Vaile ym. 2007). Olisi kuitenkin viitteitä siitä, että kontrastihoido voisi ehkäistä turvotuksen ilmenemistä (Vaile ym. 2007, Vaile ym. 2008c).

Vaile ym. (2008c) havaitsivat kontrastivesihoidon pienentävän reiden ympäräsmittaa 24–72 tuntia eksentrisen voimaharjoituksen jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen, kun palautumismenetelmää toistettiin jokaisen mittauskerran jälkeen. Lisäksi he havaitsivat kontrastivesihoidon vähentävän kivun tunnetta VAS-asteikolla arvioituna. Kontrastivesihoidon ei kuitenkaan havaittu vaikuttavan veren CK-aktiivisuuteen tai myoglobiinipitoisuuteen. (Vaile ym. 2008c.) Myös Kuligowski ym. (1998) havaitsivat kontrastihoidon pienentävän koettua lihasarkuutta eksentrisen voimaharjoituksen jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen sekä kuumavesihoitoon. Pournot ym. (2011) eivät havainneet eroa itse arvioitun DOMS:n ilmenemisessä kontrastihoidon, kylmävesihoidon, termoneutraalin vesiupotuksen ja passiivisen palautumisen välillä, kun tutkittavat olivat suorittaneet intervallikuormituksen. He havaitsivat myös veren CK-aktiivisuuden kasvavan tilastollisesti merkitsevästi kontrastivesihoidon jälkeen, kuten termoneutraalin vesihoidon kuin passiivisen palautumisenkin jälkeen, verrattuna kylmävesihoitoon.

Kontrastihoidon ei havaittu vaikuttavan arvioituun lihasarkuuteen simuloitun joukkuelajin harjoituksen ja sukkulajuoksun jälkeen verrattuna passiiviseen palautumiseen. Lisäksi veren CK- ja CRP-pitoisuudessa ei havaittu eroa. (Ingram ym. 2009.) Vaile ym. (2007) eivät myöskään havainneet kontrastihoidon vaikuttavan itse arvioituun lihasarkuuteen eksentrisen voimaharjoituksen jälkeen. Lisäksi CK-aktiivisuudessa ei havaittu eroa kontrastihoidon ja passiivisen palautumisen välillä. Reiden ympäräsmitta oli kuitenkin merkitsevästi pienempi kontrastivesihoidon jälkeen. (Vaile ym. 2007.) French ym. (2008) eivät havainneet eroa raajan ympäräsmittassa, veren CK- ja myoglobiinipitoisuudessa eivätkä itse arvioitussa lihasarkuuden kokemisessa.

6.2.4 Kontrastimenetelmän toteutus

On ehdotettu, että kontrastihoidon hyöty johtuisi äärimmäisten lämpötilojen välillä siirtymisestä (Cochrane 2004). Olisi siis loogista, että kontrastihoido sisältäisi lyhyitä upotuksia (noin 1 min) sekä tiheää vaihtelua kuuman ja kylmän veden välillä (Versey ym. 2013). Tutkimuksissa, joissa kontrastihoidosta ei havaittu hyötyä suorituskyvyn kannalta, kuumavesiupotukset kestivät 2–3 kertaa pidempään kuin kylmävesiupotukset (French ym. 2008, Kuligowski ym. 1998, Stanley ym. 2012). Suorituskykyä edistäviä tuloksia saatiin puolestaan tutkimuksista,

joissa molemmat upotukset kestivät 1–1.5 minuuttia (Pournot ym. 2011, Vaile 2008b, Vaile 2008c).

Versey ym. (2011, 2012) tutkivat kontrastihoidon kokonaiskeston vaikutusta suorituskyvyn palautumiseen. Kahden pyöräilykuormituksen välissä tehtiin joko 6 min, 12 min tai 18 min kontrastihoido (1 min 38 °C ja 1 min 15 °C) tai passiivinen palautuminen istuen. 6 minuutin kontrastihoido paransi aika-ajosuorituksen tulosta verrattuna passiiviseen palautumiseen. Sekä 6 min että 12 min kontrastivesihoido paransi sprinttisuorituskykyä verrattuna passiiviseen palautumiseen. Kaikki kontrastihoidot heikensivät koko kehon koettua väsymystä sekä lihasarkuuden tunnetta. (Versey ym. 2011.) Versey ym. (2012) tutkivat samanlaisten kontrastivesihoidojen vaikutusta kahden juoksukuormituksen välissä. 3000 m juoksun aika erosi ainoastaan 6 minuutin kontrastihoidon jälkeen tilastollisesti merkitsevästi passiivisesta palautumisesta. Kuitenkin jokaisen kontrastihoidon jälkeen koettu lihasarkuuden tunne oli pienempää kuin passiivisen palautumisen jälkeen. Kummassakaan tutkimuksessa ei siis havittu kontrastihoidon aiheuttamaa annos-vaste-suhdetta. Lisäksi tutkijoiden mukaan 6–12 minuutin kontrastihoido vaikuttaa tehokkaammalta kuin 18 minuutin kontrastihoido. (Versey ym. 2011, Versey ym. 2012.)

Vaikuttaa myös siltä, että mitä suuremman osan kehosta upottaa vedenpinnan alapuolella kontrastihoidon aikana, sitä suurempia fysiologisia vasteita joko äärimmäiset lämpötilat tai hydrostaattinen paine saa aikaiseksi (Myrer ym. 1994). Onkin havaittu, että tutkimuksissa joissa upotettiin ainoastaan pieni osa kehosta, suorituskyvyssä ei havaittu edistynyttä palautumista (Ingram ym. 2009, Kuligowski ym. 1998). Kun taas tutkimuksissa, joissa upotettiin päätä ja niska lukuun ottamatta veden alle, saatiin palautumista edistäviä tuloksia (Vaile ym. 2008b, Vaile ym. 2008c).

Kontrastivesihoitoa voidaan toteuttaa myös siten, että kuumavesiupotus korvataan kuumalla suihkulla. Usein tämänkaltaisissa tutkimuksissa kontrastihoidon ei ole havaittu edistävän palautumista. (Hamlin 2007, King & Duffield 2009, Kinugasa & Kilding 2009.) Suihkua käytämällä nimittäin menetetään hydrostaattisen paineen hyöty. Lisäksi pienempi pinta-ala ihosta altistuu kuumalle vedelle samanaikaisesti. (Versey ym. 2013.)

Cochranen (2004) katsausartikkelissa todettiin, että kontrastihoido tulisi lopettaa kylmävesiupotukseen, jotta vasokonstriktio edistyisi. Toisaalta uudemmissa tutkimuksissa siitä tuli-

siko kontrastihoidon lopettaminen kylmävaikeuksien tai kuumavesihoitoon, on saatu ristiriitaisia tuloksia, eikä sen uskota vaikuttavan suorituskyvyn palautumiseen (Versey ym. 2013). Esimerkiksi Higgins ym. (2011) ja Vaile ym. (2007) havaitsivat kontrastihoidon edistävän palautumista ja he lopettivat kontrastihoidon kuumavesiupotukseen. Toisaalta Vaile ym. (2008c), Vaile ym. (2008b), Versey ym. (2011) ja Versey ym. (2012) havaitsivat edistyneen palautumisen lopettamalla kontrastihoidon kylmävesiupotukseen. Lisäksi tutkimuksissa, joissa kontrastihoidon ei ole havaittu edistävän palautumista, on palautumismenetelmän käyttö lopetettu sekä kylmään (French ym. 2008, Kuligowski ym. 1998 ja Stanely ym. 2012) että kuumaan altaaseen (Ingram ym. 2009).

6.3 Lämpöneutraali vesiupotus

Termoneutraalina vedenlämpötilana pidetään 35 °C:sta, sillä se ei aiheuta keskivartalon lämpötilan muutosta pitkässäkin vesiupotushoidossa (Craig & Dvorak 1966). Kirjallisuudessa veden lämpötilana on kuitenkin usein käytetty uima-altaiden tavallista lämpötilaa 24 °C:sta alle 36 °C:een (Versey ym. 2013). Termoneutraali vesiupotushoito kestää usein 15–30 minuuttia. (Versey ym. 2013.) Muista vesiupotusmenetelmistä poiketen termoneutraalissa vesiupotuksessa vedessä ei olla tavallisesti passiivisesti, vaan uidaan, kävellään tai harrastetaan jotakin muuta aerobista harjoittelua (Cortis ym. 2010, Dawson ym. 2005, Lum ym. 2010, Takahashi ym. 2006, Tessitore ym. 2008, Tessitore ym. 2007).

Termoneutraaleja vesiupotushoitoja käsittelevissä tutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia palautumisen edistymisestä. (Versey ym. 2013.) Dawson ym. (2005) havaitsivat 15 tuntia australialaisen jalkapallo-ottelun jälkeen vertikaalihypyjen tuloksen palautumisen edistyneen termoneutraalin vesiupotuksen myötä verrattuna passiiviseen palautumiseen. He eivät kuitenkaan havainneet palautumismenetelmien välillä eroa verrattuna pyöräilyn sprinttisuorituskykyyn. Takahashi ym. (2006) havaitsivat, että termoneutraalivesihoito ja vedessä suoritettu aerobinen liikunta auttoivat säilyttämään jalkalihasten tehon tuottoa alamäkijuoksun jälkeen, kun palautumista verrattiin passiiviseen palautumiseen. Cortis ym. (2010), Tessitore ym. (2008) sekä Tessitore ym. (2007) eivät puolestaan havainneet termoneutraalin vesiupotuksen ja altaassa suoritettua aerobista liikunnan edistyneen vertikaalihypyjen sekä 10 m juoksusuoritusten palautumista verrattuna passiiviseen sekä aktiiviseen palautumiseen.

On siis hieman näyttöä siitä, että termoneutraalivesiupotus voisi edistää räjähtävän voiman tuoton palautumista (Dawson ym. 2005, Takahashi ym. 2006). Tästä on kuitenkin ristiriitaisia tutkimustuloksia ja tutkimuksia aiheesta on melko vähän. Myös alhaisella intensiteetillä suoritettu aerobinen liikunta voi vaikuttaa palautumiseen. (Versey ym. 2013.)

Termoneutraalin vesiupotuksen vaikutus lihassoluvaurioihin. Termoneutraalin vesiupotuksen (10 min, 35 °C) jälkeen lihassoluvaurioiden markkereiden, CK-aktiivisuuden, myoglobiinipitoisuuden, CRP:n ja DOMS:n, havaittiin olevan korkeammalla kuin kylmävesihoidon (10 min, 10 °C) jälkeen. Lisäksi MVC:n havaittiin olevan heikompi 24 tunnin palautumisen jälkeen. (Ascensao ym. 2011.) Toisaalta Sellwood ym. (2007) eivät havainneet eroa maksimaalisessa voimantuotossa, turvotuksessa ja CK-aktiivisuudessa termoneutraalin vesiupotuksen (3 x 1 min, 24 °C) ja kylmävesihoidon (3 x 1 min, 5 °C) välillä. Termoneutraalin vesiupotuksen ei havaittu myöskään edistävän CK-aktiivisuuden ja MVC:n palautumista verrattuna passiiviseen palautumiseen (Pournot ym. 2011).

7 KYLMÄVESIHOIDON RISKIT JA HAITTAVAIKUTUKSET

On huomioitava, että kylmävesihoitoon kuuluu myös riskejä. Äkillinen lämpötilan muutos aiheuttaa veren katekoliaamiinien pitoisuuden nopean lisääntymisen, mikä lisää hengitystiehyttä eli voi aiheuttaa hyperventilaatiota (Srámek ym. 2000). Hyperventilaatio puolestaan saa aikaan hiilidioksidin osapaineen madaltumisen, joka voi heikentää aivojen verenkiertoa ja hapensaantia aiheuttaen tajunnan tason laskua. Hyperventilaatiota on kuitenkin mahdollista kontrolloida tietoisesti. (Mantoni ym. 2008.)

Sydämen sykkeen ja verenpaineen nousu sekä veren siirtyminen periferiasta rintaonteloon lisäävät sydän ja verenkiertoelimistön rasitusta. Sydämen vajaatoimintaa sairastavilla kylmävesihoito saattaa aiheuttaa sydämen rytmihäiriöitä. Sen onkin havaittu lisäävän alttiutta enenaikaisille kammiosupistuksille sydämen vajaatoimintaa sairastavilla henkilöillä. Kylmävesihoitoa ei siis voi suositella henkilöille, joilla on diagnosoitu sydämen vajaatoiminta. (Schmid ym. 2009.) Liian pitkään kylmälle altistuminen voi johtaa myös hypotermiaan, jolla tarkoitetaan kehon lämpötilan laskemista alle 35 °C:n. Lievässä hypotermiassa (32–35 °C) lämmönsäätelymekanismit toimivat tehokkaasti, mutta jo kohtalaisessa hypotermiassa (28–32 °C) ne alkavat pettää, jolloin tajunnantaso laskee ja riski rytmihäiriöiden ilmenemiselle kasvaa. (Giesbrecht 2001.)

Kylmävesihoidon on myös havaittu heikentävän kuormituksen aiheuttamia tulehdusreaktiota, minkä on havaittu heikentävän harjoitteluadaptaatioita (Yamane ym. 2006). Tämä voi pitkällä aikavälillä heikentää harjoittelun aiheuttamaa suorituskyvyn kehittymistä. Harjoittelujakson aiheuttamat harjoitteluadaptaatiot ovat erityisen tärkeitä urheilulajeissa, joissa lopputulos määräytyy pääasiassa fyysisen kunnon perusteella, sekä lajeissa, joissa on ainoastaan muutamia pääkilpailuita vuodessa. Joukkue- sekä taitolajeissa voidaan puolestaan hyötyä siitä, että harjoittelumääriä pystytään lisäämään edistyneen palautumisen myötä. Tällöin urheilijoilla on enemmän aikaa harjoitella taitoja sekä yhteistyötä joukkuekavereiden kanssa, mikä voi korvata fyysisen suorituskyvyn kehittymiselle aiheutuneet haitat. (Versey ym. 2013.)

Kylmävesihoidon vaikutusta pidemmän harjoittelujakson aiheuttamiin harjoitteluadaptaatioihin on kuitenkin tutkittu vain muutamissa tutkimuksissa (Versey ym. 2013). Yamane ym. (2006) havaitsivat, että 4–6 viikon harjoittelujakson aikana suoritettu kylmävesihoito heikensi

pyöräilyn suorituskykyä sekä puristusvoimaa verrattuna kontrolliryhmään. Tutkimuksessa suoritettiin kylmävesihoitoa toiselle raajalle, toisen raajan toimiessa kontrolliryhmänä. Myös Roberts ym. (2015) havaitsivat lihasmassan ja -voiman lisääntyneen enemmän aktiivista palautumista käyttäneellä ryhmällä kuin kylmävesihoitoa käyttäneillä. Lisäksi Yamane ym. (2015) havaitsivat kuuden viikon voimaharjoittelun jälkeisen lihasten hypertrofian ja voiman sekä valtimoiden halkaisijan kasvaneen vähemmän kylmävesihoitoa käyttäneellä ryhmällä.

Higgins ym. (2011) tutkivat kylmävesihoidon vaikutusta rugbyn pelaajien suorituskykyyn. Tutkittavat käyttivät rugbyotteluiden tai -harjoitusten jälkeen palautumisessa joko kylmävesihoitoa tai passiivista palautumista neljän viikon ajan. Tutkijat eivät havainneet kylmävesihoidon ja kontrolliryhmän välillä eroa 300 metrin juoksusuorituksessa, mutta toistuvien sprinttien suorituskyky laski kylmävesihoitoa käyttäneellä ryhmällä verrattuna kontrolliryhmään. Kontrastivesihoito puolestaan paransi 300 metrin juoksusuorituksen verrattuna kontrolliryhmään. (Higgins ym. 2011.) Halson ym. (2013) eivät puolestaan havainneet kylmävesihoidon heikentävän pyöräilijöiden suorituskykyä harjoittelujakson jälkeen verrattuna kontrolliryhmään. Tutkijat havaitsivat kylmävesihoitoa käyttäneellä ryhmällä jopa parempia tuloksia korkeaintensiteettisissä testeissä, mutta ryhmien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Vesiupotusmenetelmien vaikutuksesta harjoitteluadaptaatioihin on siis saatu ristiriitaisia tuloksia.

Harjoittelu aiheuttaa molekulaarisia sekä hormonaalisia muutoksia, kuten lihasten hypertermiaa. Nämä fysiologiset muutokset ovat välttämättömiä harjoitusvaikutuksille, kuten myofiibereiden uudistumiselle, lihashypertrofialle sekä parantuneelle verenvirtaukselle. Kylmävesihoidon aiheuttama kehon lämpötilan aleneminen voi heikentää näitä lämpötilasta riippuvaisia prosesseja, kuten heat shock proteiinien (HSP) muodostumista. (Yamane ym. 2006.) HSP:n on esitetty vaikuttavan lihaksen harjoitteluadaptaatioihin, esimerkiksi edistämällä hypertrofiaa (Thompson ym. 2003). Lisäksi lämpötilan kasvu saattaa vaikuttaa IGF-1:n aiheuttamaan satelliittisolujen stimulaatioon, mikä edistää myofiibereiden uudistumista (Halevy ym. 2001). Kylmävesihoidon onkin havaittu heikentävän satelliittisolujen määrän lisääntymistä (Roberts ym. 2015).

Toisaalta kestävyys suorituskyvyn kannalta tärkeitä solutason muutoksia on havaittu kylmävesihoidon seurauksena. Neljän viikon kestävyys harjoittelujaksolla suoritettut kylmävesihoidot lisäsivät AMP-aktivoitua proteiinikinaasiin (AMPK) määrää sekä p38 mitogeneeni akti-

voidun proteiinikinaasin (p38 MAPK) proteiinipitoisuutta (Ihsan ym. 2015). Lisäksi peroksisomiproliferaatioaktivoituneen reseptori gamma koaktivaattori 1 alfan (PGC-1 α) proteiinipitoisuuden on havaittu lisääntyvän kylmävesihoidon jälkeen, mikä on oleellista mitokondrioiden biogeneesin vuoksi (Ihsan ym. 2015, Ihsan ym. 2014).

On myös esitetty, että kylmävesihoidon aiheuttama vasokonstriktio heikentäisi hapen sekä ravinteiden kuljetusta ja vaikuttaisi näin lihasglykokeenin uudelleen syntetisointiin akuutin palautumisen yhteydessä (Ihsan ym. 2016). Gregson ym. (2012) eivät kuitenkaan havainneet lihasten glykokeenivarastojen täydentymisnopeudessa eroja kylmävesihoidon ja kontrolliryhmän välillä, kun tutkittavat olivat suorittaneet lihasglykokeenivarastoja tyhjentävän pyöräilykuormituksen. Tucker ym. (2012) sen sijaan havaitsivat heikentyneen lihasten glykokeenivarastojen täydentymisen, kun quadriceps-lihaksia viilennettiin jääpakkauksilla 30 minuutin jaksoissa neljän tunnin ajan. Tutkimuksen erilaiset tulokset ovat voineet johtua siitä, että Gregson ym. (2012) raportoi lihaksen sisäisen lämpötilan olleen kylmävesihoidon jälkeen 30–35 °C 1–3 cm syvyydellä, kun taas Tucker ym. (2012) raportoivat lihaksen lämpötilan olleen 25 °C 4.3 cm syvyydellä ja tämä lämpötila säilytettiin koko neljän tunnin ajan. Pitkittynyt lihasten kylmentäminen on voinut mahdollisesti aiheuttaa glykokeenivarastojen heikentyneen täydentämisen (Ihsan ym. 2016). Toisaalta glykokeenin uudelleenmuodostumisen ei havaittu heikentyvän, kun koehenkilöt altistuivat neljän tunnin ajan 7 °C:een lämpöisessä ilmassa. Koehenkilöillä havaittiin lihasvärinää (Slivka ym. 2013), joka on voinut heikentää kylmän aiheuttamaa lihasten lämpötilan laskua sekä verenkierron vähenemistä (Ihsan ym. 2016). Lisäksi lihasvärinä voi lisätä lihassupistuksista riippuvaisten GLUT-4 glukoositransporttereita lihassolukalvolle ja näin edistää glykokeenivarastojen täydentymistä (Kennedy ym. 1999).

8 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää aktiivisen palautumisen jälkeen suoritettujen eri vesiupotusmenetelmien sekä pelkän aktiivisen palautumisen vaikutusta hermolihasjärjestelmän, anaerobisen energiantuoton ja hormonaalisen tasapainon palautumiseen sekä lihasarkuuden ja lihassoluvaurioiden ilmenemiseen.

Tutkimusongelma 1. Vaikuttavatko aktiivisen palautuksen jälkeen suoritettut erilaiset vesiupotusmenetelmät hermolihasjärjestelmän voimantuottokyvyn palautumiseen ja eroaako se pelkästä aktiivisesta palautumisesta?

Hypoteesi 1. Kylmävesiupotus 10 °C:n lämpötilassa edistää erityisesti esikevennyshypyn sekä 30 m kiihdytysjuoksutuloksen palautumista, mutta ei niinkään isometrisen maksimivoiman palautumista. Pelkkä aktiivinen menetelmä on lähes yhtä tehokas palautumisessa kuin kylmävesihoito. Kontrastihoido sekä termoneutraalivesiupotus eivät edistä hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn palautumista verrattuna pelkkään aktiiviseen palautumiseen.

Perustelu 1. Kirjallisuudessa kylmävesihoidon on havaittu olevan tehokkaampi palautusmenetelmä voimantuoton ja tehontuottokyvyn palautumisessa verrattuna termoneutraaliin vesiupotukseen ja kontrastihoidon sekä passiiviseen palautumiseen (Ascensao ym. 2011, Elias ym. 2012, Montgomery ym. 2008, Vieira ym. 2016). Kylmävesihoito edistää erityisesti esikevennyshypyn ja sprinttisuorituskyvyn palautumista verrattuna muihin vesiupotusmenetelmiin (Elias ym. 2012, Ingram ym. 2009). Kontrastihoidon (French ym. 2008, Ingram ym. 2009, Kuligowski ym. 1998) ja termoneutraalin vesiupotuksen (Cortis ym. 2010, Tessitore ym. 2008, Tessitore ym. 2007) ei ole havaittu edistävän hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn palautumista. Kun huomioidaan myös aktiivinen palautuminen, on sen havaittu olevan tehokkaampi menetelmä tehon palautumisessa kuin kylmävesihoidon (Heikura 2015). King ja Duffield (2009) eivät kuitenkaan havainneet eroa tehon palautumisessa aktiivisen palautusmenetelmän ja kylmävesihoidon jälkeen.

Tutkimusongelma 2. Vaikuttavatko aktiivisen palautuksen jälkeen suoritettut erilaiset vesiupotusmenetelmät ns. maitohapollisen eli laktisen anaerobisen suorituskyvyn palautumiseen ja eroaako se pelkästä aktiivisesta palautumisesta?

Hypoteesi 2. Kylmävesiupotus 10 °C:n lämpötilassa ei paranna anaerobisen suorituskyvyn palautumista verrattuna pelkkään aktiiviseen palautumiseen, mutta kontrastihoido edistää anaerobisen suorituskyvyn palautumista.

Perustelu 2. Kylmävesihoidon jälkeisen laktaattipitoisuuden ja pH:n (happamuuden poistaminen) palautumisen ei ole havaittu eroavan passiivisesta sekä aktiivisesta palautumisesta (Dunne ym. 2013, King & Duffield 2009, Pointon ym. 2012, Stacey ym. 2010). Heikura (2015) havaitsi kuitenkin, että aktiivisen palautumisen jälkeen laktaattipitoisuuden palautuminen oli merkittävästi nopeampaa. Coffey ym. (2004) havaitsivat kontrastihoidon edistävän laktaattipitoisuuden laskua, mutta pH:ssa he eivät havainneet muutosta verrattuna passiiviseen palautumiseen. Lisäksi King ja Duffield (2009) havaitsivat kontrastihoidon edistävän laktaattipitoisuuden palautumista verrattuna aktiiviseen palautumiseen.

Tutkimusongelma 3. Vaikuttavatko aktiivisen palautuksen jälkeen suoritettut erilaiset vesiupotusmenetelmät lihasarkuuden kokemukseen ja lihassoluvaurioiden ilmenemiseen?

Hypoteesi 3. Kylmävesihoito 10 °C:n lämpötilassa lievittää eniten suorituksen jälkeistä tulehdusta ja lihasarkuutta sekä laskee lihassoluvaurioiden ilmenemistä.

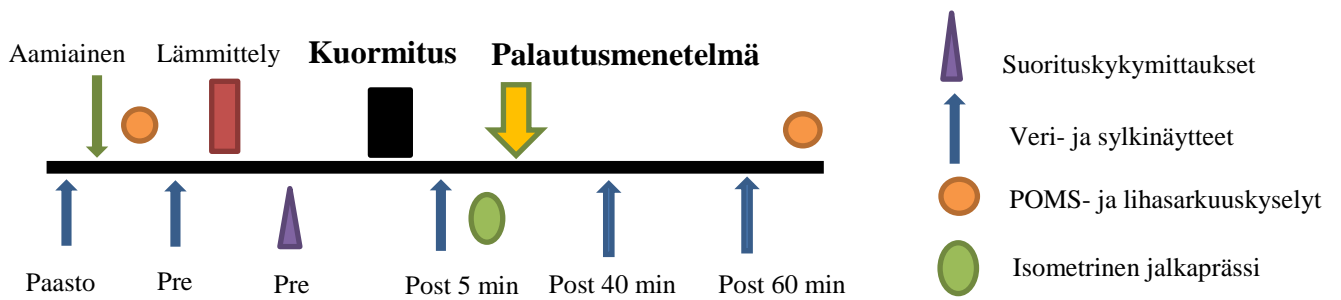
Perustelu 3. Kylmävesihoidon on havaittu ehkäisevän lihassoluvaurioita kestävyys- ja joukkueurheilun kaltaisten kuormitusten jälkeen. Kyseisiä kuormituksia käyttäneissä tutkimuksissa havaittiin myoproteiinien, kuten kreatiinikinaasin sekä myoglobiinin, puhdistuma verestä (Ascensao ym. 2011, Bailey ym. 2007, Minett ym. 2014, Pournot ym. 2011), heikentynyt tulehdusvaste (Ascensao ym. 2011, Brophy-Williams ym. 2011, Pournot ym. 2011), MVC:n nopeutunut palautuminen (Ascensao ym. 2011, Bailey ym. 2007, Minett ym. 2014, Pournot ym. 2011) sekä itse koetun DOMS:n heikkeneminen (Ascensao ym. Bailey ym. 2007, 2011, Elias ym. 2012, Ingram ym. 2009, Minett ym. 2014, Pointon ym. 2012, Rowsell ym. 2014) verrattuna muihin vesiupotushoitoihin ja passiiviseen palautumiseen. Lisäksi King & Duffield (2009) havaitsivat lihasarkuuden olevan merkittävästi pienempää kylmävesihoidon jälkeen verrattuna aktiiviseen palautumiseen. Kontrastivesihoidon ei ole havaittu vaikuttavan veren CK-, myoglobiini- tai CRP-pitoisuuteen (French ym. 2008, Ingram ym. 2009, Vaile ym. 2007, Vaile ym. 2008c). Myöskään termoneutraalin vesiupotuksen ei havaittu edistävän veren CK-aktiivisuuden ja myoglobiinipitoisuuden palautumista verrattuna kylmävesihoitoon ja passiiviseen palautumiseen (Ascensao ym. 2011, Pournot ym. 2011).

9 MENETELMÄT

9.1 Koeasetelma

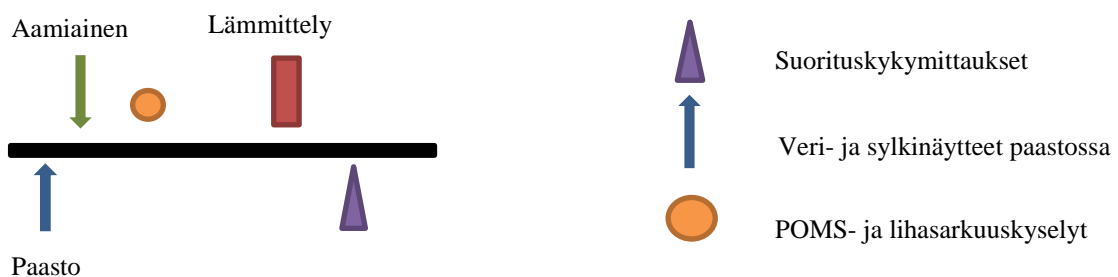
Tutkimuksessa käytettiin neljää eri palautumismenetelmää: kylmävesiupotusta lämpötilalla 10 °C, termoneutraalia vesiupotusta (24 °C), kontrastimenetelmää (vuorotellen 10 °C ja 38 °C), jotka kaikki suoritettiin heti aktiivisen palautuksen jälkeen, sekä neljäntenä palautusmenetelmänä toimi pelkkä aktiivinen palautuminen. Tutkimuksen koehenkilöt toimivat sekä interventioryhminä että kontrolliryhmänä (pelkkä aktiivinen palautus). Koehenkilöt siis suorittivat mittausprotokollan läpi kolmella eri vesiupotushoidolla heti aktiivisen palautuksen jälkeen sekä vertailuna pelkällä aktiivisella palautuksella vähintään kolmen viikon välein.

Kuormituspäivänä (päivä 0) koehenkilöt tulivat mittauksiin aamupaastossa (10 tunnin paasto) (kuva 4). Heiltä otettiin laskimoverinäytteet, sormenpääverinäyte ja sylkinäyte, jonka jälkeen koehenkilöt söivät vakioidun kevyen aamupalan ja täyttivät mielialaa mittaavan POMS-kyselyn (profile of mood state; mielialan profiili) sekä arvioivat ja kuvasivat lihasarkuutta kyselyn avulla. Tämän jälkeen heille tehtiin antropometriset mittaukset (pituus, paino ja rasvaprosentti rasvapihittimitauksella). 35 minuutin kuluttua aamupalan aloittamisesta koehenkilöiltä otettiin uudestaan sekä veri- että sylkinäytteet, jotka toimivat kuormitusta edeltävinä näytteinä (pre-näytteinä). Näytteiden oton jälkeen koehenkilöt lämmittelivät ensin 10 min polkupyöräergometrillä (Monark 839 E, Vansbro, Ruotsi) (100 W, 80 rpm) ja sitten 10 min dynaamisella venyttelyllä ja valmistavalla juoksuverryttelyllä ("aukaisuedot" 3 x 60 m). Tämän jälkeen suoritettiin suorituskykymittaukset (30 m maksimaalinen kiihdytysjuoksu, maksimaalinen kevennyshyppy ja maksimaalinen isometrinen voima), jonka jälkeen tehtiin varsinainen intensiivinen kuormitus. Viiden minuutin kuluttua kuormituksen päättymisestä otettiin veri- ja sylkinäytteet sekä suoritettiin isometrinen maksimivoimamittaus. Tämän jälkeen koehenkilöt suorittivat 10 minuutin aktiivisen palautumisen polkupyöräergometrillä (syke 120–140) sekä nauttivat vakioidun proteiini- ja hiilihydraattiannoksen (Gainomax, 20 g proteiinia ja 40 g hiilihydraattia). Tämän jälkeen tehtiin jokin vesiupotuksista tai istuttiin tyhjässä altaassa, jonka jälkeen otetaan vielä veri- ja sylkinäytteet 40 ja 60 minuuttia kuormituksen päättymisestä. Lisäksi koehenkilöt täyttivät POMS-kyselyn sekä lihasarkuutta selvittävän kyselyn. Kuormituspäivän aikana koehenkilöt nauttivat kontrolloidun määrän vettä (7 x 150 ml). Kuormituspäivän (päivä 0) kulku on kuvattu tarkemmin kuvassa 4.



KUVA 4. Kuormituspäivän (päivä 0) eteneminen. Paasto = aamupaastossa (10 tuntia) tehdyt mittaukset, Pre = ennen kuormitusta tehdyt mittaukset, Post = kuormituksen jälkeen tehdyt mittaukset, POMS = profile of mood state.

Palautumista seurataan 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. Koehenkilöt tulivat (päivä 1, 2 ja 4) aamupaastossa veri- ja sylkinäytteisiin, jonka jälkeen he söivät vakioidun aamupalan ja täyttivät POMS-kyselyn ja lihasarkuutta tiedustelevan kyselyn. Tunti aamupalan jälkeen koehenkilöt suorittivat lämmittelyn sekä suorituskykymittaukset samaan tapaan kuin kuormituspäivänä. Kuormituksen jälkeisten mittauspäivien (päivät 1, 2 ja 4) kulku on kuvattu kuvassa 5. Koehenkilöitä ohjeistettiin harrastamaan palautusjakson aikana ainoastaan kevyttä fyysistä aktiivisuutta. Koehenkilöt täyttivät ensimmäisen palautusjakson aikana ruokapäiväkirjaa, johon täytettiin myös fyysisen aktiivisuuden harrastaminen. Koehenkilöitä ohjeistettiin elämään tämän päiväkirjan mukaisesti seuraavilla palautusjaksoilla.



KUVA 5. Palautumista seuraavien mittauspäivien (päivät 1, 2 ja 4) eteneminen. Paasto = aamupaastossa (10 tuntia) tehdyt mittaukset, POMS = profile of mood state.

9.2 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli 20–35 -vuotiaita miehiä, jotka harrastivat vapaa-aikanaan liikuntaa. Koehenkilöt rekrytoitiin Jyväskylän Yliopiston ja Jyväskylän Ammattikorkeakoulun opiskelijoista sekä heidän tuttavistaan. Rekrytointivaiheessa koehenkilöiden terveydentila selvitettiin terveystarkastuksella (liite 1). Koehenkilöt eivät käyttäneet mitään säännöllistä lääkitystä. Lisäksi tutkimuksesta suljettiin henkilöt, joilla oli diagnosoitu astma tai jokin sydänperäinen sairaus. Myös lähisukulaisten ennen aikaisia sydänperäisiä kuolemia pidettiin tutkimuksesta sulkemisen kriteerinä. Jokaisen kuormituspäivän alussa koehenkilöt täyttivät terveystarkastuksen uudestaan, jolla selvitettiin muutoksia terveydentilassa sekä lähiajan sairaustapauksia.

Koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja heillä oli oikeus keskeyttää tutkimuksessa mukana oleminen tutkimuksen aikana. Tutkimuksen aloitti 15 koehenkilöä, joista loppuun asti tutkimuksen suoritti yhdeksän koehenkilöä. Tutkimuksesta poisjääntien taustalla oli muutoksia elämäntilanteissa sekä terveydentilassa. Tutkimuksella oli Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan lausunto.

9.3 Antropometriset mittaukset, suorituskykymittaukset sekä kuormitus

Tutkimuksen kuormituspäivänä tehtiin antropometriset mittaukset. Suorituskykymittauksiin puolestaan kuuluivat 30 metrin maksimaalinen kiihdytysjuoksu, maksimaalinen esikevennys-hyppy ja maksimaalinen isometrinen voima. Lisäksi tutkimuksen kuormituspäivänä tehtiin intensiivinen alaraajojen kuormitus.

Antropometriset mittaukset. Tutkimuksen antropometriin mittauksiin kuuluivat pituuden ja painon mittaaminen sekä rasvaprosentin määrittäminen, joka tehtiin mittaamalla ihopoimuksen paksuus pihdeillä. Koehenkilöiden paino mitattiin elektronisella vaa'alla (Soehnle, Nassau, Saksa) ja pituus mittanauhalla koehenkilön seistessä kätet sivuilla sekä kantapäät, takapuoli, yläselkä ja takaraivo seinää vasten. Pihtimittaus suoritettiin neljän pisteen menetelmällä. Mittapisteinä olivat hauis (biceps), ojentaja (triceps), lapaluu (scapula) sekä suoliluun harju (crista iliaca). Biceps ja triceps mittapisteissä ihopoimu mitattiin olkalisäkkeen (acromion) ja olkaluun (humerus) lateraalisen epicondylen puolivälistä. Kolmas ihopoimu mitattiin alkaen lapa-

luun alakulmasta (scapulan inferior angle) pitkin mediaalista reunaa 45 °:n kulmassa. Neljäs mittapiste mitattiin suoliluun harjun yläpuolelta vaakatasossa. Jokaisesta mittauspisteestä otettiin kolme mittausta, joiden keskiarvo laskettiin. Ihopoimujen keskiarvojen paksuuden yhteistuloksen avulla rasvaprosentti saatiin arvioitua Durninin ja Wormsleyn (1974) kaavalla.

30 m maksimaalinen maksimaalinen kiihdytysjuoksu. Ensimmäisenä suorituskykymittauksena suoritettiin 30 metrin maksimaalinen kiihdytysjuoksu. Juoksuun lähdettiin paikaltaan. Suorituksesta mitattiin viimeinen 20 metrin matka valokennoilla. Kiihdytysjuoksu suoritettiin kolmesti kolmen minuutin palautuksilla.

Maksimaalinen esikevennyshyppy. Toisena suorituskykymittauksena suoritettiin maksimaalinen esikevennyshyppy. Suorituksesta mitattiin lentoaika kontaktimaton (Liikuntabiologian laitos, Suomi) avulla. Lentoajasta laskettiin hypyn nousukorkeus kaavalla: $h = t^2 \times g / 8$ (jossa h = nousukorkeus, t = lentoaika ja g = putoamiskiihtyvyyden kaksinkertainen, 9.81 m/s^2) (Bosco ym. 1983). Suorituksessa jalat olivat hartioiden leveydellä ja kädet lanteilla. Koehenkilöt tekivät mahdollisimman nopean kyykkäysliikkeen, josta he ponnistivat mahdollisimman nopeasti ja mahdollisimman korkealle (kuva 6). Hyppyyn lähtö ja alastulo tapahtuivat päkiöiden kautta. Alasikäynnin polvikulmaa ei vakioitu, vaan koehenkilöt saivat suorittaa liikkeen itselleen luonnollisimmalla polvikulmalla. Liike suoritettiin kolmesti. Jos tulos parantui viimeisellä suorituksella, hypättiin vielä neljäs tai mahdollisesti jopa viides kerta. Palautus suoritusten välillä oli 1–1.5 minuuttia. Esikevennyshypyn variaatiokertoimen (coefficient of variation, CV) on havaittu olevan 2.8 % ja reliabiliteetin on havaittu olevan erinomainen ($\alpha = 0.98$). Esikevennyshyppyä pidetäänkin staattisen hypyn ohella reliabiliteetiltaan ja validiteetiltaan parhaimpana menetelmänä mittaamaan alaraajojen räjähtävää voimantuottoa. (Markovic ym. 2004.)

Alaraajojen isometrinen maksimivoima. Alaraajojen isometristä maksimivoimaa mitattiin isometrisen jalkadynamometrin (Liikuntabiologian laitos, Suomi) avulla. Isometrisillä maksimivoimatesteillä on havaittu olevan hyvä testikertojen välinen toistettavuus (test-retest reliabiliteetti) (Viitasalo ym. 1980). Koehenkilöitä ohjeistettiin pitämään suorituksessa kahvoista kiinni sekä selkä ja takapuoli kiinni penkissä. Suorituksen polvikulmana oli 110 °, joka mitattiin goniometrillä mittapisteiden ollessa reisiluun pään iso sarvennoinen (trochanter major) sekä nilkan ulkokehräs (lateral malleolus). Suoritus oli 5-10 sekunnin tasainen alaraajojen ojennus ilman nykäyksiä. Tulos saatiin ulostulolaitteen ruudulta kilogrammoina. Koehenkilöt

suorittivat liikkeen kolmesti kahden minuutin palautuksilla. Isometrisen maksimivoiman tuloksia ei kuitenkaan käytetä tämän tutkimuksen tuloksissa.



KUVA 6. Esikevennyshyppy kontaktimatolla. A) ponnistusvaihe, B) lentovaihe.

Kuormitus. Tutkittavat suorittavat seuraavan intensiivisen hermolihasjärjestelmää ja aineenvaihduntaa kuormittavan intensiivisen harjoituksen, joka oli kokonaiskestoltaan 45 minuuttia:

1. 2 x 5 x 10-loikka kahden askeleen vauhdilla (kävelypalautus toistojen välissä, sarjapalautus 5 min)
2. 2 x 3 x 50 m juoksu, ensimmäinen sarja 95 % maksiminopeudesta (v_{max}) ja toinen sarja 98 % v_{max} :sta (2 min toistopalautus, sarjapalautus 5 min)
3. 2 x 200 m juoksu maksimaalisesti (palautus juoksujen välissä 5 min)

Kymmenloikassa koehenkilöitä ohjeistettiin jokaisella kerralla maksimaaliseen suoritukseen. Loikkasuorituksen pituus mitattiin metrin tarkkuudella siten, että vain täydet metrit huomioitiin (kuva 7A). Kuormituspäivän suorituskykymittausten yhteydessä juostiin myös kerran 50

m maksimaalinen juoksuosuus, josta laskettiin sopivat nopeudet kuormitukseen. 50 m juoksuissa ajat kelloitettiin valokennojen avulla ja suoritukseen lähdettiin aina metri ennen ensimmäistä kennoa (kuva 7B). 200 metrin suoritus juostiin 200 metrin sisäradalla aina samaa rataa juosten ja aika mitattiin käsiajanotolla (sekuntikello PC396, Shenzhen Huibo Industrial & Trading Co. Ltd., Guangdong, Kiina). Kuormituksen aikana koehenkilöiden sydämen sykettä tallennettiin Polar V800-laitteilla (Kempele, Suomi).



KUVA 7. Kuormituksen 10-loikka (A) sekä 50 m juoksu (B).

9.4 Lihaskuuden arviointi sekä POMS-kysely

Lihaskuutta arvioitiin subjektiivisesti. Koehenkilöt täyttivät lihaskuutta arvioivan kyselyn (liite 2) ennen kuormitusta, tunti sen jälkeen sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. Lihaskuutta arvioitiin asteikolla nolasta viiteen (0 = ei lihaskipua, 5 = erittäin kovaa lihaskipua). Lisäksi koehenkilöt merkitsivät alaraajoja kuvaavaan kuvaan, missä lihaskuus sijaitsi.

Koehenkilöt täyttivät samoissa aikapisteissä mielialaa arvioivan POMS-kyselyn (profile of mood state) (liite 3). Kyselyssä oli 65 tunnetilaa, jonka suuruutta koehenkilöt arvioivat yhdestä viiteen (1 = ei lainkaan, 5 = erittäin paljon). Tässä työssä analysoida eikä pohdita POMS-kyselyiden tuloksia muuten kuin rentouden tunteen osalta.

9.5 Palautusmenetelmät

Tutkimuksessa käytettiin neljää eri palautumismenetelmää: kylmävesiupotusta lämpötilalla 10 ± 1 °C, termoneutraalia vesiupotusta (24 ± 1 °C), kontrastihoitoa (vuorotellen 10 ± 1 °C ja 38 ± 1 °C), jotka kaikki suoritettiin heti aktiivisen palautuksen jälkeen sitä varten suunnitelluissa altaissa (Ecomarine Oy). Lisäksi neljäntenä palautusmenetelmänä toimi pelkkä aktiivinen palautuminen. Jokaisessa upotuksessa koehenkilöt istuivat 10 min kädet altaan reunoilla ja polvet ojennettuina altaassa. Veden pinta oli rintalastan miekkalisäkkeen (xiphoid process) tasolla. Kun palautumismenetelmänä oli pelkkä aktiivinen palautus, koehenkilöt istuivat tyhjässä altaassa kymmenen minuutin ajan ilman lämpötilan ollessa 24 ± 1 °C. Kylmävesihoito, termoneutraalivesiupotus sekä pelkkä passiivinen altaassa istuminen on kuvattu kuvassa 8.



KUVA 8. A) kylmävesihoito, B) passiivinen altaassa istuminen, C) termoneutraalivesiupotus.

Kontrastihoidossa tehtiin minuutin upotuksia vuorotellen sekä 38 °C:ssa että 10 °C:ssa siten, että viimeinen upotus oli kylmässä altaassa. Aina minuutin upotuksen jälkeen koehenkilöt siirtyivät rivakasti altaasta toiseen. Upotuksia tehtiin viisi kummassakin altaassa, joten menetelmän kokonaiskestoksi vaihtojen kanssa tuli 11–12.5 minuuttia. Kontrastihoidon kuuma-vesiupotus sekä termoneutraali vesiupotus tehtiin ilmalla täytettävässä porealtaassa (MSPA, Shanghai, Kiina), jossa ei käytetty poreita. Kontrastihoidon kylmävesiupotus, kylmävesihoito sekä pelkän aktiivisen palautuksen jälkeen suoritettu istuminen tyhjässä altaassa tehtiin tavallisessa kylpyammeessa.

9.6 Veri- ja sylkinäytteet

Koehenkilöiltä otettiin laskimoverinäytteitä, sormenpää verinäytteitä sekä sylkinäytteitä, joiden avulla arvioitiin lihassoluvaurioiden ilmenemistä sekä elimistön tulehdustilaa ja hormonaalista tasapainoa. Laskimoverinäytteistä analysoitavia muuttujia olivat: perusverenkuva, rasva-arvot, glukoosi, kreatiinikinaasi, myoglobiini, c-reaktiivinen proteiini, leukosyytit, monosyytit, neutrofiilit, stressihormonit (kortisoli, adreanaliini ja noradrenaliini) sekä kokonaistestosteroni. Sormenpää verinäytteestä puolestaan analysoitiin veren laktaatti ja pH. Sylkinäytteistä analysoitiin alfa-amylaasi, IgA sekä kortisoli. Tässä työssä käytetään perusverenkuvan, kreatiinikinaasin, myoglobiinin, CRP:n, stressihormonien, kokonaistestosteronin sekä laktaatin ja pH:n tuloksia.

Laskimoverinäytteet otettiin koehenkilön istuessa hänen kyynärtaipeestaan. Sylkinäytteet puolestaan kerättiin pyörittämällä vanutuppoa suussa minuutin ajan. Kaikki näytteet otti ja analysoi koulutettu laboratoriotyöntekijä.

Laktaatti ja pH. Sormenpää verinäytteet kerättiin keskisormesta kapillaariputkiin. Laktaatinäytteet analysoitiin Biosen C-line -analysaattorilla (EKF Diagnostic, Cardiff, UK). pH puolestaan analysoitiin GEM Premier3000 -analysaattorilla (Instrumental Laboratory).

Perusverenkuva. Perusverenkuva varten otettiin 3 ml näyte käsivarrenlaskimosta VACUETTE EDTA -putkeen (Greiner-Bio-One GmbH, Kremsmünster, Itävalta). Näyte analysoitiin Sysmex XP 300, analysaattorilla (SysmexCo., Kobe, Japani) välittömästi näytteenoton jälkeen. Perusverenkuvan tulokset huomioitiin, kun plasmatilavuuden muutos laskettiin hemo-

globiinin ja hematokriitin avulla Dillin ja Costillin (1974) kaavan mukaan. Kaavan vaiheet on esitetty taulukossa 2. Plasmatilavuuden muutos huomioitiin analysoitaessa hormoniarvojen tuloksia.

TAULUKKO 2. Plasmatilavuuden muutoksen laskeminen (Dill & Costill 1974).

Indeksi	Kaava
Veren tilavuus harjoituksen jälkeen	$BV_A = BV_B \times (Hb_B / Hb_A)$
Punasolujen tilavuus harjoituksen jälkeen	$CV_A = BV_A \times Hct_A$
Plasmatilavuus harjoituksen jälkeen	$PV_A = BV_A - CV_A$
Plasmatilavuuden muutos prosentteina	$\Delta PV = 100 \times (PV_A - PV_B) / PV_B$

BV = veren tilavuus, CV = punasolujen tilavuus, PV = plasman tilavuus, Hb = hemoglobiini, Hct = hematokriitti, Δ = muutos. Alaindeksissä A tarkoittaa ennen ja B jälkeen.

Adrenaliini ja noradrenaliini. Näyte otettiin käsivarrenlaskimosta 7 ml VACUETTE EDTA -putkeen (Greiner-Bio-One GmbH, Kremsmünster, Itävalta). Näytteitä sentrifugoitiin kymmenen minuutin ajan (3600 rpm), jonka jälkeen näytteet pakastettiin (- 20 °C). Näytteiden plasman analysointi suoritettiin Dynex DS2 -analysointilaitteella (Washington, USA). Näytteen analysointi perustui ELISA-menetelmän (enzyme-linked immunosorbent assay) ”sandwich” periaatteeseen. Menetelmässä tunnettu vasta-aine on kiinnitetty kiinteään alustaan. Kyseiselle alustalle lisätään näyte, josta haluttu antigeeni kiinnittyy kiinteässä alustassa oleviin vasta-aineisiin. Seuraavaksi lisätään sekundaarinen, leimattu vasta-aine joka kiinnittyy antigeeniin. Lopulta alustaan lisätään substraatti. Substraatin ja entsyymin reaktiossa syntyy värillinen loppureaktio, jota verrataan standardisuoraan. (Halonen 2004, Theel ym. 2015). Laitteen analyttinen herkkyys adrenaliinille on 8 pg/ml ja noradrenaliinille 20 pg/ml.

Kortisoli ja testosteroni. Kortisoli- ja testosteroninäytteet otettiin käsivarrenlaskimosta 5 ml VACUETTE geeliseerumiputkeen (Greiner-Bio-One GmbH, Kremsmünster, Itävalta). Näyteputket sentrifugoitiin (3600 rpm) kymmenen minuutin ajan Megafuge 1.0 R sentrifuugilla. Tämän jälkeen seerumit pakastettiin (- 20 °C). Testosteroni- ja kortisolinäytteet analysoitiin Siemens Immulite 2000 XPi -analysointilaitteella (Siemens Healthcare, Erlangen, Saksa), joka perustuu kemiluminometriseen immunologiseen analyysimenetelmään. Menetelmä toimii kuten ELISA-menetelmä, mutta siinä käytetään substraattina kemiluminesenssiominaisuuksia hyödyntäviä yhdisteitä. Kemiluminisoivat molekyylit tuottavat alkalisissa olosuhteissa väli- tuotteita, jotka hajoavat lähettäen valoa, jonka määrää voidaan mitata. (Halonen 2004.) Lait-

teen testosteronin mittausalue on 0.7–55 nmol/l ja analyttinen herkkyys 0.5 nmol/l. Laitteen kortisolinäytteiden mittausalue on puolestaan 28–1380 nmol/l ja analyttinen herkkyys 5.5 nmol/l.

Kreatiinikinaasi. Kreatiinikinaasinäytteet kerättiin 5 ml VACUETTE geeliseerumiputkeen (Greiner-Bio-One GmbH, Kremsmünster, Itävalta). Näyteputket sentrifugoitiin (3600 rpm) kymmenen minuutin ajan Megafuge 1.0 R sentrifuugilla. Tämän jälkeen näytteet pakastettiin -20 °C:n lämpötilassa. Näytteet analysoitiin Konelab 20XTi -analysaattorilla (Thermo Fischer Scientific inc., Waltham, MA, USA), jonka CK:n analysointi perustuu entsymaattiseen fotometriseen suoramittausmenetelmään eli sen katalysoivaan vaikutukseen kreatiinifosfaatin ja ADP:n välisessä reaktiossa sekä tätä seuraavien reaktioiden lopputuotteisiin. Laitteen mittausalue oli 10–9000 U/l.

hsCRP ja myoglobiini. Korkea sensitiivinen C-reaktiivinen proteiini- (hsCRP) ja myoglobiininäytteet kerättiin 5 ml VACUETTE geeliseerumiputkeen (Greiner-Bio-One GmbH, Kremsmünster, Itävalta). Näyteputket sentrifugoitiin (3600 rpm) kymmenen minuutin ajan Megafuge 1.0 R sentrifuugilla, jonka jälkeen näytteet pakastettiin -20 °C:n lämpötilassa. Näytteistä kerätty seerumi analysoitiin Immulite 2000 XPi -analysaattorilla (Siemens Healthcare, Erlangen, Saksa) ja kyseisten näytteiden analysointi perustui kemiluminometriseen immunologiseen analyysimenetelmään. Laitteen CRP:n mittausalue on 0.3–100 mg/l ja analyttinen herkkyys 0.1 mg/l. Laitteen myoglobiinin mittausalue on 0–800 ng/ml ja analyttinen sensitiivisyys on 2.6 ng/ml.

9.7 Tulosten tilastollinen analysointi

Tulokset analysoitiin IBM SPSS Statistics 22.0 -ohjelman (IBM Corp. Armonk, NY, USA) sekä Microsoft Excel 2010 -ohjelman (Microsoft Corp. Redmond, USA) avulla. Tulosten normaalijakautuneisuus tarkistettiin ja niistä laskettiin keskiarvo sekä keskihajonta. Tulosten analysoinnissa käytettiin toistomittausten varianssianalyysia (Bonferroni). Lisäksi muuttujat, jotka eivät olleet normaalisti jakautuneita, analysoitiin nonparametrisella Friedmanin ja Wilcoxonin testeillä. Ennen nonparametristen testien käyttöä muuttujia yritettiin korjata luonnollisen logaritmin avulla. Jos luonnollisella logaritmillä korjatut arvot olivat normaalisti jakautuneita, käytettiin näitä arvoja ennemmin kuin nonparametrisia testejä. Muuttujien välistä kor-

relaatiota analysoitiin Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiotestin avulla. Tilastollisen merkitsevyyden rajana pidettiin 0.05 merkitsevyytstasoa.

10 TULOKSET

10.1 Kehonkoostumus ja kuormitus

Koehenkilöt olivat 180.9 ± 8.5 cm pitkiä. Heidän painonsa, painoindeksinsä ja rasvaprosenttinsa eri kuormituskerroilla on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Koehenkilöiden paino, painoindeksi ja rasvaprosentti (n = 9).

	ACT	CWI	TWI	CWT
Paino (kg)	78.6 ± 11.6	78.9 ± 11.8	79.4 ± 11.9	79.0 ± 11.8
BMI (kg/m^2)	24.0 ± 2.5	24.1 ± 2.5	24.2 ± 2.4	24.1 ± 2.6
Rasvaprosentti (%)	15.8 ± 4.0	14.9 ± 4.7	15.2 ± 4.1	14.7 ± 4.5

BMI = painoindeksi, ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito.

Kuormituksen aikainen keskisyke ja maksimisyke, 10-loikkien pituudet, 50 m juoksun toteutuneen ajan ja tavoite ajan erotus sekä 200 m juoksujen aika ei eronnut tilastollisesti eri kuormituskertojen välillä. Tarkemmin kuormitusten aikana tallennettu data on esitetty liitteessä 4.

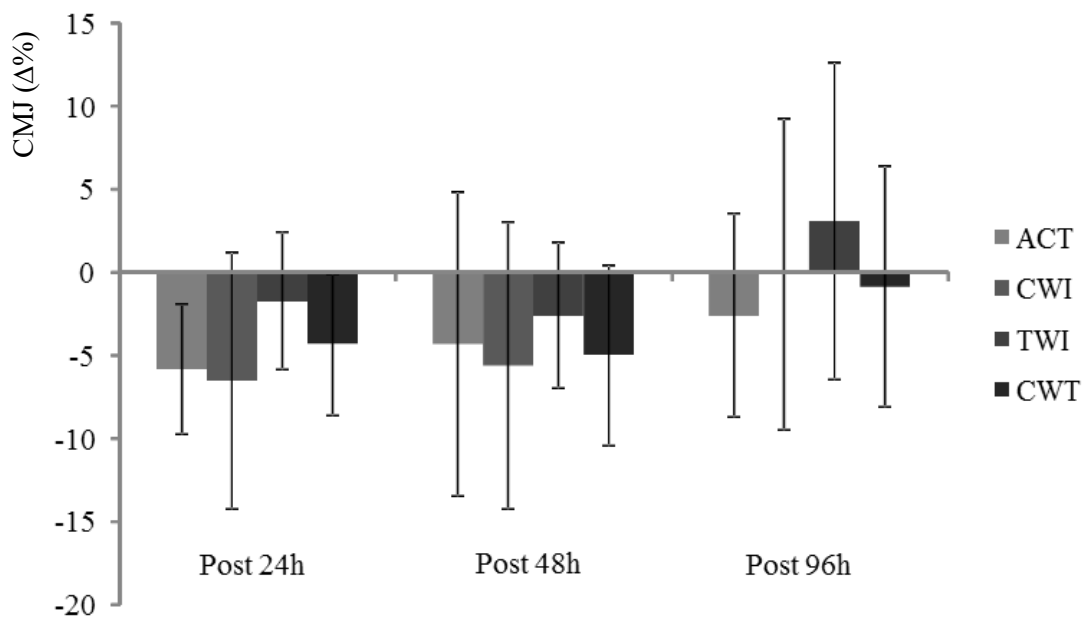
10.2 Suorituskykymittaukset

Suorituskykymittauksista analysoitiin maksimaalisen esikevennyshypyn sekä 30 metrin kiihdytysjuoksun tuloksia. Kummassakaan suorituskykymittauksessa ei havaittu palautumismenetelmien välisiä tilastollisia eroja. Muuttujista tarkasteltiin kuitenkin myös palautumismenetelmän sisällä tapahtuneita muutoksia verrattuna lähtötilanteeseen. Esikevennyshypyn tulos heikentyi tilastollisesti merkitsevästi pelkän aktiivisen palautumisen kohdalla 24 tuntia kuormituksen jälkeen. 48 tuntia kuormituksen jälkeen esikevennyshyppytulokset aktiivisen palautumisen ryhmällä ei ollut enää tilastollisesti merkitsevästi heikentynyt lähtötilanteesta. Vesiupotusmenetelmien jälkeen ei havaittu missään aikapisteessä tilastollisesti merkitsevää heikkenemistä lähtötilanteesta. Maksimaalisen esikevennyshypyn tulokset kullakin kuormituskerralla on esitetty taulukossa 4 ja prosentuaaliset muutokset verrattuna lähtöarvoon kuvassa 9.

TAULUKKO 4. Maksimaalisen esikevnyshypyn tulos senttimetreinä (n = 7).

	Pre	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	36.4 ± 3.9	34.3 ± 4.9 *	34.9 ± 5.5	35.5 ± 5.5
CWI	36.4 ± 6.3	34.0 ± 6.0	34.3 ± 5.9	36.0 ± 4.6
TWI	35.8 ± 4.3	35.1 ± 4.0	34.8 ± 3.9	36.7 ± 4.2
CWT	36.0 ± 3.8	34.3 ± 3.0	34.2 ± 4.5	35.6 ± 4.3

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero verrattuna lähtöarvoon.



KUVA 9. Esikevnyshyppytuloksen prosentuaalinen muutos lähtötasosta. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, CMJ = esikevnyshyppy, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

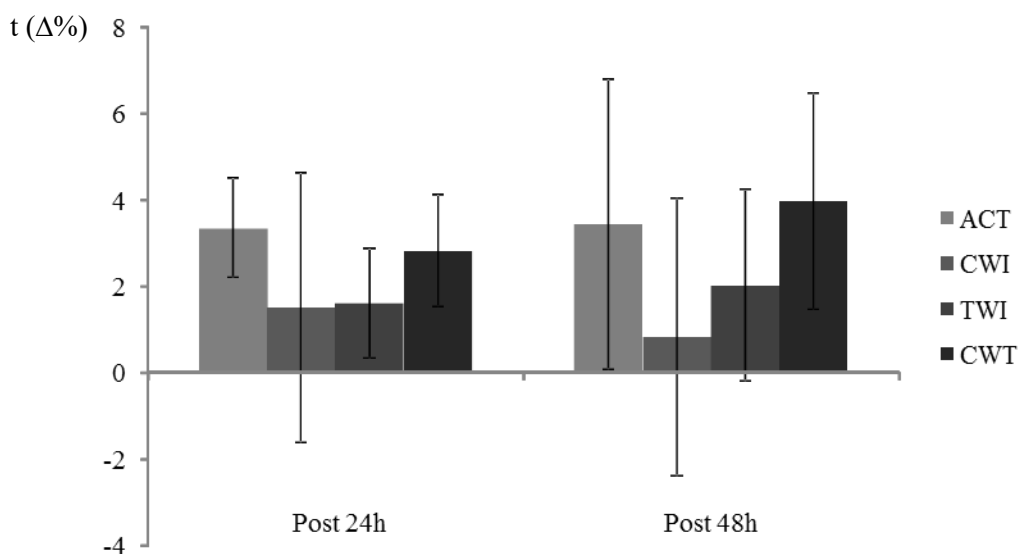
Nopeutta mittaavan 30 metrin juoksutulokset heikentyivät tilastollisesti merkitsevästi pelkän aktiivisen palautumisen sekä kontrastihoidon jälkeen verrattuna ennen kuormitusta suoritettuun suoritukseen. Tilastollisesti erittäin merkitsevä tuloksen heikentyminen havaittiin kummassakin palautusmenetelmässä 24 tuntia kuormituksen päättymisestä. Kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia, tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu enää aktiivisen palautumisen kohdalla, mutta kontrastihoidon jälkeen tulos oli vielä tilastollisesti heikentynyt. Kylmävesi-

hoidon ja termoneutraalin vesiupotuksen välillä ei havaittu missään aikapisteessä tilastollisesti merkitsevää eroa verrattuna lähtötasoon. 30 metrin kiihdytysjuoksun tulokset on esitetty taulukossa 5 ja prosentuaaliset muutokset verrattuna lähtöarvoon kuvassa 10.

TAULUKKO 5. 30 metrin juoksun tulokset sekunteina, josta 10–30 m kelloitettiin (n = 7).

	Pre	Post 24h	Post 48h
ACT	2.61 ± 0.12	2.70 ± 0.14 ***	2.70 ± 0.19
CWI	2.64 ± 0.17	2.68 ± 0.14	2.66 ± 0.17
TWI	2.65 ± 0.17	2.69 ± 0.17	2.70 ± 0.18
CWT	2.62 ± 0.14	2.70 ± 0.16 ***	2.73 ± 0.20 *

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero verrattuna lähtöarvoon, *** p < 0,005 ero verrattuna lähtöarvoon.



KUVA 10. 30 metrin kiihdytysjuoksutuloksen prosentuaalinen muutos lähtötasosta. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, t = aika, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

10.3 Veren laktatti ja pH

Veren laktaattipitoisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää ero palautumismenetelmien välillä missään aikapisteessä, kun eroa mitattiin prosentuaalisena muutoksena verrattuna lähtötilanteeseen. Kaikkien palautusmenetelmien kohdalla havaittiin kuitenkin tilastollisesti erittäin merkitsevä veren laktaattipitoisuuden nousu 5 minuuttia kuormituksen päättymisestä. Kun kuormituksen päättymisestä oli kulunut 40 minuuttia, tilastollisesti merkitsevä ero lähtötilanteeseen havaittiin kaikkien muiden palautusmenetelmien jälkeen paitsi termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen, jossa laktaattipitoisuus oli palautunut jo lähelle lähtötasoa. Tunti kuormituksen päättymisestä tilastollisesti merkitsevä ero lähtötilanteeseen havaittiin ainoastaan pelkän aktiivisen palautumisen jälkeen. Veren laktaattipitoisuuden tulokset kussakin aikapisteessä on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Veren laktaattipitoisuus (mmol/l) ennen kuormitusta sekä 5, 40 ja 60 minuuttia sen jälkeen (n = 9).

	Pre	Post 5 min	Post 40 min	Post 60 min
ACT	1.48 ± 0.24	14.58 ± 2.17***	4.42 ± 1.09***	2.98 ± 1.34*
CWI	1.73 ± 0.41	14.88 ± 3.17***	4.13 ± 1.36***	2.79 ± 1.10
TWI	1.76 ± 0.65	15.37 ± 2.32***	4.75 ± 3.64	2.23 ± 0.59
CWT	1.58 ± 0.37	14.54 ± 3.17***	3.18 ± 0.96*	2.34 ± 0.53

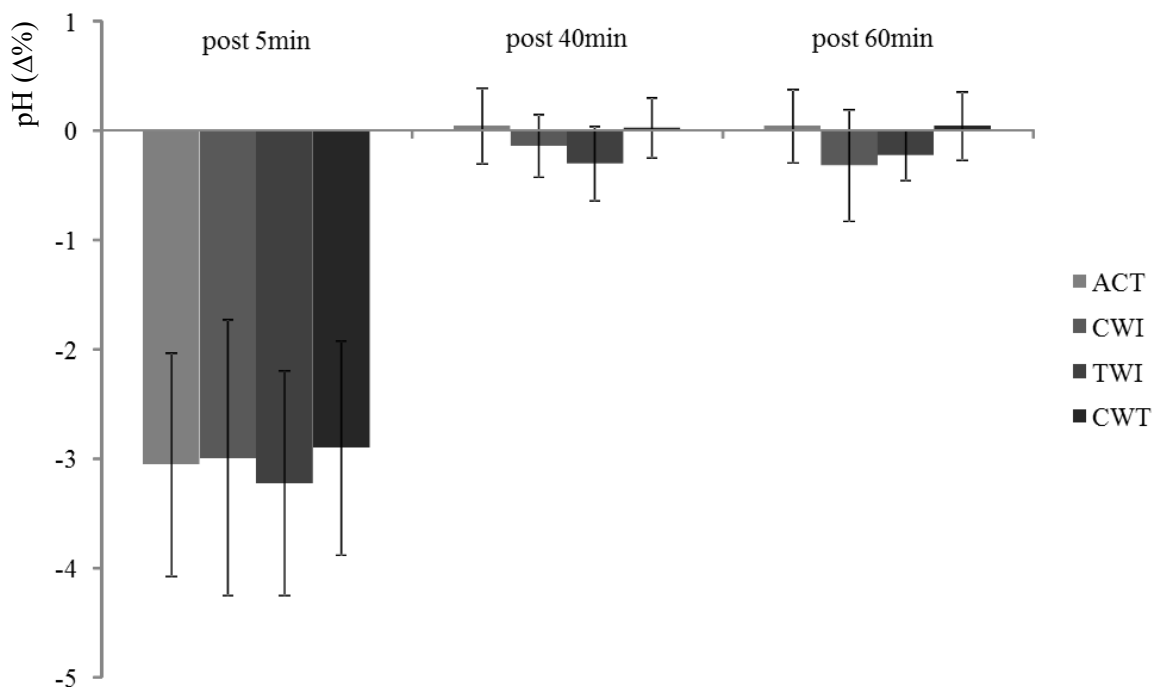
ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraali-vesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero verrattuna lähtöarvoon, *** p < 0,005 ero verrattuna lähtöarvoon.

Veren pH:ssa ei havaittu tilastollisia eroja ryhmien välillä 5, 40 ja 60 minuuttia kuormituksen jälkeen. Kun tuloksia verrattiin lähtötilanteeseen palautusmenetelmän sisällä, pH oli laskenut tilastollisesti erittäin merkitsevästi 5 minuuttia kuormituksen päättymisestä kaikissa palautumismenetelmissä. 40 ja 60 minuuttia kuormituksen päättymisestä tulokset olivat palautuneet kaikissa palautusmenetelmissä lähtötasoon. pH:n absoluuttiset arvot on kuvattu taulukossa 7 ja muutosprosentit verrattuna lähtötilanteeseen kuvassa 11.

TAULUKKO 7. pH:n tulokset ennen kuormitusta sekä 5, 40 ja 60 minuuttia kuormituksen jälkeen (n = 9).

	Pre	Post 5 min	Post 40 min	Post 60 min
ACT	7.40 ± 0.02	7.17 ± 0.08 ***	7.40 ± 0.02	7.40 ± 0.01
CWI	7.41 ± 0.02	7.18 ± 0.09 ***	7.39 ± 0.02	7.38 ± 0.03
TWI	7.42 ± 0.02	7.18 ± 0.07 ***	7.40 ± 0.02	7.40 ± 0.01
CWT	7.41 ± 0.02	7.20 ± 0.07 ***	7.41 ± 0.03	7.41 ± 0.03

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. *** p < 0,005 ero verrattuna lähtöarvoon.



KUVA 11. pH:n prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

10.4 Koettu lihaskipu ja rentous

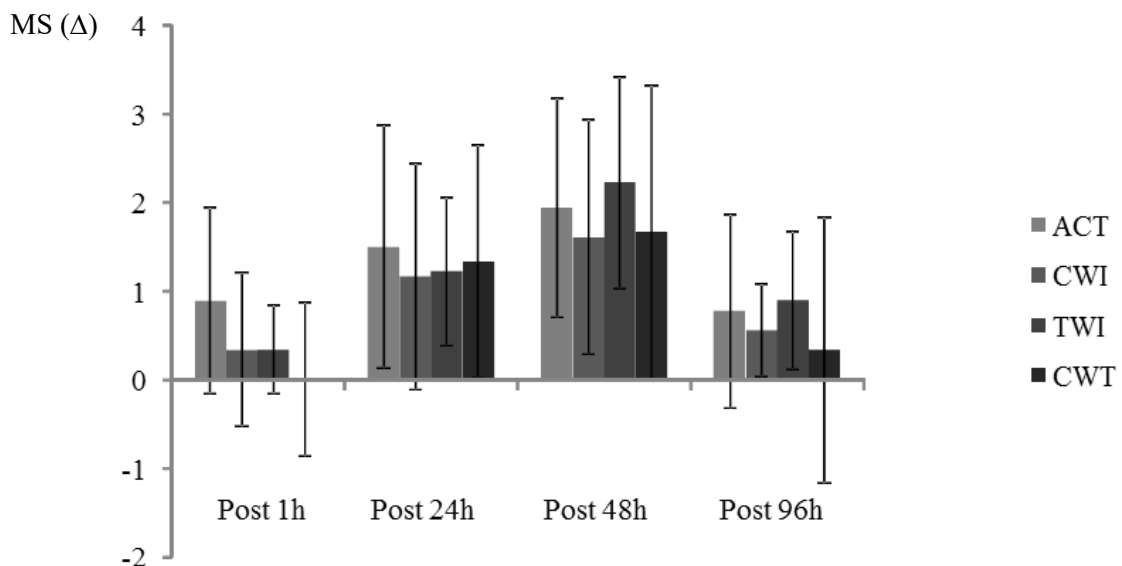
Koehenkilöiden kokemassa lihaskivussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja palautusmenetelmien välillä. Verrattuna lähtötilanteeseen lihaskipu kasvoi tilastollisesti merkitsevästi jokaisen palautusmenetelmän jälkeen 24 ja 48 tuntia kuormituksen päättymisestä. Tunti

kuormituksen päättymisestä lihaskipu kuitenkin poikkesi tilastollisesti merkitsevästi ainoastaan pelkän aktiivisen palautumisen jälkeen, jolloin lihaskipu oli lisääntynyt verrattuna lähtötasoon. 96 tuntia kuormituksen päättymisestä lihaskipu oli tilastollisesti merkitsevästi lähtötason yläpuolella ainoastaan kylmävesihoidon sekä termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen. Lihaskivun arviot kussakin aikapisteessä on esitetty taulukossa 8 ja absoluuttiset muutokset verrattuna lähtötilanteeseen kuvassa 12.

TAULUKKO 8. Koehenkilöiden arvioimat lihaskivun arvot asteikolla 1–5 (n = 9).

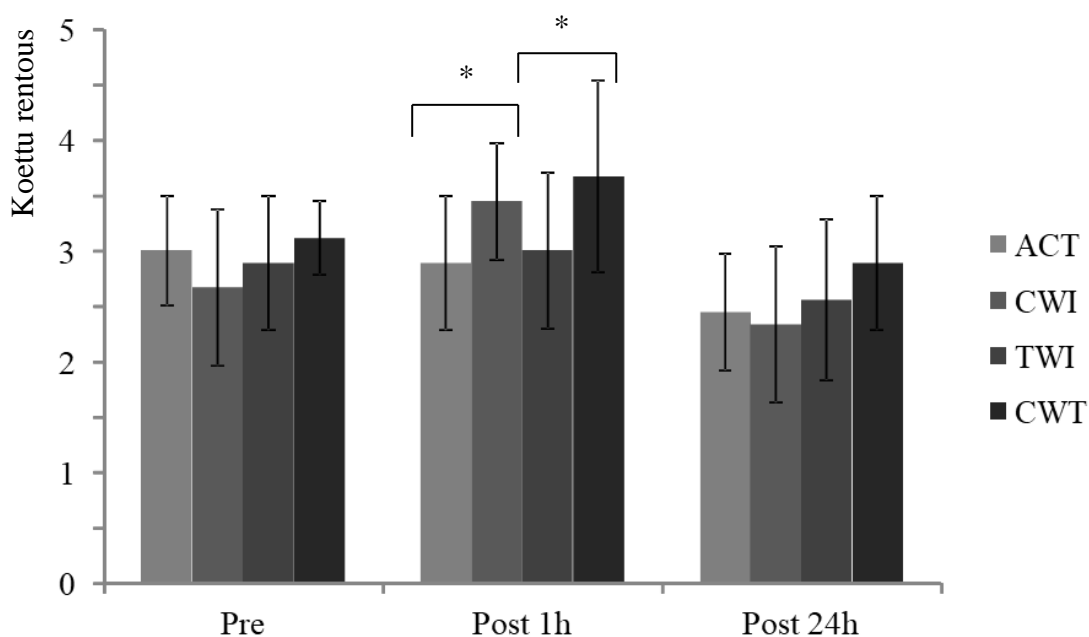
	Pre	Post 1h	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	0.3 ± 0.7	1.2 ± 1.0 *	1.8 ± 1.4 *	2.3 ± 1.4 *	1.1 ± 1.1
CWI	0.1 ± 0.3	0.4 ± 0.7	1.3 ± 1.1 *	1.7 ± 1.2 *	0.7 ± 0.5 *
TWI	0.1 ± 0.3	0.4 ± 0.5	1.3 ± 0.7 *	2.3 ± 1.2 *	1.0 ± 0.7 *
CWT	0.4 ± 0.5	0.4 ± 0.7	1.8 ± 1.1 *	2.1 ± 1.5 *	0.8 ± 1.3

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero verrattuna lähtöarvoon.



KUVA 12. Koehenkilöiden arvioiman lihaskivun absoluuttiset muutokset verrattuna lähtötilanteeseen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, MS = lihaskipu, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

Koehenkilöt arvioivat kokemaansa rentoutta osana POMS-kyselyä. Tunti kuormituksen päättymisestä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero absoluuttisissa rentouden arvioissa sekä aktiivisen palautumisen ja kylmävesihoidon välillä että termoneutraalin vesiupotuksen ja kontrastivesihoidon välillä. Havatuissa eroissa rentouden kokemus oli suurempi kylmävesihoidon sekä kontrastivesihoidon jälkeen. 24 tuntia kuormituksen päättymisestä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä. Koehenkilöiden arvioiman rentouden kokemukset ennen kuormitusta, tunti kuormituksen jälkeen sekä 24 tuntia kuormituksen jälkeen on kuvattu kuvassa 13.



KUVA 13. Koetun rentouden absoluuttiset arvot asteikolla 1–5 (n = 9). ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero ryhmien välillä.

10.5 Seerumin kreatiinikinaasi-, myoglobiini- ja CRP-pitoisuus

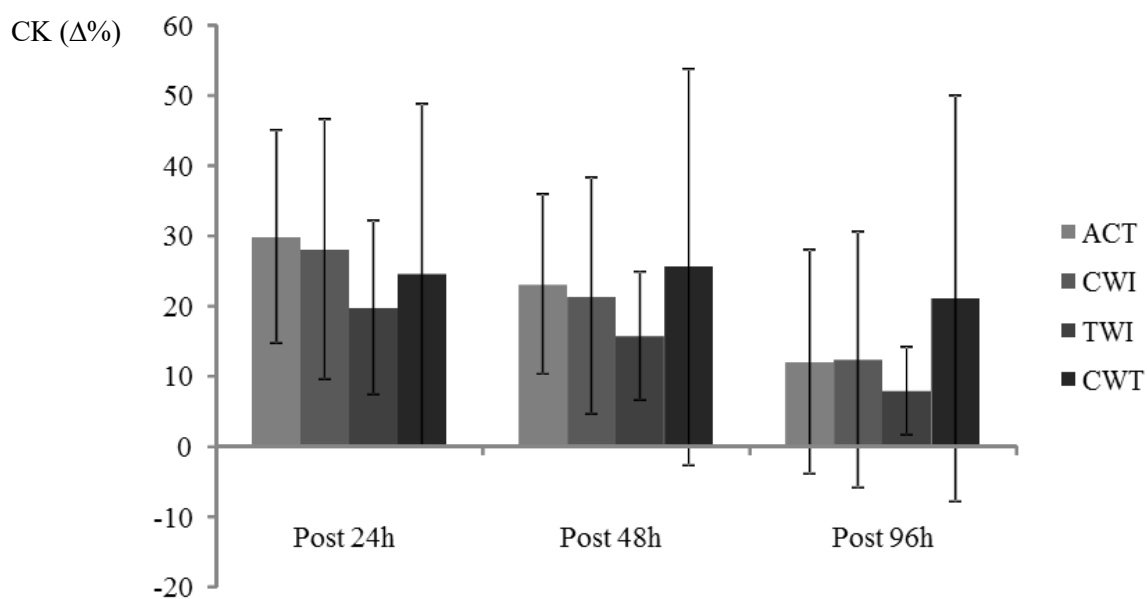
Seerumin kreatiinikinaasin aktiivisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä missään aikapisteessä. Lähtötilanteeseen verrattuna CK-aktiivisuus oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi 24 ja 48 tuntia kuormituksen päättymisestä kaikkien palautumismenetelmien kohdalla. 96 tuntia kuormituksen jälkeen CK-aktiivisuus ei enää poikennut tilastollisesti merkitsevästi lähtötilanteesta missään palautumismenetelmässä. CK-aktiivisuuden ana-

lysoinnissa käytettiin luonnollisella logaritmillä sekä lähtötilanteen arvoilla korjattuja arvoja. Tarkemmin absoluuttiset CK-aktiivisuudet kussakin aikapisteessä ovat kuvattuna taulukossa 9 ja prosentuaaliset muutokset lähtötilanteeseen verrattuna kuvassa 14.

TAULUKKO 9. Seerumin logaritmikorjatut kreatiinikinaasin aktiivisuus (U/l) ennen kuormitusta sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen (n = 9).

	Paasto	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	4.97 ± 0.63	6.39 ± 0.69 ***	6.09 ± 0.85 **	5.56 ± 1.05
CWI	4.84 ± 0.38	6.18 ± 0.90 *	5.86 ± 0.80 *	5.41 ± 0.80
TWI	5.05 ± 0.52	6.04 ± 0.89 *	5.84 ± 0.73 **	5.44 ± 0.63
CWT	5.43 ± 0.74	6.61 ± 0.64 **	6.66 ± 0.90 *	6.43 ± 1.08

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, paasto = paastotilassa otettu näyte ennen kuormitusta, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero verrattuna lähtöarvoon, ** p < 0,01 ero verrattuna lähtöarvoon, *** p < 0,005 ero verrattuna lähtöarvoon.



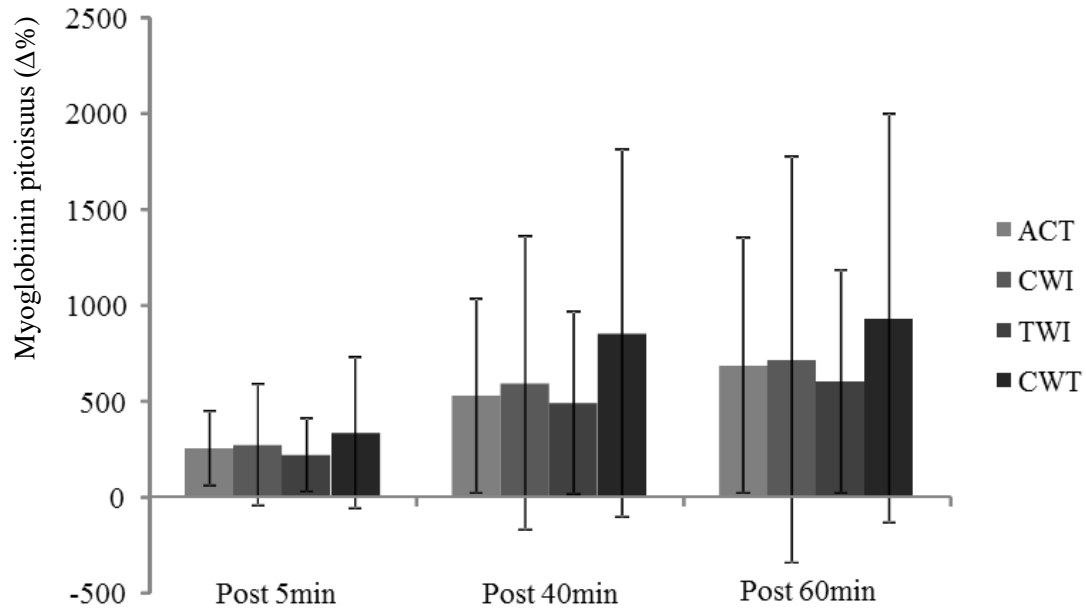
KUVA 14. Seerumin kreatiinikinaasin aktiivisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, CK = kreatiinikinaasin aktiivisuus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

Seerumin myoglobiinipitoisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä missään aikapisteessä. Seerumin myoglobiinipitoisuus kohosi tilastollisesti merkitsevästi jokaisen palautusmenetelmän jälkeen aikapisteissä 5, 40 ja 60 minuuttia verrattuna lähtötasoon. 24 tuntia kuormituksen jälkeen seerumin myoglobiinipitoisuus oli enää tilastollisesti merkitsevästi koholla pelkän aktiivisen palautumisen sekä kylmävesihoidon jälkeen. 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen missään palautusmenetelmässä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa verrattuna lähtötilanteeseen. Myoglobiinipitoisuudet kussakin aikapisteessä on kuvattu taulukossa 10 sekä prosentuaaliset muutokset verrattuna lähtötilanteeseen kuvassa 15 ja 16.

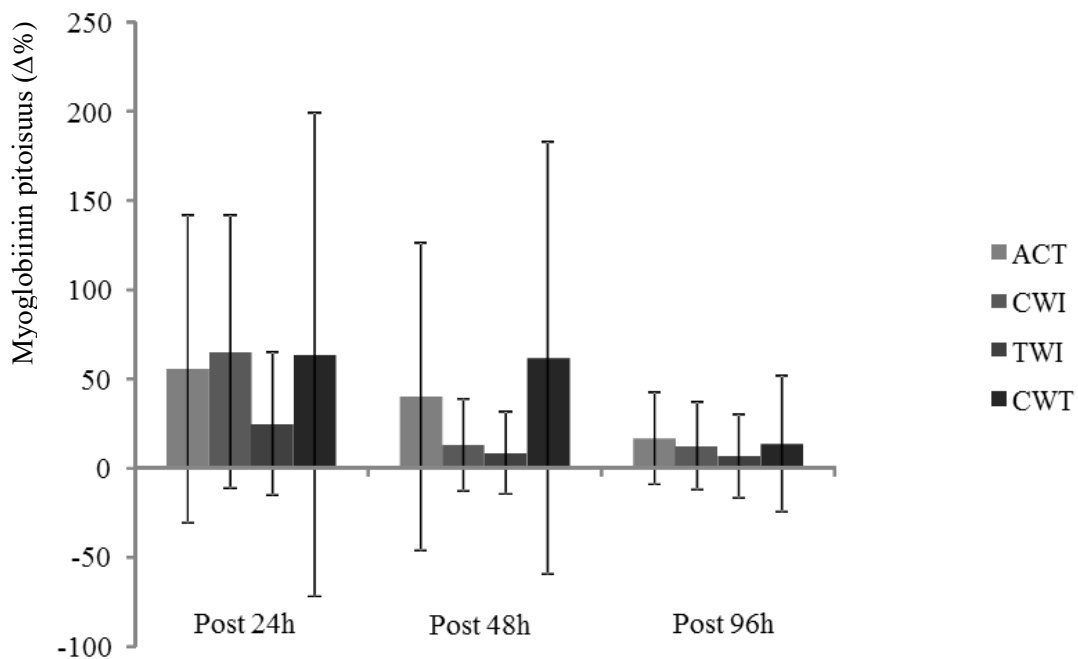
TAULUKKO 10. Seerumin myoglobiinipitoisuus (mg/l) ennen kuormitusta, 5, 40 ja 60 minuuttia sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen (n = 9).

	Paasto	Pre	Post 5min	Post 40min	Post 60min	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	29 ± 8	30 ± 7	107 ± 78 **	196 ± 200 **	245 ± 260 **	47 ± 37 ^	43 ± 37	33 ± 10
CWI	29 ± 6	35 ± 18	109 ± 93 **	205 ± 220 **	241 ± 303 **	48 ± 24 ^	33 ± 8	32 ± 5
TWI	31 ± 6	32 ± 8	104 ± 83 **	200 ± 214 **	238 ± 260 **	39 ± 18	34 ± 12	33 ± 8
CWT	34 ± 12	33 ± 12	121 ± 73 **	265 ± 195 **	282 ± 212 **	46 ± 21	46 ± 17	36 ± 12

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, paasto = paastotilassa otettu näyte ennen kuormitusta, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. ** p < 0,01 ero verrattuna prearvoon, ^ p < 0,05 ero paastoarvoon.



KUVA 15. Seerumin myoglobiinipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 5, 40 ja 60 minuuttia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.



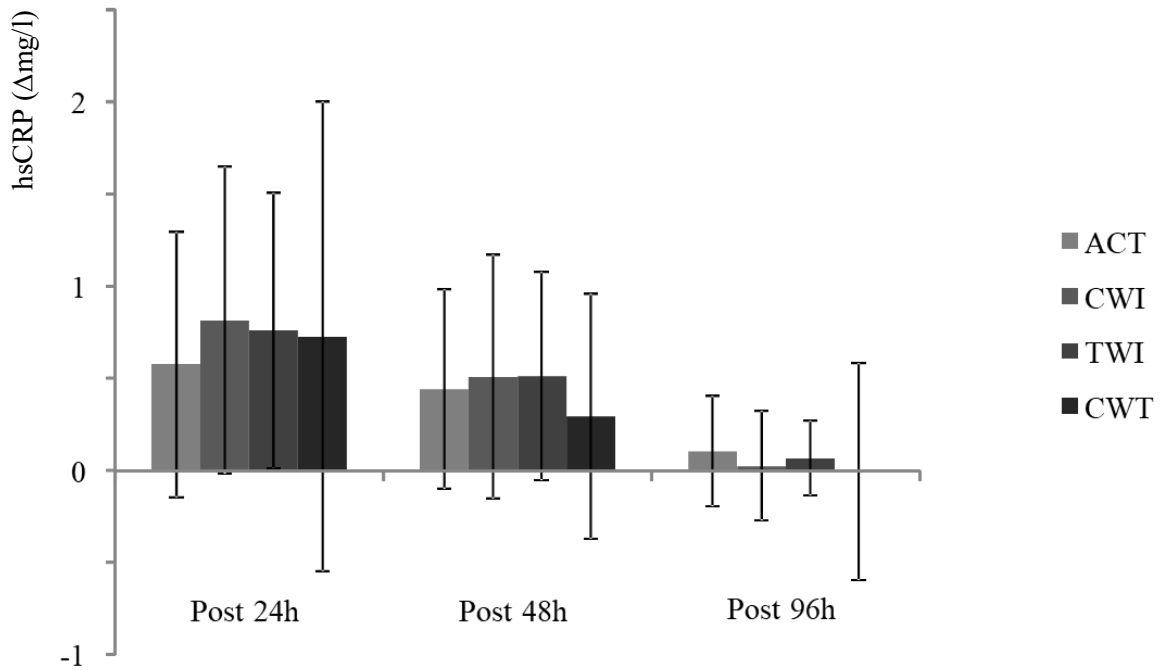
KUVA 16. Seerumin myoglobiinipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

Seerumin korkea sensitiivisen C-reaktiivisen proteiinin (hsCRP) pitoisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä missään aikapisteessä. Kaikkien palautumismenetelmien, paitsi kontrastihoidon, kohdalla 24 tuntia kuormituksen päättymisestä hsCRP-pitoisuus oli tilastollisesti korkeampi lähtötilanteeseen verrattuna. Kun kuormituksen päättymisestä oli kulunut 48 tuntia, ainoastaan kylmävesihoidon jälkeen hsCRP oli vielä tilastollisesti merkitsevästi kohonnut verrattuna lähtötilanteeseen. 96 tuntia kuormituksen päättymisestä hsCRP-pitoisuus ei eronnut tilastollisesti lähtötilanteesta minkään palautumismenetelmän kohdalla. hsCRP:n absoluuttiset pitoisuudet on esitetty taulukossa 11 ja absoluuttiset muutokset verrattuna lähtötilanteeseen kuvassa 17.

TAULUKKO 11. Seerumin hsCRP-pitoisuus (mg/l) ennen kuormitusta sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen (n = 8).

	Paasto	Post24h	Post48h	Post96h
ACT	0.34 ± 0.23	0.91 ± 0.80 *	0.78 ± 0.66	0.44 ± 0.43
CWI	0.57 ± 0.76	1.38 ± 1.45 *	1.08 ± 1.29 *	0.59 ± 0.75
TWI	0.38 ± 0.33	1.14 ± 1.00 *	0.89 ± 0.81	0.45 ± 0.44
CWT	0.71 ± 1.22	1.43 ± 1.47	1.00 ± 1.09	0.70 ± 0.83

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, paasto = paastotilassa otettu näyte ennen kuormitusta, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero verrattuna paastoarvoon.



KUVA 17. Seerumin hsCRP-pitoisuuden absoluuttinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

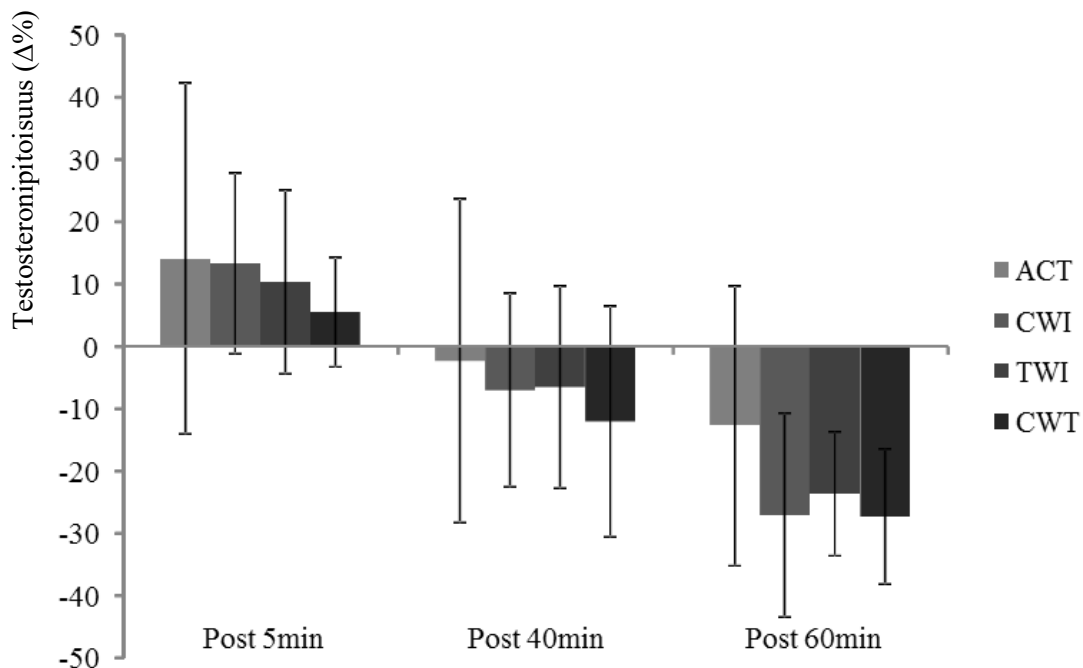
10.6 Veren testosteroni- ja stressihormonien pitoisuudet

Seerumin testosteronipitoisuudessa ei havaittu eroja palautusmenetelmien välillä missään aikapisteessä. Seerumin testosteronipitoisuus poikkesi kuormitusta edeltäneestä mittauksesta kylmävesihoidon, termoneutraalin vesiupotuksen sekä kontrastihoidon jälkeen, kun kuormituksesta oli kulunut 60 minuuttia. Aktiivisen palautumisen kohdalla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa tässä aikapisteessä, kun tulosta verrattiin kuormitusta edeltäneeseen mittaukseen. Kun kuormituksen päättymisestä oli kulunut 5 ja 40 minuuttia sekä 24, 48 ja 96 tuntia, testosteronipitoisuus ei poikennut tilastollisesti merkitsevästi lähtötilanteesta minkään palautusmenetelmän kohdalla. Seerumin testosteronipitoisuuden absoluuttiset arvot on kuvattu taulukossa 12 ja muutosprosentit verrattuna lähtötilanteeseen kuvassa 18 ja 19.

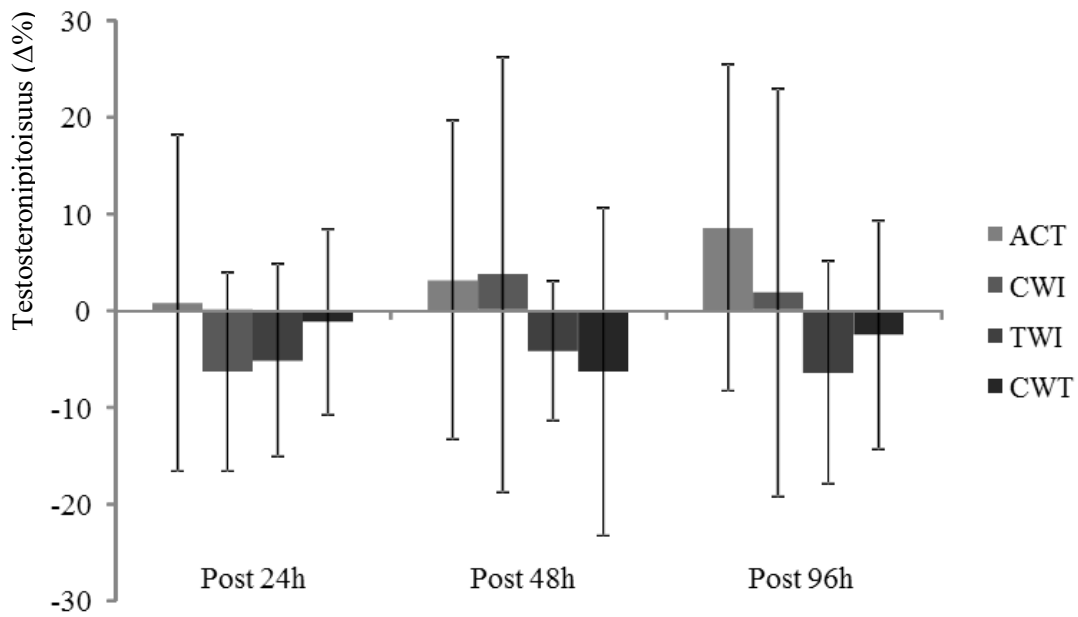
TAULUKKO 12. Seerumin testosteronipitoisuus (nmol/l) ennen kuormitusta, 5, 40 ja 60 minuuttia sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen (n = 9).

	Paasto	Pre	Post 5min	Post 40min	Post 60min	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	17.3 ± 4.4	14.5 ± 3.6	16.9 ± 6.4	14.4 ± 5.6	12.9 ± 5.1	17.0 ± 3.4	17.4 ± 3.7	18.2 ± 3.0
CWI	18.1 ± 4.2	15.6 ± 2.9	17.9 ± 4.8	14.7 ± 4.5	11.5 ± 3.8**	16.8 ± 3.3	18.0 ± 5.5	17.6 ± 1.6
TWI	18.8 ± 3.3	16.5 ± 3.4	18.0 ± 4.0	15.4 ± 4.3	12.6 ± 3.2***	17.8 ± 4.1	17.8 ± 2.6	17.6 ± 4.0
CWT	17.7 ± 3.4	14.7 ± 2.5	15.5 ± 2.8	12.9 ± 3.3	10.7 ± 2.6***	17.3 ± 3.1	16.2 ± 3.1	17.0 ± 2.9

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, paasto = paastotilassa otettu näyte ennen kuormitusta, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. ** p < 0,01 ero verrattuna pre-arvoon, *** p < 0,005 verrattuna pre-arvoon.



KUVA 18. Testosteronipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 5, 40 ja 60 minuuttia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.



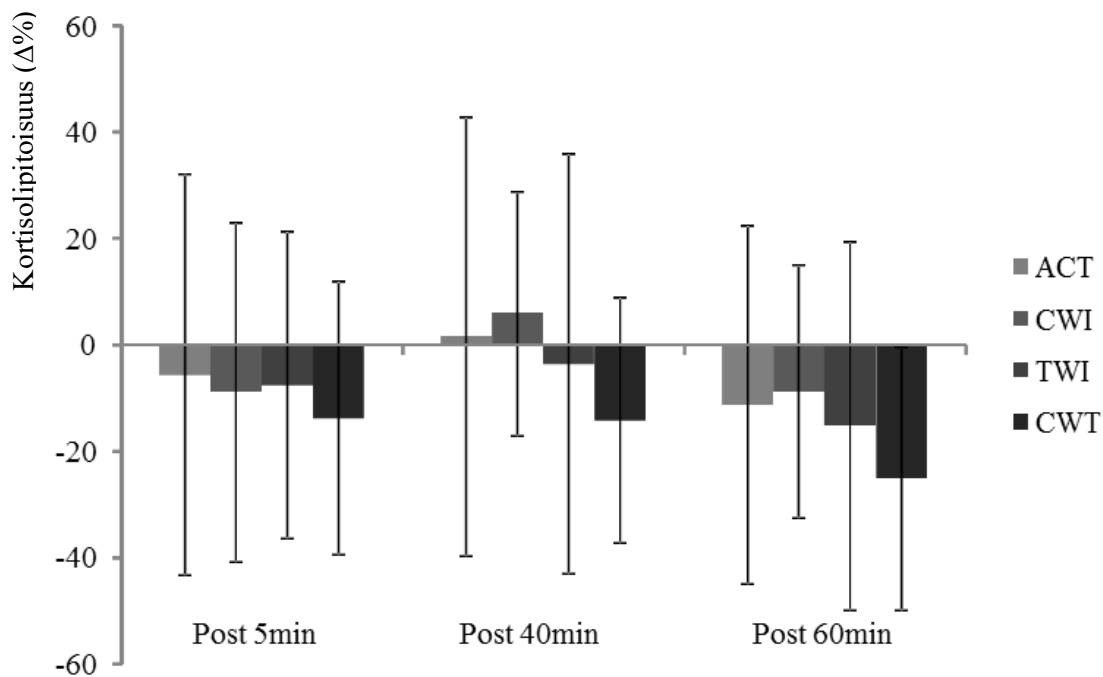
KUVA 19. Seerumin testosteronipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

Seerumin kortisolipitoisuudessa ei havaittu palautusmenetelmien välillä tilastollista eroa, kun kuormituksesta oli kulunut 5, 40 ja 60 minuuttia sekä 24 ja 96 tuntia. Termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen veren kortisolipitoisuuden muutosprosentin havaittiin kuitenkin olevan tilastollisesti merkitsevästi korkeammalla kuin pelkän aktiivisen palautumisen jälkeen, kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia. Kun veren kortisolipitoisuuksia verrattiin palautusmenetelmän sisällä lähtöarvoihin, ei missään aikapisteessä havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Seerumin kortisolipitoisuuden absoluuttiset arvot on kuvattu taulukossa 13 ja muutosprosentit verrattuna lähtöarvoihin kuvissa 20 ja 21.

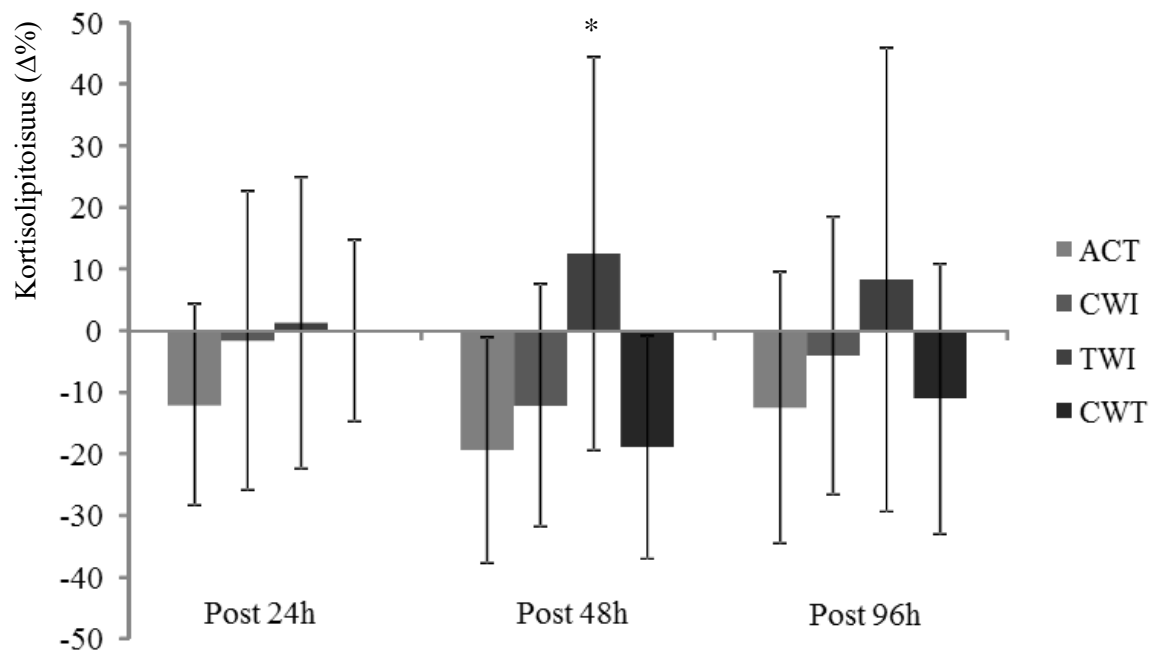
TAULUKKO 13. Seerumin kortisolipitoisuus (nmol/l) ennen kuormitusta, 5, 40 ja 60 minuuttia sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen (n = 9).

	Paasto	Pre	Post 5min	Post 40min	Post 60min	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	547 ± 108	469 ± 89	444 ± 190	469 ± 184	409 ± 150	474 ± 94	440 ± 121	464 ± 105
CWI	451 ± 67	431 ± 50	394 ± 153	458 ± 129	395 ± 132	434 ± 88	388 ± 70	424 ± 78
TWI	458 ± 97	482 ± 116	430 ± 136	448 ± 161	391 ± 138	451 ± 99	502 ± 133	471 ± 104
CWT	488 ± 81	486 ± 82	420 ± 146	410 ± 110	357 ± 12	486 ± 97	403 ± 136	430 ± 112

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, paasto = paastotilassa otettu näyte ennen kuormitusta, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.



KUVA 20. Seerumin kortisolipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 5, 40 ja 60 minuuttia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.



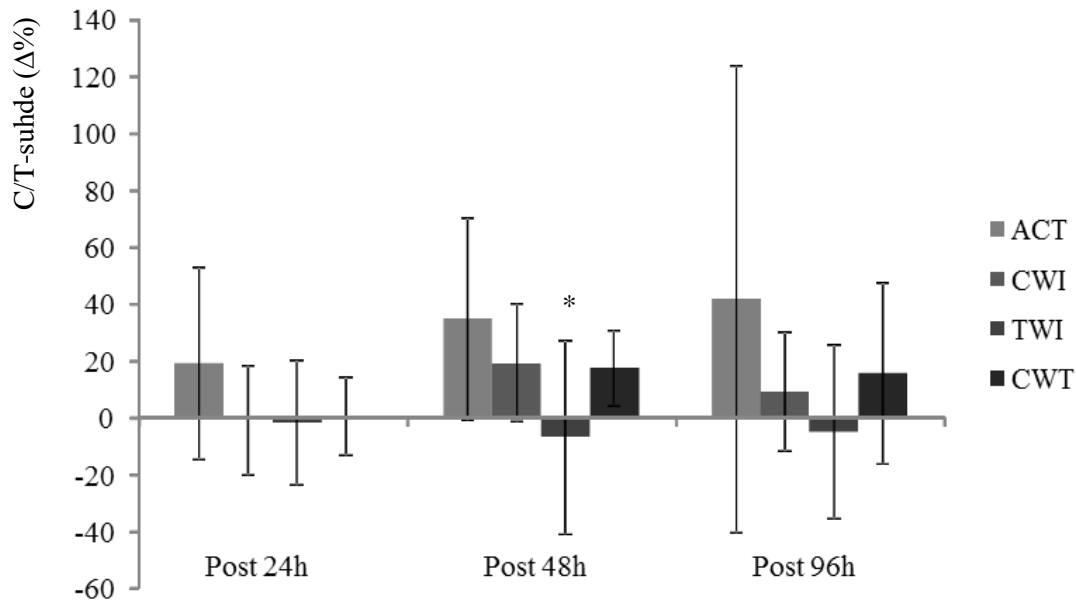
KUVA 21. Seerumin kortisolipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * $p < 0,05$ verrattuna pelkkään aktiiviseen palautumisen.

Veren testosteroni-kortisoli-suhteessa ei havaittu palautusmenetelmien välillä tilastollista eroa, kun kuormituksesta oli kulunut 5, 40 ja 60 minuuttia sekä 24 ja 96 tuntia. Termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen testosteroni-kortisoli-suhteen muutosprosentin havaittiin kuitenkin olevan tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi kuin aktiivisen palautumisen jälkeen, kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia. Kun testosteroni-kortisoli-suhdetta verrattiin palautusmenetelmän sisällä lähtöarvoihin, havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ainoastaan kontrastivesihoidossa, jossa suhde oli 48 tuntia kuormituksen päättymisestä tilastollisesti korkeampi verrattuna lähtöarvoon. Testosteroni-kortisoli-suhteen arvot on esitetty taulukossa 14 sekä prosentuaalinen muutos verrattuna lähtöarvoon kuvassa 22.

TAULUKKO 14. Testosteroni-kortisoli-suhde ennen kuormitusta, 5, 40 ja 60 minuuttia sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen (n = 9).

	Paasto	Pre	Post 5min	Post 40min	Post 60min	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	0.034 ± 0.014	0.032 ± 0.011	0.047 ± 0.029	0.038 ± 0.027	0.036 ± 0.020	0.037 ± 0.011	0.044 ± 0.019	0.041 ± 0.012
CWI	0.041 ± 0.010	0.036 ± 0.007	0.051 ± 0.025	0.033 ± 0.011	0.031 ± 0.010	0.041 ± 0.012	0.048 ± 0.011	0.044 ± 0.011
TWI	0.043 ± 0.012	0.036 ± 0.011	0.046 ± 0.020	0.037 ± 0.013	0.035 ± 0.013	0.041 ± 0.012	0.039 ± 0.015	0.039 ± 0.010
CWT	0.038 ± 0.013	0.032 ± 0.011	0.043 ± 0.021	0.033 ± 0.012	0.034 ± 0.016	0.038 ± 0.014	0.045 ± 0.018 *	0.042 ± 0.015

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, paasto = paastotilassa otettu näyte ennen kuormitusta, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero paastoarvoon.



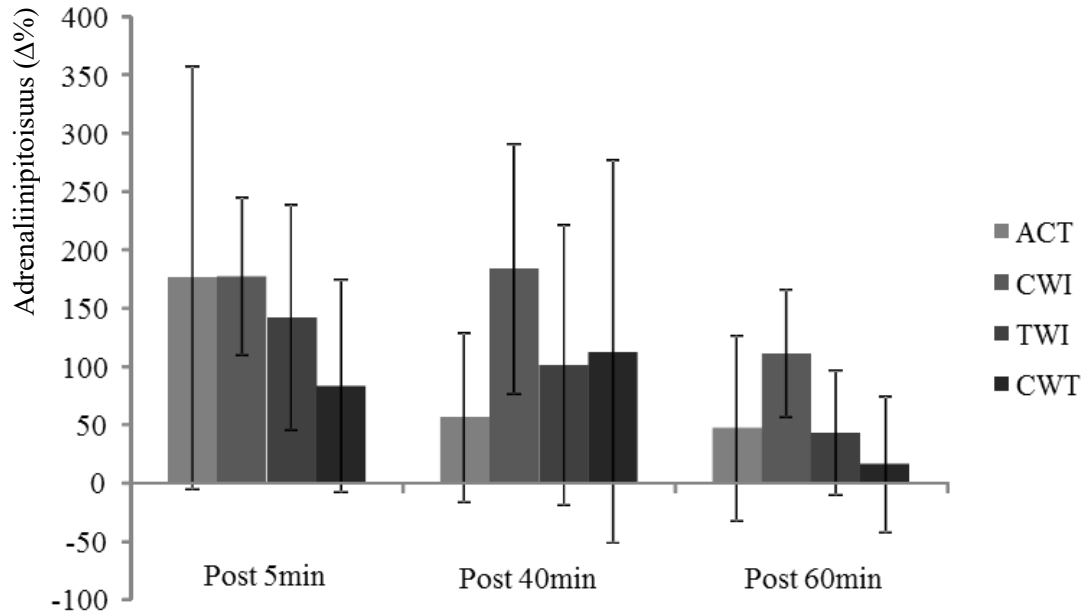
KUVA 22. Testosteroni-kortisoli-suhteen prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, C/T-suhde = kortisoli-testosteroni-suhde, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 verrattuna pelkkään aktiiviseen palautumisen.

Plasman adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä missään mittauspisteessä. Adrenaliinipitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi lähtötilannetta korkeammalla 5 minuuttia kuormituksen jälkeen pelkän aktiivisen palautumisen, kylmävesihoidon ja termoneutraalin vesiupotuksen ryhmillä. Kylmävesihoidon jälkeen adrenaliinipitoisuus oli vielä tilastollisesti merkitsevästi koholla, kun kuormituksesta oli kulu-
nut 40 minuuttia. Muiden palautusmenetelmien kohdalla adrenaliinipitoisuus ei poikennut tilastollisesti merkitsevästi lähtötilanteesta tässä aikapisteessä. Kun kuormituksen päättymi-
sestä oli kulunut 24 ja 48 tuntia, adrenaliinipitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi lähtötilan-
teen alapuolella pelkän aktiivisen palautumisen ja kylmävesihoidon jälkeen. Minkään palau-
tusmenetelmän kohdalla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa, kun kuormituksesta oli
kulunut 96 tuntia. Plasman adrenaliinipitoisuus on kuvattu taulukossa 15 sekä adrenaliinipi-
toisuuden prosentuaaliset muutokset on kuvattu kuvissa 23 ja 24.

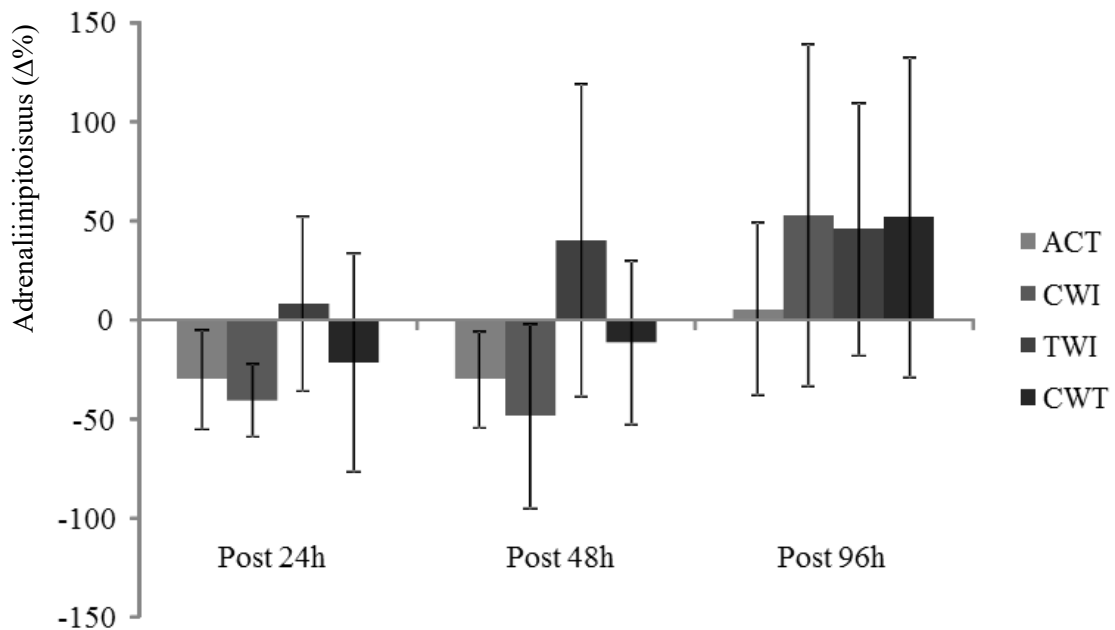
TAULUKKO 15. Plasman adrenaliinipitoisuus (ng/ml) ennen kuormitusta, 5, 40 ja 60 mi-
nuuttia sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen (n = 9).

	Paasto	Pre	Post 5min	Post 40min	Post 60min	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	0.34 ± 0.15	0.23 ± 0.08	0.48 ± 0.36 *	0.29 ± 0.13	0.24 ± 0.13	0.21 ± 0.06 ^	0.23 ± 0.09 ^	0.35 ± 0.10
CWI	0.32 ± 0.19	0.21 ± 0.10	0.39 ± 0.13 **	0.34 ± 0.17 *	0.31 ± 0.12	0.18 ± 0.10 ^^	0.19 ± 0.09 ^	0.35 ± 0.13
TWI	0.25 ± 0.08	0.23 ± 0.11	0.44 ± 0.29 *	0.31 ± 0.19	0.22 ± 0.14	0.21 ± 0.11	0.27 ± 0.17	0.33 ± 0.11
CWT	0.27 ± 0.15	0.24 ± 0.15	0.35 ± 0.18	0.36 ± 0.14	0.23 ± 0.10	0.19 ± 0.13	0.21 ± 0.09	0.36 ± 0.18

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraali-
vesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, paasto = paastotilassa otettu näyte ennen kuormitusta,
pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero
verrattuna pre-arvoon, ** p < 0,01 ero verrattuna pre-arvoon, ^ p < 0,05 ero verrattuna paas-
toarvoon, ^^ p < 0,01 ero verrattuna paastoarvoon.



KUVA 23. Plasman adrenaliinipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 5, 40 ja 60 minuuttia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.



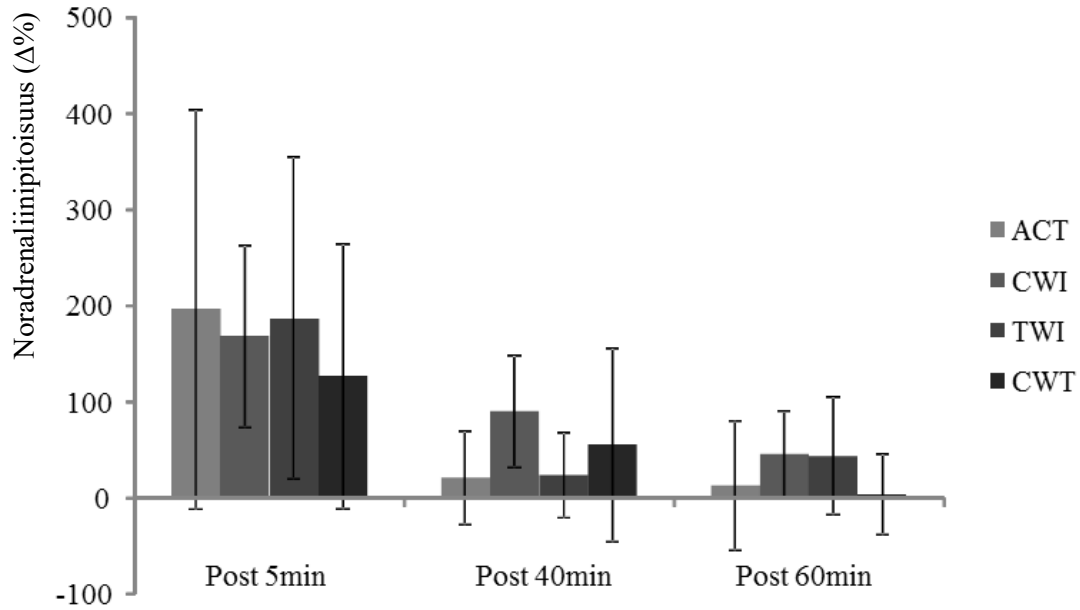
KUVA 24. Plasman adrenaliinipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

Plasman noradrenaliinipitoisuuden havaittiin olevan lähtötilanteeseen verrattuna tilastollisesti merkitsevästi korkeampi jokaisen palautusmenetelmän kohdalla, kun kuormituksesta oli kulunut 5 minuuttia. Kylmävesihoidon kohdalla noradrenaliinipitoisuus oli vielä tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna lähtötilanteeseen, kun kuormituksesta oli kulunut 40 minuuttia. Lisäksi noradrenaliinipitoisuuden havaittiin olevan tilastollisesti merkitsevästi lähtötilannetta alhaisempi termoneutraalin vesiupotuksen ja kontrastivesihoidon jälkeen, kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia. Kun kuormituksesta oli kulunut 60 minuuttia sekä 24 ja 96 tuntia, ei minkään palautusmenetelmän kohdalla havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja verrattuna lähtötilanteeseen. Plasman noradrenaliinipitoisuus kussakin aikapisteessä on esitetty taulukossa 16 ja prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen on esitetty kuvissa 25 ja 26.

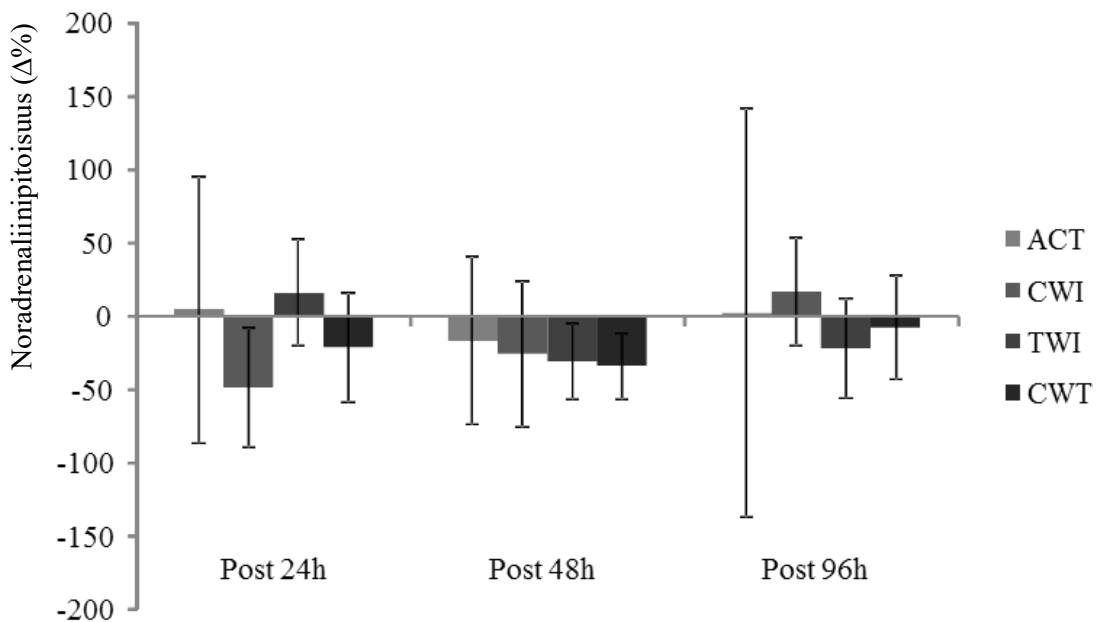
TAULUKKO 16. Plasman noradrenaliinipitoisuus (ng/ml) ennen kuormitusta, 5, 40 ja 60 minuuttia sekä 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen (n = 9).

	Paasto	Pre	Post 5min	Post 40min	Post 60min	Post 24h	Post 48h	Post 96h
ACT	1.10 ± 0.60	1.01 ± 0.40	3.05 ± 3.28 **	1.04 ± 0.47	1.05 ± 0.48	1.08 ± 0.49	0.90 ± 0.30	1.14 ± 0.38
CWI	0.80 ± 0.22	0.83 ± 0.33	1.84 ± 0.76 *	1.28 ± 0.39 *	1.06 ± 0.49	0.56 ± 0.27	0.73 ± 0.37	0.94 ± 0.28
TWI	0.75 ± 0.24	0.79 ± 0.27	1.83 ± 1.14 *	0.79 ± 0.29	0.87 ± 0.47	0.76 ± 0.37	0.49 ± 0.24 ^	0.64 ± 0.21
CWT	0.92 ± 0.42	0.81 ± 0.32	1.54 ± 0.45 *	1.04 ± 0.35	0.80 ± 0.41	0.72 ± 0.48	0.59 ± 0.30 ^	0.87 ± 0.59

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, paasto = paastotilassa otettu näyte ennen kuormitusta, pre = kuormitusta edeltänyt mittaus, post = kuormituksen jälkeinen mittaus. * p < 0,05 ero verrattuna pre-arvoon, ** p < 0,01 ero verrattuna pre-arvoon, ^ p < 0,05 ero verrattuna paastoarvoon.



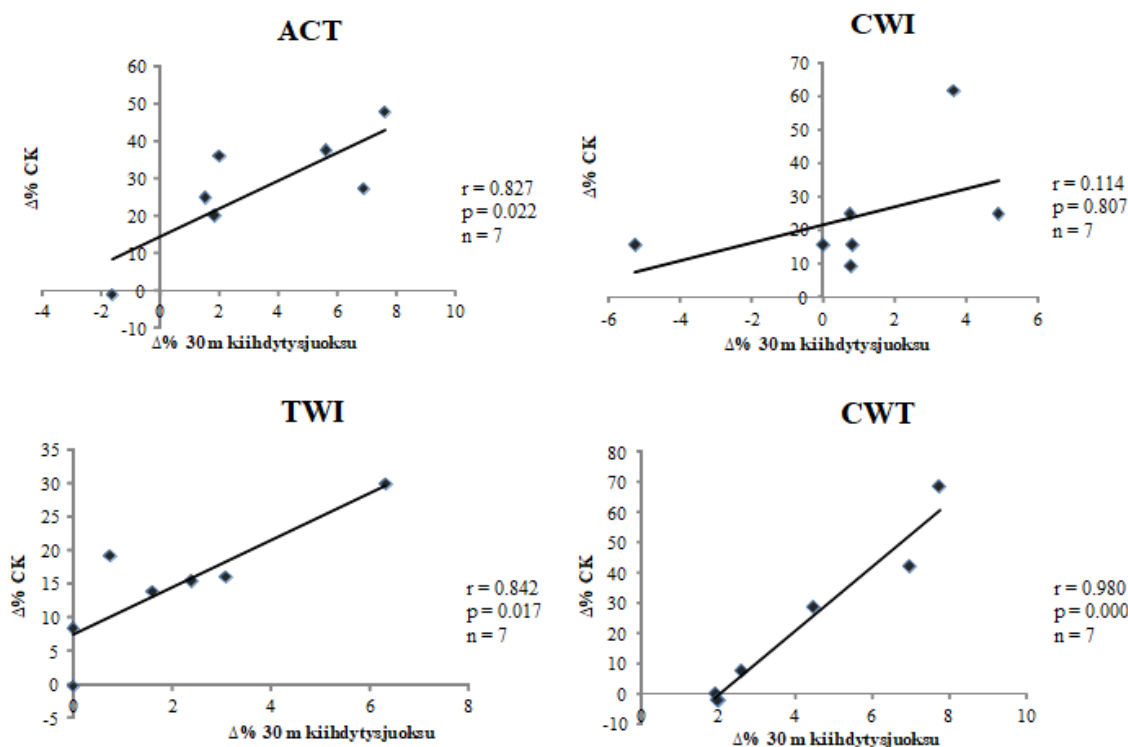
KUVA 25. Plasman noradrenaliinipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 5, 40 ja 60 minuuttia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.



KUVA 26. Plasman noradrenaliinipitoisuuden prosentuaalinen muutos verrattuna lähtötilanteeseen 24, 48 ja 96 tuntia kuormituksen jälkeen. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, post = kuormituksen jälkeinen mittaus.

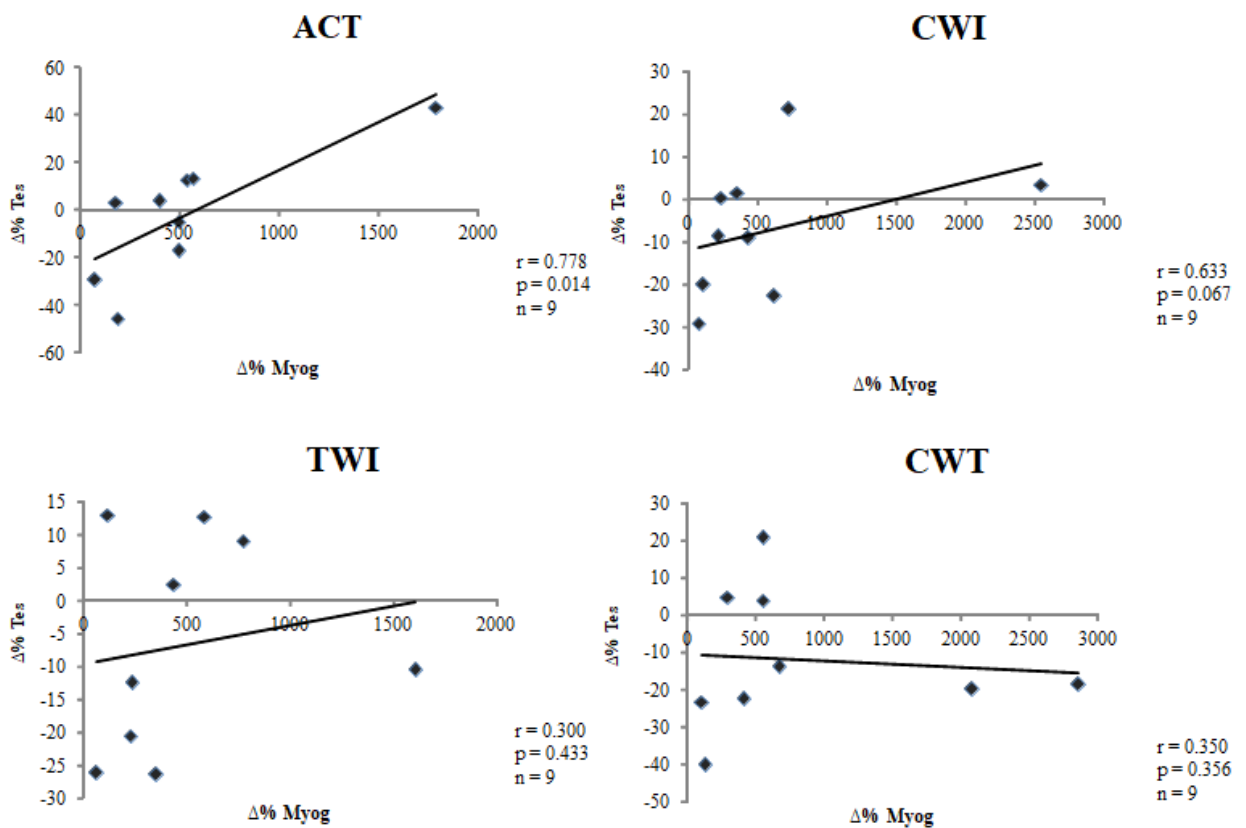
10.7 Lihassoluvauriomarkkereiden yhteys suorituskykymuuttujiin sekä hormoneihin

Suorituskykymuuttujien ja lihassoluvauriomarkkereiden sekä lihassoluvauriomarkkereiden ja hormonien välisiä korrelaatioita tarkasteltiin tulosten analysoinnin yhteydessä. Korrelaatioiden tarkastelussa käytettiin muutosprosenttiarvoja. Pääasiassa korrelaatioissa ei havaittu selkeää linjaa eri muuttujien välillä. Kuvassa 27 on esitetty 30 m kiihdytysjuoksun ja CK-pitoisuuden muutosprosenttien välinen korrelaatio, kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia. Kuvasta havaitaan, että tilastollisesti merkitsevä korrelaatio löydettiin kaikista muista palautusmenetelmistä paitsi kylmävesihoidosta. On kuitenkin huomioitava, että tulosten perusteella suorituskykyä ei voi selittää CK-pitoisuuden avulla tai pelkkien lihassolumarkkereiden avulla, sillä 24 tuntia kuormituksen päättymisestä ainoa tilastollisesti merkitsevä korrelaatio havaittiin termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen ($r = 0.768$, $p = 0.044$). Lisäksi CK-pitoisuuden ja esikevnyshypyn välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita. Myöskään myoglobiinipitoisuuden ja 30 m kiihdytysjuoksun välillä ei löydetty tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota kyseisessä mittauspisteessä.



KUVA 27. Seerumin CK-pitoisuuden ja 30 m kiihdytysjuoksun väliset korrelaatiot, kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, CK = kreatiinikinaasi, r = korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys.

Kuvassa 28 on esitetty testosteroni- ja myoglobiinipitoisuuden väliset korrelaatiot, kun kuormituksen päättymisestä on kulunut 40 minuuttia eli heti palautusmenetelmien päätyttyä. Kuvasta havaitaan, että pelkän aktiivisen palautumisen sekä kylmävesihoidon jälkeen löydettiin vahva korrelaatio. Näistä kuitenkin vain pelkän aktiivisen palautumisen jälkeen korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä. Myös 60 minuuttia kuormituksen päättymisestä aktiivisen palautumisen ryhmällä havaittiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ($r = 0.879$, $p = 0.002$), mutta muiden palautusmenetelmien kohdalla ei havaittu vahvaa korrelaatiota.



KUVA 28. Seerumin testosteroni- ja myoglobiinipitoisuuden väliset korrelaatiot, kun kuormituksesta oli kulunut 40 minuuttia. ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, Tes = tesotosteroni, Myog = myoglobiini, $\Delta\%$ = muutosprosentti verrattuna lähtötilanteeseen, r = korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys.

11 POHDINTA

Päätulokset. Koehenkilöiden kokema rentouden tunne tunnin palautumisen kohdalla oli tilastollisesti merkitsevästi parempi kylmävesimenetelmän ja kontrastivesimenetelmän jälkeen verrattuna aktiiviseen palautumiseen ja lämpöneutraaliin palautumiseen. Suorituskykymittauksissa (30 m kiihdystysjuoksu ja esikevennyshyppy), veren laktaattipitoisuudessa ja pH:ssa, koetussa lihaskivussa sekä lihassoluvauriomarkkereissa (kreatiinikinaasi-, myoglobiini- ja CRP-pitoisuus) ei havaittu eri palautusmenetelmien välisiä tilastollisia eroja.

Kuitenkin saatiin viitteitä, että yksilöllistä suorituskykyhyötyä voi olla akuutissa palautumisessa, kun tuloksia verrattiin palautusmenetelmän sisällä lähtötilanteeseen. Erityisesti kylmävesiupotus ja termoneutraalivesiupotus voisivat edistää akuutisti teho- ja nopeusominaisuuksien palautumista joillakin yksilöillä. Lisäksi termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen havaittiin joillakin koehenkilöillä nopeampi laktaattipitoisuuden palautuminen, kun tuloksia verrattiin palautusmenetelmän sisällä lähtöarvoihin.

Pidempikestoisessa palautumisessa (48 tunnin kohdalla) havaittiin korkeampi seerumin kortisolipitoisuus termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen verrattuna aktiivisen palautumisen jälkeisiin arvoihin. Myös seerumin testosteronipitoisuuden havaittiin olevan kaikkien vesiupotusmenetelmien jälkeen tilastollisesti merkitsevästi lähtötilannetta alhaisempi, kun kuormituksesta oli kulunut 60 minuuttia ja tilannetta verrattiin palautusmenetelmän sisällä lähtöarvoihin. Lisäksi kylmävesihoidon jälkeen havaittiin useilla koehenkilöillä korkeampi adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuus 40 minuuttia kuormituksen jälkeen, kun tuloksia analysoitiin palautusmenetelmien sisällä.

Rentouden tunne ja koettu lihaskipu. Koetussa rentouden tunteessa havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja palautusmenetelmien välillä, mikä on tämän tutkimuksen päätulos. Tunti kuormituksen päättymisestä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero absoluuttisissa rentouden arvioissa sekä aktiivisen palautumisen ja kylmävesihoidon välillä että termoneutraalin vesiupotuksen ja kontrastivesihoidon välillä. Havatuissa eroissa rentouden kokemus oli suurempi kylmävesihoidon sekä kontrastivesihoidon jälkeen.

Koehenkilöiden kokemassa lihaskivussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja palautusmenetelmien välillä. Verrattuna lähtötilanteeseen lihaskipu kasvoi tilastollisesti merkitsevästi jokaisen palautusmenetelmän jälkeen 24 ja 48 tuntia kuormituksen päättymisestä. Tunti kuormituksen päättymisestä lihaskipu kuitenkin poikkesi tilastollisesti merkitsevästi ainoastaan pelkän aktiivisen palautumisen jälkeen, jolloin lihaskipu oli lisääntynyt verrattuna lähtötasoon. 96 tuntia kuormituksen päättymisestä lihaskipu oli tilastollisesti merkitsevästi lähtötasoon yläpuolella ainoastaan kylmävesihoidon sekä termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen. On kuitenkin huomioitava, että vaikka koehenkilöt eivät kokeneet 96 tuntia kontrastihoidon jälkeen tilastollisesti merkitsevää lihaskipua, kolme koehenkilöä ei pystynyt kramppien tai paikallisten lihaskireyksien vuoksi juoksemaan 30 metrin juoksua. Kirjallisuudessa kylmävesihoidon on havaittu ehkäisevän koetun lihaskivun ilmenemistä (Ascensao ym. Bailey ym. 2007, 2011, Elias ym. 2012, Ingram ym. 2009, Minett ym. 2014, Pointon ym. 2012, Rowsell ym. 2014). Toisaalta on myös tutkimuksia, joissa kylmävesihoidon ei ole havaittu ehkäisevän lihaskipua. Näissä tutkimuksissa kuormitus on kuitenkin ollut yhden nivelen eksentrisiä voimaharjoitteita. (Goodall & Howatson 2008, Paddon-Jones & Quigley 1998, Sellwood ym. 2007.) Myös kontrastihoidon vaikutuksista koettuun lihasarkuuteen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Vaile ym. (2008c) sekä Kuligowski ym. (1998) havaitsivat kontrastihoidon lievittävän lihaskivun kokemusta, mutta French ym. (2008), Ingram ym. (2009) sekä Vaile ym. (2007) eivät havainneet kontrastihoidon ehkäisevän lihaskivun ilmenemistä verrattuna passiiviseen palautumiseen. Tämän tutkimuksen tavoin Pournot ym. (2011) eivät havainneet kylmävesihoidon, termoneutraalin vesiupotuksen, kontrastivesihoidon tai passiivisen palautumisen välillä eroja itse koetussa lihasarkuudessa.

Kylmävesihoidon aiheuttaman lihasarkuuden ehkäisemisen uskotaan johtuvan heikentyneestä tulehdusvasteesta. Kuormituksen jälkeinen kylmävesihoito aiheuttaa vasokonstriktiota, joka vaimentaa tulehdusreaktiota laskemalla veri- ja imusuonten läpäisevyyttä. Tämä puolestaan laskee tulehduksellisten tekijöiden ulosvirtausta luurankolihasista. (Eston & Peters 1999.) Vasokonstriktio laskee myös nesteen diffuusiota solun sisään sekä myoproteiinien diffuusiota solun ulkopuoliseen tilaan, minkä uskotaan hillitsevän turvotusta sekä tulehdusreaktiota (Yanagisawa ym. 2003). Vaimentuneen tulehdusreaktion puolestaan on esitetty laskevan kivun tunnetta (Smith 1991, Wilcock ym. 2006 mukaan). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu, että kylmävesihoito olisi hillinnyt tulehduksellisten tekijöiden vapautumista verenkiertoon, joten kirjallisuuden mukaan on ymmärrettävää, ettei koettu lihaskipukaan poikennut muista palautusmenetelmistä.

Tuloksista saatiin kuitenkin viitteitä siitä, että vesiupotusmenetelmät voisivat lievittää lihaskivun tunnetta tunti kuormituksen jälkeen joillakin yksilöillä. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että kylmävesihoito sekä kontrastivesihoito lisäsivät rentouden tunnetta kyseisessä tunnin mittauspisteessä. Huippu-urheilijoille rentouden ja hyvän olon tunne on merkittävä tekijä kilpailusuorituksen yhteydessä (esimerkiksi useita kilpailustartteja yhden päivän aikana) ja itseluotamuksen kannalta. Myös kuntoilijat voivat hyötyä harjoituksen jälkeisestä rentouden tunteesta.

Hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn palautuminen. Hermolihasjärjestelmän suorituskykyä mitattiin maksimaalisella esikevennyshypyn sekä 30 m kiihdytysjuoksun avulla. Kummassakaan suorituskykymittauksessa ei havaittu palautusmenetelmien välillä tilastollisesti merkitseviä eroja. Palautusmenetelmän sisällä tapahtuneissa suorituskyvyn muutoksissa havaittiin kuitenkin tilastollisesti merkitseviä eroja. Esikevennyshypyn tulos heikentyi 24 tuntia kuormituksen jälkeen pelkän aktiivisen palautumisen jälkeen. Lisäksi 30 m kiihdytysjuoksun tulos oli heikentynyt pelkän aktiivisen palautumisen kohdalla 24 tuntia kuormituksen jälkeen sekä kontrastihoidon kohdalla 24 ja 48 tuntia kuormituksen jälkeen. Kylmävesihoidon ja termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen ei havaittu tilastollisesti merkitsevää tuloksen heikkene- mistä missään mittauspisteessä.

Kirjallisuudessa kylmävesihoidon on havaittu olevan tehokkaampi palautumismenetelmä voimantuoton ja tehontuottokyvyn palautumisessa verrattuna termoneutraaliin vesiupotukseen ja kontrastihoidon sekä passiiviseen palautumiseen (Ascensao ym. 2011, Elias ym. 2012, Montgomery ym. 2008, Vieira ym. 2016). Kylmävesihoidon on havaittu edistävän erityisesti esikevennyshypyn ja sprinttisuorituskyvyn palautumista verrattuna muihin vesiupotusmenetelmiin (Elias ym. 2012, Ingram ym. 2009). Lisäksi kuten tässä tutkimuksessa, aktiivisen palautumisen ja kylmävesihoidon välillä ei ole havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa esikevennyshyppytuloksen ja sprinttisuorituskyvyn palautumisessa (King & Duffiel 2009). Myös Pournot ym. (2011) eivät havainneet palautusmenetelmien välillä tilastollisesti merkitseviä eroja, mutta havaitsivat menetelmän sisällä kylmävesihoidon olleen tehokkaampaa hermolihasjärjestelmän palautumisen kannalta kuin passiivinen palautuminen, kontrastihoido sekä termoneutraalivesiupotus. Tämän tutkimuksen tavoin, kirjallisuudessa on saatu hieman näyttöä siitä, että termoneutraalivesiupotus voisi edistää räjähtävän voimantuoton palautumista (Dawson ym. 2005, Takahashi ym. 2006). On kuitenkin huomioitava, että useassa tutkimuk-

sessä (Cortis ym. 2010, Tessitore ym. 2008, Tessitore ym. 2007) termoneutraalin vesiupotuksen ei ole havaittu edistävän hermolihäsjärjestelmän suorituskyvyn palautumista.

Termoneutraalina vedenlämpötilana pidetään 35 °C:sta, sillä se ei aiheuta keskivartalon lämpötilan muutosta pitkässäkään vesiupotushoidossa. Kuitenkin uima-altaissa veden lämpötilana käytetty 21 °C lasketaan usein vielä termoneutraaliksi lämpötilaksi, sillä se aiheuttaa keskivartalon lämpötilassa ainoastaan niukkaa laskua. (Craig & Dvorak 1966.) Kylmävesihoidon optimaalista lämpötilaa etsiessä on havaittu, että 15 °C on parempi lämpötila palautumisen kannalta verrattuna 5 °C:en (Vieira ym. 2016, Yeargin ym. 2006). Lisäksi Vaile ym. (2008a) eivät havainneet eroa palautumisessa 10, 15 ja 20 °C:n lämpötiloissa. Voikin siis olla, että tässä tutkimuksessa termoneutraalissa vesiupotuksessa käytetty 24 °C:n veden lämpötila on ollut yhtä optimaalinen lämpötila palautumisen kannalta kuin kylmävesihoidossa käytetty 10 °C:n veden lämpö, joka on voinut laskea elimistön lämpötilaa liian paljon. Toisaalta vaikuttaisi siltä, että tutkimuksen mahdolliset viitteet hermolihäsjärjestelmän toimintakyvyn palautumisesta toteutuvat pelkän termoneutraalista vesiupotuksesta saatavan hydrostaattisen paineen avulla. Tällöin kylmävesihoidon lämpötilasta riippuvaisille fysiologisille vasteille ei olisi tarvetta.

Anaerobisen suorituskyvyn palautuminen. Anaerobisessa suorituksessa muodostuvaa happamuutta voidaan mitata laktaatti- ja vetyioneina (pH) sekä lihaksesta että verestä. Tässä tutkimuksessa ne mitattiin verestä. Veren laktaattipitoisuudessa ja pH:ssa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa palautusmenetelmien välillä missään aikapisteessä, kun eroa mitattiin prosentuaalisena muutoksena lähtötilanteeseen. Kaikkien palautusmenetelmien kohdalla havaittiin kuitenkin tilastollisesti erittäin merkitsevä veren laktaattipitoisuuden nousu sekä pH:n lasku viisi minuuttia kuormituksen päättymisestä. Kun kuormituksen päättymisestä oli kulunut 40 minuuttia, laktaattipitoisuuden tilastollisesti merkitsevä ero lähtötilanteeseen havaittiin vielä kaikkien muiden palautusmenetelmien jälkeen paitsi termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen, jossa laktaattipitoisuus oli palautunut jo lähelle lähtötasoa. Tunti kuormituksen päättymisestä tilastollisesti merkitsevä ero lähtötilanteeseen havaittiin ainoastaan pelkän aktiivisen palautumisen jälkeen. 40 ja 60 minuuttia kuormituksen päättymisen jälkeen pH:ssa ei havaittu enää tilastollisesti merkitsevää eroa minkään palautusmenetelmän kohdalla.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan siis todeta, ettei aktiivisen palautumisen jälkeen tehtyjen vesiupotusmenetelmien havaittu heikentävän veren laktaattipitoisuuden ja pH:n

palautumista, vaikka kirjallisuudessa onkin havaittu kylmävesihoidon heikentävän laktaattipitoisuuden palautumista verrattuna aktiiviseen palautumiseen (Heikura 2015) sekä termoneutraaliin vesiupotukseen (Rowell ym. 2014). Toisaalta monissa tutkimuksissa kylmävesihoidon jälkeisen laktaattipitoisuuden ja pH:n palautumisen ei ole havaittu eroavan passiivisesta sekä aktiivisesta palautumisesta (Dunne ym. 2013, King & Duffield 2009, Pointon ym. 2012, Stacey ym. 2010). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan löydetty kirjallisuudessa havaittua kontrastihoidon laktaattipitoisuuden palautumista edistävää vaikutusta (Coffey ym. 2004, King & Duffield 2009).

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella havaitaan pieniä viitteitä termoneutraalin vesiupotuksen kyvystä edistää veren laktaattipitoisuuden palautumista. Tämä voi johtua siitä, että termoneutraalissa vedessä hydrostaattinen paine aiheuttaa elimistön nesteiden siirtymistä raajoista kohden keskivartaloa, mikä voi laskea perifeeristä vastusta (Wilcock ym. 2006). Verisuonten vasodilaation onkin havaittu lisäävän metaboliittien, kuten laktaatin, poistoa lihaksista sen parantuneen verenkierron myötä (Coffey ym. 2004). Lisäksi hydrostaattinen paine aiheuttaa myös nesteiden siirtymistä soluvälitilasta intravaskulaariseen tilaan. Tämä nesteiden siirtyminen korvataan nopeasti solun sisäisen tilan nesteistä, jolloin solun sisäisen tilan nestemäärä pienenee ja solun ulkoisen tilan nesteet lisääntyvät. Tästä seuraa osmoottisen gradientin muutoksia, jotka kiihdyttävät solunsisäisten ainesosien sekä aineenvaihdunnan sivutuotteiden siirtymistä verenkiertoon ja tämä voi edistää metaboliittien poistoa. (Stocks ym. 2004.)

Lihassoluvaurioiden ilmeneminen. Seerumin kreatiinikinaasin aktiivisuudessa, myoglobiinipitoisuudessa ja hsCRP:ssa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä missään aikapisteessä. Lähtötilanteeseen verrattuna CK-aktiivisuus oli tilastollisesti merkitsevästi korkeammalla 24 ja 48 tuntia kuormituksen päättymisestä kaikkien palautumismenetelmien kohdalla. 96 tuntia kuormituksen jälkeen CK-aktiivisuus ei enää poikennut tilastollisesti merkitsevästi lähtötilanteesta missään palautumismenetelmässä. Seurmin myoglobiinipitoisuus kohosi tilastollisesti merkitsevästi jokaisen palautusmenetelmän jälkeen aikapisteissä 5, 40 ja 60 minuuttia verrattuna lähtötasoon. 24 tuntia kuormituksen jälkeen seerumin myoglobiinipitoisuus oli enää tilastollisesti merkitsevästi koholla pelkän aktiivisen palautumisen sekä kylmävesihoidon jälkeen. hsCRP-pitoisuus oli kaikkien palautusmenetelmien, paitsi kontrastihoidon, jälkeen tilastollisesti korkeampi lähtötilanteeseen verrattuna, kun oli kulunut 24 tuntia kuormituksen päättymisestä. Kun kuormituksen päättymisestä oli kulunut 48 tuntia, ainoas-

taan kylmävesihoidon jälkeen hsCRP oli vielä tilastollisesti merkitsevästi kohonnut verrattuna lähtötilanteeseen.

Kirjallisuudessa kylmävesihoidon on havaittu ehkäisevän lihassoluvaurioita kestävyys- ja joukkueurheilun kaltaisten kuormitusten jälkeen. Kyseisiä kuormituksia käyttäneissä tutkimuksissa havaittiin myoproteiinien, kuten kreatiinikinaasin sekä myoglobiinin, suurempi puhdistuma verestä (Ascensao ym. 2011, Bailey ym. 2007, Minett ym. 2014, Pournot ym. 2011) sekä heikentynyt tulehdusvaste (Ascensao ym. 2011, Brophy-Williams ym. 2011, Pournot ym. 2011) verrattuna muihin vesiupotushoitoihin ja passiiviseen palautumiseen. Toisaalta yhden nivelen eksentrisiä supistuksia sisältävien voimaharjoitusten jälkeen suoritetun kylmävesihoidon ei ole havaittu ehkäisevän lihassoluvaurioista viestivien tekijöiden ilmene mistä (Goodall & Howatson 2008, Sellwood ym. 2007). Vaikka tässä tutkimuksessa ei havaittu vahvaa tilastollista näyttöä eri palautusmenetelmien välillä, huomataan tuloksista, ettei kylmävesihoito edistänyt seerumin myoproteiinipitoisuuden ja hsCRP-pitoisuuden palautumista. Toisaalta myoglobiinipitoisuudesta havaitaan viitteitä siitä, että termoneutraalivesiupotus ja kontrastivesihoito voisivat ehkäistä lihassoluvaurioita pelkkään aktiiviseen palautukseen tai kylmävesihoitoon verrattuna.

Kirjallisuudessa kontrastivesihoidon ei ole havaittu vaikuttavan veren CK-, myoglobiini- tai CRP-pitoisuuteen (French ym. 2008, Ingram ym. 2009, Vaile ym. 2007, Vaile ym. 2008c). Myöskään termoneutraalin vesiupotuksen ei havaittu edistävän veren CK-aktiivisuuden ja myoglobiinipitoisuuden palautumista verrattuna kylmävesihoitoon ja passiiviseen palautumiseen (Ascensao ym. 2011, Pournot ym. 2011). Toisaalta Sellwood ym. (2007) eivät havainneet eroa CK-aktiivisuudessa termoneutraalin vesiupotuksen ja kylmävesihoidon välillä. On syytä huomioida, että Sellwoodin ym. (2007) tutkimuksessa käytettiin samaa lämpötilaa termoneutraalissa vesiupotuksessa kuin tässä tutkimuksessa.

Testosteroni, kortisoli ja testosteroni-kortisoli-suhde. Seerumin testosteronipitoisuudessa ei havaittu eroja palautusmenetelmien välillä missään aikapisteessä. Seerumin testosteronipitoisuus erosi kuormitusta edeltäneestä mittauksesta kylmävesihoidon, termoneutraalin vesiupotuksen sekä kontrastihoidon jälkeen, kun kuormituksesta oli kulunut 60 minuuttia. Kyseisessä mittauspisteessä havaittiin vesiupotusten jälkeen siis alhaisempi testosteronipitoisuus kuin ennen kuormitusta. Aktiivisen palautumisen kohdalla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa tässä aikapisteessä, kun tulosta verrattiin kuormitusta edeltäneeseen mittaukseen. Kun

kuormituksen päättymisestä oli kulunut 5 ja 40 minuuttia sekä 24, 48 ja 96 tuntia, testosteronipitoisuus ei poikennut tilastollisesti merkitsevästi lähtötilanteesta minkään palautusmenetelmän kohdalla. Seerumin kortisolipitoisuudessa ei havaittu palautusmenetelmien välillä tilastollista eroa, kun kuormituksesta oli kulunut 5, 40 ja 60 minuuttia sekä 24 ja 96 tuntia. Termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen seerumin kortisolipitoisuuden muutosprosentin havaittiin kuitenkin olevan tilastollisesti merkitsevästi korkeammalla kuin aktiivisen palautumisen jälkeen, kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia. Myös testosteroni-kortisoli-suhde käyttäytyi samalla tavalla. Palautusmenetelmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja muissa mittauspisteissä kuin 48 tuntia kuormituksen jälkeen, jossa termoneutraalin vesiupotuksen ryhmällä suhde oli tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi verrattuna aktiiviseen palautumiseen.

Kuormituksen jälkeen havaitaan hormonaalisia muutoksia, jotka voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Välittömästi harjoituksen jälkeen voidaan havaita katabolinen vaihe, jolloin ilmenee väsymystä sekä hormonaalisia ja immunologisia muutoksia. (de Graaf-Roelfsema ym. 2007.) Tätä seuraa anabolinen vaihe, jolloin adaptiivinen kapasiteetti on suurempi ja suorituskyky paranee (Urhausen ym. 1995). Tulosten mukaan termoneutraalivesiupotus pidensi kuormituksen jälkeistä katabolista vaihetta verrattuna aktiiviseen palautumiseen. Testosteroni-kortisolisuhdetta käytetään kertomaan anabolisen ja katabolisen tilan tasapainosta (Urhausen ym. 1995). Tulosten mukaan siis termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen näiden tilojen tasapaino oli edelleen voimakkaammin katabolisen tilan puolella kuin pelkän aktiivisen palautumisen jälkeen, kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia.

Kortisolipitoisuuden on havaittu kasvavan välittömästi harjoituksen jälkeen (Kern ym. 1995, Pullinen ym. 2011, Tanner ym. 2013) sekä laskevan merkittävästi 6–10 tuntia harjoituksen jälkeen (Kern ym. 1995). Tämän tutkimuksen tuloksissa ei kuitenkaan havaittu kortisolipitoisuuden kasvua tunnin sisällä kuormituksen päättymisestä ja tilastollisesti merkitsevät erot havaittiin vasta 48 tuntia kuormituksen päättymisestä. Kylmävesihoidon on havaittu nostavan kortisolipitoisuutta tunnin sisällä upotuksen jälkeen (Heikura 2015, Hermanussen ym. 1995, Kauppinen ym. 1989, Minett ym. 2014), mutta tässä tutkimuksessa kylmävesihoito tai muut vesiupotushoidot eivät nostaneet kortisolipitoisuutta tällä aikavälillä verrattuna pelkkään aktiiviseen palautumiseen.

On myös havaittu, että lihassoluvaurioita aiheuttava kuormitus (EIMD) laskee kortisolipitoisuuden paastoarvoa 48 tuntia kuormituksen jälkeen (Pullinen ym. 2011). Toisaalta alamäki- ja ylämäkijuoksua sisältäneessä kuormituksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä eikä eroa lähtötilanteeseen, kun kuormituksesta oli kulunut 6 tuntia - 7 päivää (Malm ym. 2004). Tässä tutkimuksessa kortisolipitoisuudessa havaittiin seuraavina päivinä hieman laskua verrattuna lähtötilanteeseen, mutta lasku ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tätä kortisolipitoisuuden laskua ei kuitenkaan havaittu termoneutraalin vesiupotuksen jälkeen. On myös huomioitava, että vaikka koehenkilöitä ohjeistettiin elämään mahdollisimman samalla tavalla palautusjaksojen aikana (ruokailu ja harjoittelu kontrolloitua päiväkirjoilla), ovat myös muut tekijät voineet vaikuttaa seuraavien päivien kortisolipitoisuuteen.

Kuormituksen jälkeen testosteronipitoisuus laskee alle lepotason kuormituksesta riippuen tunneiksi tai päiviksi (Lac & Berthon 2000, Lutoslawska ym. 1991, Shearer ym. 2015), mikä on merkki katabolisesta vaiheesta (Lac & Berthon 2000). Tämän jälkeen testosteronipitoisuuden on kuitenkin havaittu palautuvan lepotasolle tai jopa yli lepotason, jolloin anabolinen vaihe käynnistyy (Lac & Berthon 2000). Tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevä lasku verrattuna lähtötilanteeseen havaittiin ainoastaan, kun kuormituksesta oli kulunut 60 minuuttia. Tämä lasku havaittiin vesiupotusmenetelmien jälkeen, joten vaikuttaisi siltä, että vesiupotusmenetelmät saattavat hidastaa anaboliseen vaiheen alkua. Myös Heikura (2015) ja Minett ym. (2014) havaitsivat testosteronipitoisuuden olevan alhaisempi kylmävesihoidon kuin aktiivisen/passiivisen palautumisen jälkeen. On myös huomioitava, että EIMD:ta aiheuttavan kuormituksen ei ole havaittu laskevan testosteronipitoisuuden paastoarvoa 48 tuntia kuormituksen jälkeen (Pullinen ym. 2011), mikä havaittiin myös tämän tutkimuksen tuloksissa.

Adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuus. Plasman adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä missään mittauspisteessä. Adrenaliinipitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi lähtötilannetta korkeammalla heti kuormituksen jälkeen pelkän aktiivisen palautumisen, kylmävesihoidon ja termoneutraalin vesiupotuksen ryhmillä. Kylmävesihoidon jälkeen adrenaliinipitoisuus oli vielä tilastollisesti merkitsevästi koholla, kun kuormituksesta oli kulunut 40 minuuttia. Kun kuormituksen päättymisestä oli kulunut 24 ja 48 tuntia, adrenaliinipitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi lähtötilanteen alapuolella pelkän aktiivisen palautumisen ja kylmävesihoidon jälkeen. Plasman noradrenaliini-

pitoisuuden havaittiin olevan lähtötilanteeseen verrattuna tilastollisesti merkitsevästi korkeampi jokaisen palautusmenetelmän kohdalla heti kuormituksen jälkeen. Kylmävesihoidon kohdalla noradrenaliinipitoisuus oli vielä tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna lähtötilanteeseen, kun kuormituksesta oli kulunut 40 minuuttia. Lisäksi noradrenaliinipitoisuuden havaittiin olevan tilastollisesti merkitsevästi lähtötilannetta alhaisempi termoneutraalin vesiupotuksen ja kontrastivesihoidon jälkeen, kun kuormituksesta oli kulunut 48 tuntia.

Katekolamiinien erityis lisäänty stressaavissa tilanteissa, kuten harjoituksen aikana (Jacob ym. 2004, Kjær 1998). Lisäksi kylmävesihoidon on havaittu nostavana noradrenaliinipitoisuutta (Kauppinen ym. 1989). Toisaalta Halson ym. (2008) eivät havainneet kylmävesihoidon ja passiivisen palautumisen jälkeen eroa adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuudessa. Tässäkään tutkimuksessa ei havaittu palautusmenetelmien välillä tilastollisesti merkitseviä eroja, mutta saatiin viitteitä siitä, että kylmävesihoito aiheuttaa stressiä, joka havaitaan katekolamiinien pitoisuuden kasvuna välittömästi kylmävesihoidon jälkeen. On kuitenkin huomioitava, että jo 60 minuuttia kuormituksen jälkeen katekolamiinien pitoisuudet olivat palautuneet lähelle lähtötasoa.

Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet. Tutkimuksen tutkimusasetelmana käytettiin toistomittausta (mitattavat ovat itsensä kontrolleina), jota pidetään erittäin vahvana tutkimusasetelmana, sillä se sulkee tuloksista yksilöllisten erojen vaikutuksen. Tutkimuksessa mitattiin ja analysoitiin useita eri muuttujia yhden asian, kuten esimerkiksi lihassoluvaurioiden ilmenemisen tai hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn palautumisen, selittämiseen. Lisäksi satunnaisesti tutkimuksessa huomioitiin urheilijoiden käyttämä palautumiskokonaisuus, johon kuuluvat aktiivinen palautuminen sekä palautusjuoma ja tämän jälkeen mahdollisesti vesiupotushoitoja. Aiemmin kirjallisuudessa on vertailtu pelkkiä vesiupotusmenetelmiä passiiviseen palautumiseen ja joissain harvoissa tapauksissa myös aktiiviseen palautumiseen.

Valitettavasti tutkimuksen koehenkilöjoukko supistui tutkimuksen aikana muutamilla koehenkilöillä. Lisäksi kaikki tutkittavat eivät kyenneet osallistumaan kaikkiin suorituksiin ja näytteenottoihin. On myös huomioitava, että kuormituskertojen välit jäivät pienimmillään kolmeen viikkoon ja kuormituksen aiheuttamia lihassoluvaurioita ilmenee tavallisesti uudenlaisten kuormitusten jälkeen (Howatson & van Someren 2008). Esimerkiksi yhden harjoituksen jälkeen CK-aktiivisuuden kasvu pienenee, kun samanlainen harjoitus suoritetaan uudelleen (Koch ym. 2014) ja tämä on voinut vaikuttaa lihassoluvaurioiden analysointiin. Kor-

keimmat CK-aktiivisuuden kasvut havaittiinkin ensimmäisen kuormitus kerran jälkeen. Toisaalta satunnaistetun palautusmenetelmien käyttöjärjestyksen vuoksi ensimmäisen kuormituksen voimakkaammat fysiologiset vasteet eivät vaikuttaneet tulosten analysointiin. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin koehenkilöinä kuntoilijoita, joiden fysiologiset vasteet voivat poiketa urheilijoista (Ahtiainen ym. 2003). On myös huomioitava, että vesiupotusmenetelmiä tutkittaessa ei voida sulkea pois menetelmien lumevaikutusta.

Yhteenveto ja johtopäätökset. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta päätuloksena, että kylmävesimenetelmä (10 °C) sekä kontrastivesimenetelmä (vuorotellen 10 °C ja 38 °C) parantavat akuuttia koettua rentouden tunnetta, jolla voi olla positiivista merkitystä urheilijoiden kilpailusuoritukseen ja kuntolijoiden hyvinvointiin. Edelleen joillakin yksilöillä teho- ja nopeussuoritusten palautuminen voi nopeutua vesiupotusmenetelmien käytön avulla. Lisäksi hormonimittaukset antavat viitteitä, että pidempikestoisessa palautumisessa vesiupotusmenetelmät voivat heikentää yksilöllisesti elimistön palautumista. Kohonnut katabolisen kortisolin pitoisuus, laskenut rakentavan testosteronin pitoisuus ja hermostoa aktivoivat adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuudet lisäävät esimerkiksi elimistön stressiä, heikentävät sekä proteiini-synteesiä että energiantuottosysteemiä.

LÄHTEET

- Abbiss, C. R. & Laursen, P. B. 2005. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine* 35 (10), 865–898.
- Abernethy, P., Wilson, G. & Logan, P. 1995. Strength and power assessment: issues, controversies and challenges. *Sports Medicine* 19, 401–417.
- Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H. & Prefaut, C. 1996. Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28 (4), 450–456.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2003. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European Journal of Applied Physiology* 89 (6), 555–563.
- Allen, D. G., Lamb, G. D. & Westerblad, H. 2008. Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms, *Physiological Reviews* 88, 287–332.
- Andrade, F. H., Reid, M. B., Allen, D. G. & Westerblad H. 1998. Effect of hydrogen peroxide and dithiothreitol on contractile function of single skeletal muscle fibres from the mouse. *Journal of Physiol* 509 (2), 565–575.
- Ascensao, A., Leite, M., Rebelo, A. N., Magalhães, S. & Magalhães, J. 2011. Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a oneoff soccer match. *Journal of Sports Science* 29 (3), 217–225.
- Asp, S., Dugaard, J. R., Kristiansen, S., Kiens, B. & Richter, E. A. 1998. Exercise metabolism in human skeletal muscle exposed to prior eccentric exercise. *Journal of Physiology* 509, 305–313.
- Asp, S., Dugaard, J. R., Rohde, T., Adamo, K. & Graham, T. 1999. Muscle glycogen accumulation after a marathon: roles of fibre type and pro-and macroglycogen. *Journal of Applied Physiology* 86, 474–478.
- Armstrong, R. B., Warren, G. L. & Warren, J. A. 1991. Mechanisms of exercise-induced muscle fibre injury. *Sports Medicine* 12, 184–207.
- Bailey, D., Erith, S., Griffin, P., Dowson, A., Brewer, D. S., Gant, N. & Williams, C. 2007. Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of Sports Science* 25 (11), 1163–1170.

- Balog, E. M., Fruen, B. R., Kane, P. K. & Louis C. F. 2000. Mechanisms of Pi regulation of the skeletal muscle SR Ca²⁺ release channel. *American Journal of Physiology - Cell Physiology* 278, C601–C611.
- Bangsbo, J., Madsen, K., Kiens, B. & Richter, E. A. 1996. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. *Journal of Physiology* 495: 587–596.
- Barnett, A. 2006. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Medicine* 36 (9), 781–796.
- Blazev, R. & Lamb, G. D. 1999a. Low [ATP] and elevated [Mg²⁺] reduce depolarization-induced Ca²⁺ release in mammalian skeletal muscle. *Journal of Physiology* 520 (1), 203–215.
- Blazev, R. & Lamb, G. D. 1999b. Adenosine inhibits depolarization-induced Ca²⁺ release in mammalian skeletal muscle. *Muscle Nerve* 22, 1674–1683.
- Bosco, C., Luhtanen, P. & Komi, P. V. 1983. A Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 50 (2), 273–282.
- Brancaccio, P., MaVulli, N., Buonauro, R. & Limongelli, F. M. 2008. Serum enzyme monitoring in sports medicine. *Clinics in Sports Medicine* 27 (1), 1–18.
- Brophy-Williams, N., Landers, G. & Wallman, K. 2011. Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensity exercise session on subsequent run performance. *Journal of Sports Science & Medicine* 10, 665–670.
- Brouwer, N. & van Pelt, J. 2015. Validation and evaluation of eight commercially available point of care CRP methods. *Clinica Chimica Acta* 439, 195–201.
- Bruton, J. D., Lännergren, J. & Westerblad, H. 1998. Effects of CO₂-induced acidification on the fatigue resistance of single mouse muscle fibers at 28 degrees C. *Journal of Applied Physiology* 85, 478–483.
- Byrd, S. K. 1992. Alterations in sarcoplasmic reticulum, a possible link to exercise-induced muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24, 531–536.
- Byrne, C. & Eston, R. 2002a. The effect of exercise-induced muscle damage on isometric and dynamic knee extensor strength and vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences* 20, 417–425.
- Byrne, C. & Eston, R. 2002b. Maximal intensity isometric and dynamic exercise performance following eccentric muscle actions. *Journal of Sports Sciences* 20, 951–959.

- Byrne, C., Twist, C. & Eston, R. 2004. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. Theoretical and applied implications. *Sports Medicine* 34 (1), 49–69.
- Byrnes, W. C. & Clarkson, P. M. 1986. Delayed onset muscle soreness and training. *Clinics in Sports Medicine* 5, 605–614.
- Cady, E. B., Jones, D. A., Lynn, J. & Newham, D. J. 1989. Changes in force and intracellular metabolites during fatigue of human skeletal muscle. *Journal of Physiology* 418 (3), 311–325.
- Callahan, L. A., She, Z. W. & Nosek, T. M. 2001. Superoxide, hydroxyl radical, hydrogen peroxide effects on single-diaphragm fiber contractile apparatus. *Journal of Applied Physiology* 90 (1), 45–54.
- Cairn, S. P. 2006. Lactic acid and exercise performance: culprit or friend? *Sports Medicine* 36 (4), 279–291.
- Cheung, K., Hume, P.A. & Maxwell, L. 2003. Delayed onset muscle soreness. *Sports Medicine* 33 (2), 145–164.
- Chin, E. R. & Allen, D. G. 1997. Effects of reduced muscle glycogen concentration on force, Ca^{2+} release and contractile protein function in intact mouse skeletal muscle. *Journal of Physiology* 498 (1), 17–29.
- Cochrane, D. J. 2004. Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport* 5 (1), 26–32.
- Coffey, V., Leveritt, M. & Gill, N. 2004. Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *Journal of Science & Medicine in Sport*. 7(1), 1–10.
- Cooke, R. & Bialek, W. 1979. Contraction of glycerinated muscle fibers as a function of the ATP concentration. *Biophysical Journal* 28, 241–258.
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. 2011. Developing maximal neuromuscular power: Part 1 – biological basis of maximal power production. *Sports Medicine* 41 (1), 17–38.
- Cortis, C., Tessitore, A., D'Artibale, E., Meeusen, R. & Capranica, L. 2010. Effects of post-exercise recovery interventions on physiological, psychological, and performance parameters. *International Journal of Sports Medicine* 31 (5), 327–335.
- Coupland, M. E., Puchert, E. & Ranatunga, K. W. 2001. Temperature dependence of active tension in mammalian (rabbit psoas) muscle fibres: effect of inorganic phosphate. *The Journal of Physiology* 536, 879–891.

- Craig, A. B. Jr. & Dvorak, M. 1966. Thermal regulation during water immersion. *Journal of Applied Physiology* 21 (5), 1577–1585.
- Crowe, M. J., O'Connor, D. & Rudd, D. 2007. Cold water immersion reduces anaerobic performance. *International Journal of Sports Medicine* 28, 994–998.
- Dawson, B., Gow, S., Modra, S., Bishop, S. & Stewart, G. 2005. Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours. *Journal of Science and Medicine in Sport* 8 (2), 210–221.
- de Vries, H. A. 1966. Quantitative EMG investigation of the muscle spasm theory of muscle pain. *American journal of physical medicine* 45, 119–134.
- Delecluse, C. 1997. Influence of strength training on sprint running performance: current findings and implications for training. *Sports Medicine* 24 (3), 147–156.
- Delbono, O. 2003. Neural control of aging skeletal muscle. *Aging cell* 2, 21–29.
- Deschenes, M. R., Brewer, R. E., Bush, J. E., McCoy, R. W., Volek, J. S. & Kraemer, W. J. 2000. Neuromuscular disturbance outlasts other symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of the Neurological Sciences* 174, 92–99.
- Dill, D. B. & Costill, D. L. 1974. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *Journal of Applied Physiology* 37 (2), 247–248.
- Dunne, A., Crampton, D. & Egana, M. 2013. Effect of postexercise hydrotherapy water temperature on subsequent exhaustive running performance in normothermic conditions. *Journal of Science and Medicine in Sport* 16 (5), 466–471.
- Dutka, T. L. & Lamb, G. D. 2000. Effect of lactate on depolarization-induced Ca^{2+} release in mechanically skinned skeletal muscle fibers. *American Journal of Physiology - Cell Physiology* 278, C517–C525.
- Dutka, T. L. & Lamb, G. D. 2004. Effect of low cytoplasmic [ATP] on excitation-contraction coupling in fast-twitch muscle fibres of the rat. *Journal of Physiology* 560, 451–468.
- Ebbeling, C. B. & Clarkson, P. M. 1989. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Medicine* 7, 207–234.
- Edman, K. A. P. 2003. Contractile performance of skeletal muscle fibers. Teoksessa Komi, P. V. (toim.) *Strength and power in sport*. 114–133.
- Elias, G. P., Wyckelsma, V. L., Varley, M. C., McKenna, M. J. & Aughey, R. J. 2012. Effectiveness of water immersion on postmatch recovery in elite professional footballers. *International journal of sports physiology and performance* 7 (4), 357–366.

- Enoka, R. M. 1996. Eccentric actions require unique activation strategies by the nervous system. *Journal of Applied Physiology* 81, 2339–2346.
- Eston, R. & Peters, D. 1999. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of Sports Sciences* 17, 231–238.
- Fabiato, A. & Fabiato, F. 1978. Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *Journal of Physiology* 276: 233–255.
- Fill, M. & Copello, J. A. 2002. Ryanodine receptor calcium release channels. *Physiological Reviews* 82 (4), 893–922.
- Fradkin, A. J., Zazryn, T. R. & Smoliga, J. M. 2010. Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Strength & Conditioning Research* 24 (1), 140–148.
- French, D. N., Thompson, K. G., Garland, S. W., Barnes, C. A., Portas, M. D., Hood, P. E. & Wilkes, G. 2008. The effect of contrast bathing and compression therapy on muscular performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40 (7), 1297–1306.
- Friden, J., Seger, J., Sjostrom, M. & Ekblom, B. 1983. Adaptive response in human skeletal muscle subjected to prolonged eccentric training. *International Journal of Sports Medicine* 4 (3), 177–183.
- Fryer, M. W., Owen, V. J., Lamb, G. D. & Stephenson, D. G. 1995. Effects of creatine phosphate and P(i) on Ca²⁺ movements and tension development in rat skinned skeletal muscle fibres. *Journal of Physiology* 482, 123–140.
- Gandevia, S. C. 2001. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews* 81, 1725–1789.
- Giesbrecht, G. G. 2001. Prehospital treatment of hypothermia. *Wilderness & Environmental Medicine* 12 (1), 24–31.
- Gissel, H. & Clausen, T. 2001. Excitation-induced Ca²⁺ influx and skeletal muscle cell damage. *Acta Physiologica Scandinavica* 171, 327–334.
- Gleeson, M., Blannin, A. K., Walsh, N. P., Field, C. N. E. & Pritchard, J. C. 1998. Effect of exercise-induced muscle damage on the blood lactate response to incremental exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 7, 292–295.
- Gleeson, M., Blannin, A. K., Zhu, B., Brooks, S. & Cave, R. 1995. Cardiorespiratory, hormonal and haematological responses to submaximal cycling performed 2 days

- after eccentric or concentric exercise bouts. *Journal of Sports Sciences* 13 (6), 471–479.
- Glickman-Weiss, E. L., Nelson, A. G. & Hearon, C. M. 1995 Influence of cold water immersion on heat debt and substrate utilization in males varying in body composition: A retro-spective analysis. *Wilderness & Environmental Medicine* 6 (3), 295–303.
- Godt, R. E. & Nosek, T. M. 1989. Changes in the intracellular milieu with fatigue or hypoxia depress contraction of skinned rabbit skeletal and cardiac muscle. *Journal of Physiology* 412, 155–180.
- Goodall, S. & Howatson, G. 2008. The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *Journal of Sports Science and Medicine* 7 (2), 235–241.
- de Graaf-Roelfsema, E., Keizer, H. A., van Breda, E., Wijnberg, I. D. & van der Kolk, J. H. 2007. Hormonal responses to acute exercise, training and overtraining. A review with emphasis on the horse. *Veterinary Quarterly* 29 (3), 82–101.
- Green, H. J. 1997. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of Sports Sciences* 15 (3), 247–256.
- Gregson, W., Allan, R., Holden, S., Phibbs, P., Doran, D., Campbell, I., Waldron, S., Joo, C. H. & Morton, J. P. 2013. Postexercise cold-water immersion does not attenuate muscle glycogen resynthesis. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 45 (6), 1174–1181.
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. 2006. *Textbook of Medical Physiology*. 11. painos. W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA.
- Halevy, O., Krispin, A., Leshem, Y., McMurtry, J. P. & Yahav, S. 2001. Early-age heat exposure affects skeletal muscle satellite cell proliferation and differentiation in chicks. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative & Comparative Physiology* 281 (1), R302–R309.
- Halonen, T. 2004. Immunokemiallisten menetelmien periaatteet. Teoksessa Penttilä, I. (toim.) *Kliiniset laboratoriotutkimukset*. Helsinki: WSOY.
- Halson, S. L., Bartram, J., West, N., Stephens, J., Argus, C. K., Driller, M. W., Sargent, C., Lastella, M., Hopkins, W. G. & Martin, D. T. 2014. Does hydrotherapy help or hinder adaptation to training in competitive cyclists?. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 46 (8), 1631–1639.
- Halson, S. L. & Jeukendrup, A. E. 2004. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine* 34 (14), 967–981.

- Halson, S. L., Quod, M. J., Martin, D. T., Gardner, A. S., Ebert, T. R. & Laursen, P. B. 2008. Physiological Responses to Cold Water Immersion Following Cycling in the Heat. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 3, 331–346.
- Hamlin, M. J. 2007. The effect of contrast temperature water therapy on repeated sprint performance. *Journal of Science and Medicine in Sport* 10 (6), 398–402.
- Hansen, A. K., Clausen, T. & Nielsen, O. B. 2005. Effects of lactic acid and catecholamines on contractility in fast-twitch muscles exposed to hyperkalemia. *American Journal of Physiology - Cell Physiology* 289, C104–C112.
- Heikura, E. 2015. Kylmäaltistuksen akuutit vaikutukset kestävyysharjoituksesta palautumiseen. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
- Helander, I., Westerblad, H. & Katz, A. 2002. Effects of glucose on contractile function, $[Ca^{2+}]_i$ and glycogen in isolated mouse skeletal muscle. *American Journal of Physiology - Cell Physiology* 282 (6) C1306–C1312.
- Hermanussen, M., Jensen, F., Hirsch, N., Friedel, K., Kröger, B., Lang, R., Just, S., Ulmer, J., Schaff, M., Ahnert, P., ym. 1995. Acute and chronic effects of winter swimming on LH, FSH, prolactin, growth hormone, TSH, cortisol, serum glucose and insulin. *Arctic Medical Research* 54, 45–51.
- Herrera, E., Sandoval, M. C., Camargo, D. M. & Salvini, T. F. 2010. Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage, and cold water immersion. *Physical therapy* 90, 581–591.
- Higgins, T.R., Heazlewood, I.T., & Climstein, M. 2011. A random control trial of contrast baths and ice baths for recovery during competition in U/20 rugby union. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25 (4), 1046–1051.
- Hildebrandt, W., Schutze, H. & Stegemann, J. 1992. Cardiovascular limitations of active recovery from strenuous exercise. *European Journal of Applied Physiology* 64, 250–257.
- Hogan, M. C., Richardson, R. S. & Haseler, L. J. 1999. Human muscle performance and PCr hydrolysis with varied inspired oxygen fractions: a ^{31}P -MRS study. *Journal of Applied Physiology* 86, 1367–1373.
- Howatson, G. & van Someren, K. A. 2008. The Prevention and Treatment of Exercise-Induced Muscle Damage. *Sports Medicine* 38 (6), 483–503.
- Ihsan, M., Markworth, J. F., Watson, G., Choo, H. C., Govus, A., Pham, T., Hickey, A., Cameron-Smith, D. & Abbis, C. R. 2015. Regular postexercise cooling enhances mitochondrial biogenesis through AMPK and p38 MAPK in human skeletal muscle.

- American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 309 (3), R286–R294.
- Ihsan, M., Watson, G. & Abbis, C. R. 2016. What are the Physiological Mechanisms for PostExercise Cold Water Immersion in the Recovery from Prolonged Endurance and Intermittent Exercise? *Sports Medicine* 46 (8), 1095–1109.
- Ihsan, M., Watson, G., Choo, H. C., Lewandowski, P., Papazzo, A., Cameron-Smith, D. & Abbis, C. R. 2014. Postexercise muscle cooling enhances gene expression of PGC1alpha. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 46 (10), 1900–1907.
- Ihsan, M., Watson, G., Lipski, M. & Abbis, C. R. 2013. Influence of postexercise cooling on muscle oxygenation and blood volume changes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 45 (5), 876–882.
- Ingram, J., Dawson, B., Goodman, C., Wallman, K. & Beilby, J. 2009. Effect of water immersion methods on postexercise recovery from simulated team sport exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport* 12 (3), 417–421.
- Jacob, C., Zouhal, H., Prioux, J., Gratas-Delamarche, A., Bentué-Ferrer, D. & Delamarche, P. 2004. Effect of the intensity of training on catecholamine responses to supramaximal exercise in endurance trained men. *European Journal of Applied Physiology* 91 (1), 35–40.
- Jentjens, R. & Jeukendrup, A. E. 2003. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Medicine* 3, 117–144.
- Jones, C., Allen, T., Talbot, J., Morgan, D. L. & Proske, U. 1997. Changes in the mechanical properties of human and amphibian muscle after eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 76, 21–31.
- Jones, D. A., Newham, D. J., Round, J. M. & Tolfree, S. E. J. 1986. Experimental human muscle damage: morphological changes in relation to other indices of damage. *Journal of Physiology* 375, 435–448.
- Jones, D. A., Newham, D. J. & Torgan, C. 1989. Mechanical influences on long lasting human muscle fatigue and delayed onset pain. *Journal of Physiology* 412, 415–427.
- Karatzafieri, C., De Haan, A., Ferguson, R. A., Van Mechelen, W. & Sargeant, A. J. 2001. Phosphocreatine and ATP content in human single muscle fibres before and after maximum dynamic exercise. *Pflügers Archive - European Journal of Physiology* 442, 467–474.
- Kauppinen, K., Pajari-Backas, M., Volin, P. & Vakkuri, O. 1989. Some endocrine responses to sauna, shower and ice water immersion. *Arctic Medical Research* 48, 131–139.

- Kellis, E. & Baltzopoulos, V. 1998. Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30, 1616–1623.
- Kennedy, J. W., Hirshman, M. F., Gervino, E. V., Ocel, J. V., Forse, R. A., Hoenig, S. J., Aronson, D., Goodyear, L. J. & Horton, E. S. 1999. Acute exercise induces GLUT4 translocation in skeletal muscle of normal human subjects and subjects with type 2 diabetes. *Diabetes* 48 (5), 1192–1197.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H. & Costill, D. L. 2012. *Physiology of sport and exercise*. 5. painos. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kern, W., Perras, B., Wodick, R., Fehm, H. L. & Born, J. 1995. Hormonal secretion during nighttime sleep indicating stress of daytime exercise. *Journal of Applied Physiology* 79, 1461–1468.
- King, M. & Duffield, R. 2009. The effects of recovery interventions on consecutive days of intermittent sprint exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (6), 1795–1802.
- Kinugasa, T. & Kilding, A. E. 2009. A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (5), 1402–1407.
- Kjær, M. 1998. Adrenal medulla and exercise training. *European Journal of Applied Physiology* 77, 195–199.
- Knuttgen, H. G. & Komi, P. V. 2003. Basic considerations for exercise. Teoksessa Komi, P. V. (toim.) *Strength and power in sport*. 184–202.
- Koch, A. J., Pereira, R. & Machado, M. 2014. The creatine kinase response to resistance exercise. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions* 14 (1), 68–77.
- Komi, P. V. 2003. Stretch-shortening cycle. Teoksessa Komi, P. V. (toim.) *Strength and power in sport*. 3–8.
- Kuipers, H. & Keizer, H. A. 1988. Overtraining in elite athletes: review and directions for the future. *Sports Medicine* 6, 79–92.
- Kuligowski, L. A., Lephart, S. M., Giannantonio, F. P. & Blanc, R. O. 1998. Effect of whirlpool therapy on the signs and symptoms of delayed-onset muscle soreness. *Journal of Athletic Training* 33 (3), 222–228.
- Lac, G. & Berthon, P. 2000. Changes in cortisol and testosterone levels and T/C ratio during an endurance competition and recovery. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 40 (2), 139–144.

- Lamb, G. D. & Posterino, G. S. 2003. Effects of oxidation and reduction on contractile function in skeletal muscle fibres of the rat. *Journal of Physiology* 546 (1), 149–163.
- Lamb, G. D., Recupero, E. & Stephenson, D. G. 1992. Effect of myoplasmic pH on excitation-contraction coupling in skeletal muscle fibres of the toad. *Journal of Physiology* 448, 211–224.
- Lamb, G. D. & Stephenson, D. G. 1994. Effects of intracellular pH and $[Mg^{2+}]$ on excitation-contraction coupling in skeletal muscle fibres of the rat. *Journal of Physiology* 478, 331–339.
- Lamb, G. D., Stephenson, D. G. & Stienen, G. J. 1993. Effects of osmolality and ionic strength on the mechanism of Ca^{2+} release in skinned skeletal muscle fibres of the toad. *Journal of Physiology* 464, 629–648.
- Lane, A. R. & Hackney, A. C. 2014. Relationship between salivary and serum testosterone levels in response to different exercise intensities. *Hormones* 14 (2), 258–264.
- Lane, K. N. & Wenger, H. A. 2004. Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *Journal of Strength & Conditioning Research* 18 (4), 855–860.
- Laver, D. R., Lenz, G. K. & Lamb, G. D. 2001. Regulation of the calcium release channel from rabbit skeletal muscle by the nucleotides ATP, AMP, IMP and adenosine. *Journal of Physiology* 537, 763–778.
- Laver, D. R., O'Neill, E. R. & Lamb, G. D. 2004. Luminal Ca^{2+} -regulated Mg^{2+} inhibition of skeletal RyRs reconstituted as isolated channels or coupled clusters. *Journal of General Physiology* 124, 741–758.
- Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W. & Howatson, G. 2012. Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 46 (4), 233–240.
- Lemire, B., Gagnon, D., Jay, O., Dorman, L., DuCharme, M. B. & Kenny, G. P. 2008. Influence of adiposity on cooling efficiency in hyperthermic individuals. *European Journal of Applied Physiology* 104 (1), 67–74.
- Lieber, R. L. 2010. Skeletal muscle structure, function and plasticity: the physiological basis of rehabilitation. 3. painos. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Williams.
- Lum, D., Landers, G. & Peeling, P. 2010. Effects of a recovery swim on subsequent running performance. *International Journal of Sports Medicine* 31 (1), 26–30.

- Lutoslawska, G., Obminski, Z., Krogulski, A. & Sendeki, W. 1991. Plasma cortisol and testosterone following 19-km and 42-km kayak races. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness* 31 (4), 538–542.
- Ma, J., Fill, M., Knudson, C. M., Campbell, K. P. & Coronado, R. 1988. Ryanodine receptor of skeletal muscle is a gap junction-type channel. *Science* 242, 99–102.
- Malm, C., Sjödin, B., Sjöberg, B., Lenkei, R., Renström, P., Lunberg, I. E. & Ekblom, B. 2004. Leukocytes, cytokines, growth factors and hormones in human skeletal muscle and blood after uphill or downhill running. *Journal of physiology* 556 (3), 983–1000.
- Mantoni, T., Rasmussen, J. H., Belhage, B. & Pott, F. C. 2008. Voluntary respiratory control and cerebral blood flow velocity upon ice-water immersion. *Aviation Space & Environmental Medicine* 79 (8), 765–768.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I. & Cardinale, M. 2004. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18 (3), 551–555.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. *Exercise physiology : nutrition, energy, and human performance*. 8. painos. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A. J., Eston, R. G. & Gleim, W. C. 2000. Electromyographic analysis of exercise resulting in symptoms of muscle damage. *Journal of Sports Science* 18, 163–172.
- McHugh, M. P. & Pasiakos, S. 2004. The role of exercising muscle length in the protective adaptation to a single bout of eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology* 93, 286–293.
- Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B. & Piacentini, M. F. 2006. Central fatigue: the serotonin hypothesis and beyond. *Sports Medicine* 36 (10), 881–909.
- Meissner, G., Darling, E. & Eveleth, J. 1986. Kinetics of rapid Ca^{2+} release by sarcoplasmic reticulum. Effects of Ca^{2+} , Mg^{2+} , adenine nucleotides. *Biochemistry* 25, 236–244.
- Merrick, M. A., Rankin, J. M., Andres, F. A. & Hinman, C. L. 1999. A preliminary examination of cryotherapy and secondary injury in skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31 (11), 1516–1521.
- Michaut, A., Pousson, M., Babault, N. & Van Hoecke, J. 2002. Is eccentric exercise-induced torque decrease contraction type dependent? *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34 (6), 1003–1008.

- Millar, N. C. & Homsher, E. 1990. The effect of phosphate and calcium on force generation in glycerinated rabbit skeletal muscle fibers: a steady-state and transient kinetic study. *The Journal of Biological Chemistry* 265, 20234–20240.
- Minett, G. M., Duffield, R., Billaut, F., Cannon, J., Portus, M. R. & Marino, F. E. 2014. Coldwater immersion decreases cerebral oxygenation but improves recovery after intermittent sprint exercise in the heat. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 24 (4), 656–666.
- Monedero, J. & Donne, B. 2000. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *International journal of sports medicine* 21 (8), 593–597.
- Montain, S. J., Latzka, W. A. & Sawka, M. N. 2000. Impact of muscle injury and accompanying inflammatory response on thermoregulation during exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology* 89, 1123–1130.
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., Hopkins, W. G., Dorman, J. C., Cook, K., Minahan, C. L. 2008. The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *Journal of Sports Sciences* 26 (11), 1135–1146.
- Moopanar, T. R. & Allen, D. G. 2005. Reactive oxygen species reduce myofibrillar Ca^{2+} -sensitivity in fatiguing mouse skeletal muscle at 37°C. *Journal of Physiology* 564 (1), 189–199.
- Morgan, D. L. & Proske, U. 2004. Popping sarcomere hypothesis explains stretch-induced muscle damage. *Clinical & Experimental Pharmacology & Physiology* 31, 541–545.
- Morrison, S., Sleivert, G. & Cheung, S. 2004. Passive hyperthermia reduces voluntary activation and isometric force production. *European Journal of Applied Physiology* 91 (5), 729–736.
- Myrer, J. W., Draper, D. O. & Durrant, E. 1994. Contrast therapy and intramuscular temperature in the human leg. *Journal of Athletic Training* 29 (4), 318–322.
- Myrer, J.W., Measom, G., Durrant, E., Fellingham, G.W., 1997. Cold- and hot-pack contrast therapy: subcutaneous and intramuscular temperature change. *Journal of Athletic Training* 32 (3), 238–241.
- Mäkinen, T. M. 2010. Different types of cold adaptation in humans. *Frontiers in Bioscience* 1 (2), 1047–1067.
- Nakamura, J., Tajima, G., Sato, C., Furukohri, T. & Konishi, K. 2002. Substrate regulation of calcium binding in Ca^{2+} -ATPase molecules of the sarcoplasmic reticulum. I. Effect of ATP. *The Journal of Biological Chemistry* 277, 24180–24190.

- National Hockey League, NHL, suomenkieliset sivut. 2016. Otteluohjelma. Viitattu 31.3.2017. <https://www.nhl.com/fi/ducks/schedule/2016/PT/fullseason>
- Nielsen, O. B., De Paoli, F. & Overgaard, K. 2001a. Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle. *Journal of Physiology* 536, 161–166.
- Nielsen, B., Hyldig, T., Bidstrup, F., Gondzález-Alonso, J., Gristoffersen, G. R. 2001b. Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. *Pflugers Archiv* 442 (1), 41–48.
- Nielsen, J. S., Madsen, K., Jørgensen, L. V. & Sahlin, K. 2005. Effects of lengthening contraction on calcium kinetics and skeletal muscle contractility in humans. *Acta Physiologica Scandinavica* 184 (3), 203–214.
- Nosaka, K. & Newton, M. 2002. Differences in the magnitude of damage between maximal and submaximal eccentric loading. *Journal of Strength & Conditioning Research* 16, 202–208.
- Nosaka, K., Newton, M. & Sacco, P. 2002. Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 12, 337–346.
- Nybo, L. 2012. Brain temperature and exercise performance. *Experimental Physiology* 97 (3), 333–339.
- Nybo, L., Moller, K., Pedersen, B. K., Nielsen, B. & Secher, N. H. 2003. Association between fatigue and failure to preserve cerebral energy turnover during prolonged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica* 179 (1), 67–74.
- Nybo, L. & Nielsen, B. 2001a. Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *Journal of Applied Physiology* 91 (5), 2017–2023.
- Nybo, L. & Nielsen, B. 2001b. Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *Journal of Applied Physiology* 91 (5), 2017–2023.
- Paddon-Jones, D. J. & Quigley, B. M. 1997. Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. *International Journal of Sports Medicine* 18 (8), 588–593.
- Park, K. S., Choi, J. K. & Park, Y. S. 1999. Cardiovascular regulation during water immersion. *Applied Human Science* 18 (6), 233–241.

- Parouty, J., Al Haddad, H., Quod, M., Lepretre, P. M., Ahmaidi, S. & Buchheit, M. 2010. Effect of cold water immersion on 100-m sprint performance in well-trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology* 109 (3), 483–490.
- Pedersen, T. H., Nielsen, O. B., Lamb, G. D. & Stephenson, D. G. 2004. Intracellular acidosis enhances the excitability of the working muscle. *Science* 305: 1144–1147.
- Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Watson, G., Nosaka, K. & Laursen, P. B. 2009. Effect of cold-water immersion duration on body temperature and muscle function. *Journal of Sports Science* 27 (10), 987–993.
- Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Nosaka, K., Peake, J. M. & Laursen, P. B. 2009b. Effect of cold water immersion after exercise in the heat on muscle function, body temperatures, and vessel diameter. *Journal of Science & Medicine in Sport* 12 (1), 91–96.
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J. & Marino, F. E. 2012. Cold water immersion recovery following intermittent sprint exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology* 112 (7), 2483–2494.
- Poppendieck, W., Fraude, O., Wegmann, M. & Meyer, T. 2013. Cooling and Performance Recovery of Trained Athletes: A Meta-Analytical Review. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 8, 227–242.
- Posterino, G. S., Dutka, T. L. & Lamb, G. D. 2001. L(+)-lactate does not affect twitch and tetanic responses in mechanically skinned mammalian muscle fibres. *European Journal of Physiology* 442, 197–203.
- Pournot, H., Bieuzen, F., Duffield, R., Lepretre, P.-M., Gozzolino, C. & Hausswirth, C. 2011. Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology* 111 (7), 1287–1295.
- Proske, U. & Allen, T. J. 2005. Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exercise and Sport Sciences Review* 33, 98–104.
- Proske, U. & Morgan, D. L. 2001. Muscle adaptation from eccentric exercise: mechanisms, mechanical sounds, adaptation and clinical applications. *Journal of Physiology* 537, 333–345.
- Pullinen, T., Mero, A., Huttunen, P., Pakarinen, A. & Komi, P. V. 2011. Resistance exercise-induced hormonal response under the influence of delayed onset muscle soreness in men and boys. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, 184–194.
- Pump, B., Shiraishi, M., Gabrielsen, A., Bie, P., Christensen, N. J. & Norsk, P. 2001. Cardiovascular effects of static carotid baroreceptor stimulation during water

- immersion in humans. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology* 280 (6), H2607–H2615.
- Pöyhönen, T., Keskinen, K. L., Hautala, A., Savolainen, J. & Mälkiä, E. 1999. Human isometric force production and electromyogram activity of knee extensor muscles in water and on dry land. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology* 80 (1), 52–56.
- Quod, M. J., Martin, D. T. & Laursen, P. B. 2006. Cooling athletes before competition in the heat: comparison of techniques and practical considerations. *Sports Medicine* 36 (8), 671–682.
- Reid, M. R., Haack, K. E., Franchek, K. M., Valberg, P. A., Kobzik, L. & West, M. S. 1992. Reactive oxygen in skeletal muscle I Intracellular oxidant kinetics and fatigue in vitro. *Journal of Applied Physiology* 73 (5), 1797–1804.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F. & Parker, D. 2004. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 287, R502–R516.
- Roberson, L. & Giurintano, D. J. 1995. Objective measures of joint stiffness. *Journal of Hand Therapy* 8, 163–166.
- Roberts, L. A., Raastad, T., Markworth, J. F., Figueiredo, V. C., Egner, I. M., Shield, A., Cameron-Smith, D., Coombes, J. F. & Peake, J. M. 2015. Postexercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and longterm adaptations in muscle to strength training. *Journal of Physiology* 593 (18), 4285–4301.
- Rodenburg, J. B., Bär, P. R. & De Boer, R. W. 1993. Relations between muscle soreness and biochemical and functional outcomes of eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology* 74, 2976–2983.
- Rossi, A. E. & Dirksen, R. T. 2006. Sarcoplasmic reticulum: The dynamic calcium governor of muscle. *Muscle & Nerve* 33, 715–731.
- Rowell, G. J., Reaburn, P., Toone, R., Smith, M. & Coutts, A. J. 2014. Effect of Run Training and Cold-Water Immersion on Subsequent Cycle Training Quality in High-Performance Triathletes. *Journal of Strength & Conditioning Research* 28 (6), 1664–1672.
- Rutkove, S. B. 2001. Effects of temperature on neuromuscular electrophysiology. *Muscle & nerve* 24 (7), 867–882.

- Sahlin, K., Harris, R. C., Nylin, B. & Hultman, E. 1976. Lactate content and pH in muscle obtained after dynamic exercise. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology* 367 (2), 143–149.
- Sahlin, K., Katz, A. & Broberg, S. 1990. Tricarboxylic acid cycle intermediates in human muscle during prolonged exercise. *American Journal of Physiology - Cell Physiology* 259, C834–C841.
- Schmid, J., Morger, C., Noveanu, M., Binder, R. K., Anderegg, M. & Saner, H. 2009. Haemodynamic and arrhythmic effects of moderately cold (22°C) water immersion and swimming in patients with stable coronary artery disease and heart failure. *European Journal of Heart Failure* 11 (9), 903–909.
- Sellwood, K. L., Brukner, P., Williams, D., Nicol, A. & Hinman, R. 2007. Icewater immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine* 41 (6), 392–397.
- Shearer, D. A., Kilduff, L. P., Finn, C., Jones, R. M., Bracken, R. M., Mellalieu, S. D., Owen, N., Crewther, B. T. & Cook, C. J. 2015. Measuring Recovery in Elite Rugby Players: The Brief Assessment of Mood, Endocrine Changes, and Power. *Research Quarterly for Exercise & Sport* 86 (4), 379–386.
- Shirreffs, S. M., Armstrong, L. E. & Chevront, S. N. 2004. Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. *Journal of Sports Sciences* 22 (1), 57–63.
- Slivka, D., Heesch, M., Dumke, C., Cuddy, J., Hailes, W. & Ruby, B. 2013. Effects of postexercise recovery in a cold environment on muscle glycogen, PGC1alpha, and downstream transcription factors. *Cryobiology* 66 (3), 250–255.
- Sorichter, S., Mair, J., Koller, A., Müller, E., Kremser, C., Judmaier, W., Haid, C., Clazolari, C. & Puschendorf, B. 2001. Creatine kinase, myosin heavy chain and magnetic resonance imaging after eccentric exercise. *Journal of Sports Science* 19, 687–691.
- Srámek, P., Simecková, M., Janský, L., Savlíková, J. & Vybíral, S. 2000. Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *European Journal of Applied Physiology* 81 (5), 436–442.
- Stacey, D., Gibala, M., Martin Ginis, K. & Timmons, B. 2010. Effects of recovery method after exercise on performance, immune changes, and psychological outcomes. *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy* 40 (10), 656–665.

- Stanley, J., Buchheit, M. & Peake, J. 2012. The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology* 112 (3), 951–961.
- Stanley, W. C., Gertz, E. W., Wisneski, J. A., Neese, R. A., Morris, D. L. & Brooks, G. A. 1986. Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise. *Journal of Applied Physiology* 60 (4), 1116–1120.
- Steel, D. M. & Whitehead, A. S. 1994. The major acute phase reactants: C-reactive protein, serum amyloid P component and serum amyloid A protein. *Immunology today* 15 (2), 81–88.
- Stephenson, D. G., Nguyen, L. T. & Stephenson, G. M. M. 1999. Glycogen content and excitation-contraction coupling in mechanically skinned muscle fibres of the cane toad. *Journal of Physiology* 519 (1), 177–187.
- Stienen, G. J., van Graas, I. A. & Elzinga, G. 1993. Uptake and caffeine-induced release of calcium in fast muscle fibers of *Xenopus laevis*: effects of MgATP and P(i). *American Journal of Physiology* 265 (3), C650–C657.
- Stocks, J. M., Patterson, M. J., Hyde, D. E., Jenkins, A. B., Mittleman, K. D. & Taylor, N. A. S. 2004. Effects of immersion water temperature on wholebody fluid distribution in humans. *Acta Physiologica Scandinavica* 182 (1), 3–10.
- Stryer, L. 1995. *Biochemistry*. 4. painos. New York: W. H. Freeman and Company.
- Takahashi, J., Ishihara, K. & Aoki, J. 2006. Effect of aqua exercise on recovery of lower limb muscles after downhill running. *Journal of Sports Sciences* 24 (8), 835–842.
- Tanner, A. V., Nielsen, B. V. & Allgrove, J. 2014. Salivary and plasma cortisol and testosterone responses to interval and tempo runs and a bodyweight-only circuit session in endurance-trained men. *Journal of Sports Sciences* 32 (7), 680–689.
- Taoutaou, Z., Granier, P., Mercier, B., Mercier, S., Ahmaidi, S. & Prefaut, C. 1996 Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology* 73 (5), 465–470.
- Tessitore, A., Meeusen, R., Cortis, C. & Capranica, L. 2007. Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *Journal of Strength & Conditioning Research* 21 (3), 745–750.
- Tessitore, A., Meeusen, R., Pagano, R., Benvenuti, C., Tiberi, M. & Capranica, L. 2008. Effectiveness of active versus passive recovery strategies after futsal games. *Journal of Strength & Conditioning Research* 22 (5), 1402–1412.

- Theel, E. S., Carpenter, A. B. & Binnicker, M. J. 2015. Immunoassays for the diagnosis of infectious diseases. Teoksessa Jorgensen, J. H. & Plaffer, M. A. (toim). Manual of clinical microbiology. American Society for Microbiology Press 2015, USA.
- Thompson, D., Williams, C., Garcia-Roves, P., McGregor, S. J., McArdle, F. & Jackson, M. J. 2003. Post-exercise vitamin C supplementation and recovery from demanding exercise. *European Journal of Applied Physiology* 89 (3-4), 393–400.
- Thompson, H. S., Maynard, E. B., Morales, E. R. & Scordilis, S. P. 2003. Exercise-induced HSP27, HSP70 and MAPK responses in human skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica* 178 (1), 61–72.
- Tipton, M. J., Wakabayashi, H., Barwood, M. J., Eglin, C. M., Mekjavic, I. B. & Taylor, N. A. S. 2013. Habituation of the metabolic and ventilatory responses to cold-water immersion in humans. *Journal of thermal biology* 38 (1), 24–31.
- Tomlin, D. L. & Wenger, H. A. 2001. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine* 31 (1), 1–11.
- Tucker, T. J., Slivka, D. R., Cuddy, J. S., Hailes, W. S. & Ruby, B. C. 2012. Effect of local cold application on glycogen recovery. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness* 52 (2), 158–164.
- Turrens, J. F. 2003. Mitochondrial formation of reactive oxygen species. *Journal of Physiology* 552 (2), 335–344.
- Urhausen, A., Gabriel, H. & Kindermann, W. 1995. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Medicine* 20 (4), 251–276.
- Vaile, J. M., Gill, N. D. & Blazevich, A. J. 2007. The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *Journal of Strength & Conditioning Research* 21 (3), 697–702.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N. & Dawson, B. 2008a. Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. *Journal of Sports Sciences* 26 (5), 431–440.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N. & Dawson, B. 2008b. Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *International Journal of Sports Medicine* 29 (7), 539–544.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N. & Dawson, B. 2008c. Effect of hydrotherapy on signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *European Journal of Applied Physiology* 102 (4), 447–455.

- Vaile, J., O'Hagan, C., Stefanovic, B., Walker, M., Gill, N. & Askew, C.D. 2010. Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *British Journal of Sports Medicine* 45 (10), 825–829.
- Versey, N., Halson, S. & Dawson, B. 2011. Effect of contrast water therapy duration on recovery of cycling performance: a dose–response study. *European Journal of Applied Physiology* 111 (1), 37–46.
- Versey, N. G., Halson, S. L. & Dawson, B. T. 2012. Effect of contrast water therapy duration on recovery of running performance. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 7 (2), 130–140.
- Versey, N. G., Halson, S. L. & Dawson, B. T. 2013. Water immersion recovery for athletes: Effects on exercise performance and practical recommendations. *Sports Medicine* 43, 1101–1130.
- Vieira, A., Siqueira, A. F., Ferreira-Junior, J. B., do Carmo, J., Durigan, J. L. Q., Blazeovich, A. & Bottaro M. 2016. The Effect of Water Temperature during Cold-Water Immersion on Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage. *International Journal of Sports Medicine* 37 (12), 937–943.
- Viitasalo, J. T., Saukkonen, S. & Komi, P. V. 1980. Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man. *Electromyography & Clinical Neurophysiology* 20 (6), 487–501.
- Vingren, J., Kraemer, W., Ratamess, N., Anderson, J., Volek, J. & Maresh, C. 2010. Testosterone physiology in resistance exercise and training. *Sports Medicine* 40, 1037–1053.
- Viru, A. & Viru, M. 2004. Cortisol-essential adaptation hormone in exercise. *International Journal of Sports Medicine* 25, 461–464.
- Walter, G., Vandenborne, K., Elliott, M. & Leigh, J. S. 1999. In vivo ATP synthesis rates in single human muscles during high intensity exercise. *Journal of Physiology* 519, 901–910.
- Warren, G. L., Lowe, D. A. & Armstrong, R. B. 1999. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Medicine* 27, 43–59.
- Washington, L. L., Gibson, S. J. & Helle, R. D. 2000. Age-related differences in the endogenous analgesic response to repeated cold water immersion in human volunteers. *Pain* 89 (1), 89–96.
- Webber, S. & Kriellaars, D. 1997. Neuromuscular factors contributing to in vivo eccentric moment generation. *Journal of Applied Physiology* 83, 40–45.

- Westerblad, H. & Allen, D. G. 1993. The influence of intracellular pH on contraction, relaxation and $[Ca^{2+}]_i$ in intact single fibres from mouse muscle. *Journal of Physiology* 466, 611–628.
- Whitehead, N. P., Allen, T. J., Morgan, D. L. & Proske, U. 1998. Damage to human muscle from eccentric exercise after training with concentric exercise. *Journal of Physiology* 512, 615–620.
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B. & Hing, W. A. 2006. Physiological Response to Water Immersion. A Method for Sport Recovery? *Sports Medicine* 36 (9), 747–765.
- Williams, J. H. & Ward, C.W. 1992. Reduced Ca^{2+} -induced Ca^{2+} release from skeletal muscle sarcoplasmic reticulum at low pH. *Canadian Journal of Physiology & Pharmacology* 70, 926–930.
- Wolosker, H., Rocha, J. B., Engelender, S., Panizzutti, R., De Miranda, J. & De Meis, L. 1997. Sarco/endoplasmic reticulum Ca^{2+} -ATPase isoforms: diverse responses to acidosis. *Biochemical Journal* 321, 545–550.
- Yamane, M., Ohnishi, N. & Matsumoto, T. 2015. Does Regular Post-exercise Cold Application Attenuate Trained Muscle Adaptation? *International Journal of Sports Medicine* 36 (8), 647–653.
- Yamane, M., Teruya, H., Nakano, M., Ogai, R., Ohnishi, N. & Kosaka, M. 2006. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *European Journal of Applied Physiology* 96 (5), 572–580.
- Yanagisawa, O., Niitsu, M., Takahashi, H., Goto, K. & Itai, Y. 2003. Evaluations of cooling exercised muscle with MR imaging and ^{31}P MR spectroscopy. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35 (9), 1517–1523.
- Yasuda, T., Sakamoto, K., Nosaka, K., Wada, M. & Katsuta, S. 1997. Loss of sarcoplasmic reticulum membrane integrity after eccentric contraction. *Acta Physiologica Scandinavica* 161 (4), 581–582.
- Yeargin, S. W., Casa, D. J., McClung, J. M., Knight, J. C., Healey, J. C., Goss, P. J., Harvard, W. R. & Hipp, G. R. 2006. Body cooling between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance. *Journal of Strength & Conditioning Research* 20 (2), 383–389.
- Young, A. J., Muza, S. R., Sawka, M. N. & Pandolf, K. B. 1987. Human vascular fluid responses to cold stress are not altered by cold acclimation. *Undersea Biomedical Research* 14(3), 215–228.

- Yu, J. G., Carlsson, L. & Thomell, L. E. 2004. Evidence for myofibril remodeling as opposed to myofibril damage in human muscles with DOMS: an ultrastructural and immunoelectron microscopic study. *Histochemistry and Cell Biology* 121 (3), 219–227.
- Yu, J. G., Malm, C. & Thomell, L. E. 2002. Eccentric contractions leading to DOMS do not cause loss of desmin nor fibre necrosis in human muscle. *Histochemistry and Cell Biology* 118, 29–34.
- Zouhal, H., Jacob, C., Delamarche, P. & Gratas-Delamarche, A. 2008. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports Medicine* 38 (5), 401–423.

LIITTEET

Liite 1

TERVEYSKYSELY

On tärkeää, että tiedämme elintavoistasi ja aiemmista liikuntatottumuksista ennen kuin testaamme sinut. Vastaa seuraaviin kysymyksiin huolellisesti

Nimi: _____

Synt.aika: _____ paino _____ pituus _____

Oireet viimeisen 6 kk aikana:

	Kyllä	Ei	En osaa sanoa
1. Onko sinulla ollut rintakipuja? Levossa? Rasituksessa?			
2. Onko sinulla ollut rasitukseen liittyvää hengenahdistusta?			
3. Onko sinulla ollut huimausoireita?			
4. Onko sinulla ollut rytmihäiriötuntemuksia?			
5. Onko sinulla ollut harjoittelua estäviä kipuja liikuntaelimissä? Missä?			
6. Oletko tuntenut ylikuormitus- tai stressioireita?			

Todetut sairaudet: Onko sinulla tai onko sinulla ollut jokin/joitakin seuraavista? (ympyröi)

01 sepelvaltimotauti	02 sydäninfarkti	03 kohonnut verenpaine	04 sydänlappävika
05 aivohalvaus	06 aivoverenkierron häiriö	07 sydämen rytmihäiriö	08 sydämentahdistin
09 sydänlihassairaus	10 syvä laskimotukos	11 muu verisuonisairaus	12 krooninen bronkiitti
13 keuhkolaajentuma	14 astma	15 muu keuhkosairaus	16 allergia
17 kilpirauhasen toimintahäiriö	18 diabetes	19 anemia	20 korkea veren kolesteroli
21 nivelreuma	22 nivelrikko, -kuluma	23 krooninen selkäsairaus	24 mahahaava
25 pallea-, nivus- tai napatyträ	26 ruokatorven tulehdus	27 kasvain tai syöpä	28 leikkaus äskettäin
29 mielenterveyden ongelma	30 tapaturma äskettäin	31 matala veren K tai Mg	32 kohonnut silmänpaine
33 näön tai kuulon heikkous	34 urheiluvamma äskettäin		

muita sairauksia tai oireita, mitä: _____

Lääkitys: Käytätkö jotain lääkitystä tai lääkeainetta säännöllisesti tai usein? 1 En 2 Kyllä, mitä: _____

Tupakoitko? 1 En 2 Kyllä 3 Olen lopettanut

Koska olet viimeksi nauttinut alkoholia? _____ Kuinka paljon? _____

Kuumetta, flunssaista oloa tai muuten poikkeavaa väsymystä viimeisen kahden viikon aikana: 1 Ei 2 Kyllä

Onko lähisuvussasi ennenaikaiseen kuolemaan johtaneita sydänsairauksia? 1 Ei 2 Kyllä
Lähisukulainen? _____ Minkä ikäisenä? _____

Onko todettu synnynnäinen sydänvika? _____

Kuinka usein olet harrastanut liikuntaa viimeisen kolmen kuukauden aikana? _____

Mitä liikuntaa olet harrastanut? _____

Arvioi oma kuntosi asteikolla: 1 = heikko, 2 = välttävä. 3 = keskitasoinen, 4 = hyvä, 5 = erinomainen

Olen vastannut kysymyksiin rehellisesti parhaan tietämykseni mukaan. Tunnen testaustavan ja osallistun siihen omalla vastuullani.

Päivä _____ Allekirjoitus _____

Liite 2

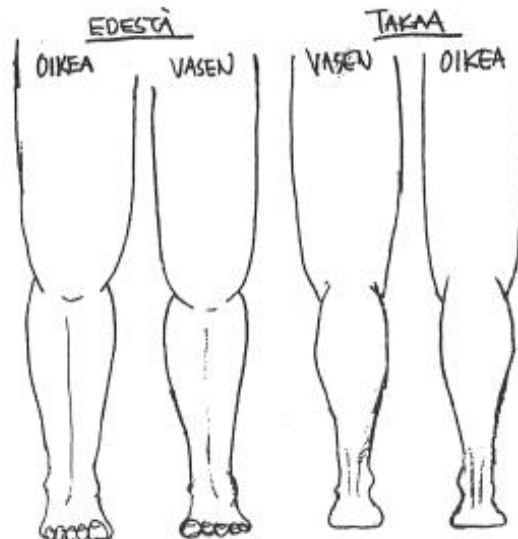
Lihaskivun kyselylomake

LIHASKIPU

NIMI: _____

- 0 = EI LIHASKIPUA
- 1 = PIENTÄ LIHASKIPUA
- 2 = KOHTUULLISTA LIHASKIPUA
- 3 = HUOMATTAVAN KOVAA LIHASKIPUA
- 4 = KOVAA LIHASKIPUA
- 5 = ERITTÄIN KOVAA LIHASKIPUA

	pvm	kipu
Pre		
Post1h		
Post24		
Post48		
Post96		



HERKKÄÄ OHEISIIN
KUMIN ALUEET JOTKA
Ovat Kipeimmät !

MUITA HUOMIOITA :

Liite 3

POMS (Profile of Mood States; McNair, Lorr, & Droppleman, 1971)

Alla on luettelo tunnetiloista, joita kuka tahansa voi kokea. Käy luettelo läpi huolellisesti ja ympyröi kultakin riviltä se numero, joka parhaiten kuvaa sitä, miltä Sinusta tuntuu juuri nyt.

		Ei lain- kaan	Melko vähän	Jonkin verran	Melko paljon	Erittäin paljon
1	Ystävällinen	1	2	3	4	5
2	Jännittynyt	1	2	3	4	5
3	Suuttunut	1	2	3	4	5
4	Uupunut	1	2	3	4	5
5	Onneton	1	2	3	4	5
6	Selväjärkinen	1	2	3	4	5
7	Pirteä	1	2	3	4	5
8	Hämentynyt	1	2	3	4	5
9	Katuva	1	2	3	4	5
10	Epävarma	1	2	3	4	5
11	Haluton	1	2	3	4	5
12	Ärtynyt	1	2	3	4	5
13	Huomaavainen	1	2	3	4	5
14	Surullinen	1	2	3	4	5
15	Toimielias	1	2	3	4	5
16	Kireä	1	2	3	4	5
17	Pahantuulinen	1	2	3	4	5
18	Alakuloinen	1	2	3	4	5
19	Tarmokas	1	2	3	4	5
20	Pakokauhun vallassa	1	2	3	4	5
21	Toivoton	1	2	3	4	5
22	Rentoutunut	1	2	3	4	5
23	Kelvoton	1	2	3	4	5
24	Ilkeä	1	2	3	4	5
25	Myötätuntoinen	1	2	3	4	5
26	Vaivautunut	1	2	3	4	5
27	Levoton	1	2	3	4	5
28	Keskittymiskyvytön	1	2	3	4	5
29	Väsynyt	1	2	3	4	5
30	Avulias	1	2	3	4	5
31	Harmistunut	1	2	3	4	5
32	Masentunut	1	2	3	4	5
33	Pahastunut	1	2	3	4	5
34	Hermostunut	1	2	3	4	5
35	Yksinäinen	1	2	3	4	5
36	Kurja	1	2	3	4	5
37	Sekava	1	2	3	4	5
38	Iloinen	1	2	3	4	5
39	Katkera	1	2	3	4	5
40	Lopenuupunut	1	2	3	4	5

41	Tuskainen	1	2	3	4	5
42	Riidanhaluinen	1	2	3	4	5
43	Kiltti	1	2	3	4	5
44	Synkkä	1	2	3	4	5
45	Epätoivoinen	1	2	3	4	5
46	Saamaton	1	2	3	4	5
47	Kapinoiva	1	2	3	4	5
48	Avuton	1	2	3	4	5
49	Kyllästynyt	1	2	3	4	5
50	Pyörällä päästään	1	2	3	4	5
51	Tarkkaavainen	1	2	3	4	5
52	Petetty	1	2	3	4	5
53	Raivostunut	1	2	3	4	5
54	Tehokas	1	2	3	4	5
55	Luottavainen	1	2	3	4	5
56	Täynnä puhtia	1	2	3	4	5
57	Huonotuulinen	1	2	3	4	5
58	Arvoton	1	2	3	4	5
59	Muistamaton	1	2	3	4	5
60	Huoleton	1	2	3	4	5
61	Kauhistunut	1	2	3	4	5
62	Syylisyydentuntoinen	1	2	3	4	5
63	Elinvoimainen	1	2	3	4	5
64	Epäröivä	1	2	3	4	5
65	Nääntynyt	1	2	3	4	5

Elinvoima: 1,7,13,15,19,22,25,30,38,43,49,51,54,55,56,63

Kiukku: 3,12,16,17,24,31,33,34,42,47,53,57

Depressio: 5,14,18,27,32,35,39,44,45,48,49,64

Uupumus: 2,4,7,16,22,26,29,40,65

Ahdistuneisuus: 20,21,23,36,37,40,41,45,65

Hämmennys: 8,10,28,37,48,50,59,62,64

Muut: 6,9,11,46,52,58,60,61

Liite 4

KUORMITUKSEN AIKANA TALLENNETTU DATA

	ACT	CWI	TWI	CWT
HR _{KA} (1/min)	134 ± 8	134 ± 8	135 ± 10	135 ± 12
HR _{max1} (1/min)	181 ± 7	181 ± 6	183 ± 7	182 ± 8
HR _{max2} (1/min)	179 ± 9	179 ± 6	180 ± 7	180 ± 6
t _{200m1} (s)	32.8 ± 4.6	33.2 ± 5.1	32.5 ± 4.6	33.5 ± 5.9
t _{200m2} (s)	33.9 ± 4.5	34.8 ± 5.8	34.0 ± 4.6	34.9 ± 5.5
t _{50m1} (s)	0.07 ± 0.30	-0.06 ± 0.22	0.02 ± 0.16	-0.07 ± 0.18
t _{50m2} (s)	-0.19 ± 0.32	-0.09 ± 0.10	-0.11 ± 0.15	-0.15 ± 0.16
10-loikka (m)	23 ± 3	23 ± 3	23 ± 2	22 ± 3

ACT = pelkkä aktiivinen palautuminen, CWI = kylmävesiupotus, TWI = termoneutraalivesiupotus, CWT = kontrastivesihoito, HR_{KA} = kuormituksen aikainen keskisyke, HR_{max1} = ensimmäisen 200 m juoksun jälkeinen maksimisyke, HR_{max2} = toisen 200 m juoksun jälkeinen maksimisyke, t_{200m1} = ensimmäisen 200 m juoksun aika, t_{200m2} = toisen 200 m juoksun aika, t_{50m1} = 50 m juoksun tavoiteajan (95 % maksiminopeudesta) ja toteutuneiden aikojen keskiarvon erotus, t_{50m2} = 50 m juoksun tavoiteajan (98 % maksiminopeudesta) ja toteutuneiden aikojen keskiarvon erotus.