

**YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN SEKÄ  
VUOROKAUDENAJAN VAIKUTUS SUORAN HAPENOTTOKYVYN TESTIN  
MAKSIMILAKTAATTIKONSENTRAATIOON JA TALOUDELLISUUTEEN  
MIESKUNTOILIJOILLA**

Mikko Alpola

Valmennus- ja testausoppi

Kandidaatintutkielma

Kevät 2016

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaaja: Antti Mero

# TIIVISTELMÄ

**Mikko Alpola** (2016). Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutus suoran hapenottokyvyn testin maksimilaktaattikonsentraatioon sekä taloudellisuuteen mieskuntoilijoilla. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, kandidaatintutkielma, 37s.

**Johdanto.** Yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla on saatu aikaan useita sekä kestävyys- että voima-adaptaatioita. Yhdistetyn harjoittelun vaikutusta maksimaaliseen laktaattikonsentraatioon ei ole juuri tutkittu. Tässä työssä selvitettiin 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelujakson vaikutusta aamulla mitattuihin maksimaalisiin laktaattikonsentraatioarvoihin sekä taloudellisuuteen kahdella submaksimaalisella kuormalla.

**Menetelmät.** Koehenkilöinä oli 29 tervettä 18 - 40 -vuotiasta mieskuntoilijaa. Heistä yhdeksän harjoitteli aamulla, 11 illalla ja yhdeksän oli kontrolliryhmässä. Harjoituksia oli kahdesti viikossa ja molemmissa harjoituksissa suoritettiin kestävyysosio ennen voimaosiota. Koehenkilöille tehtiin suora hapenottokyvyn testi nousevilla kuormilla, josta mitattiin hapenoton lisäksi laktaattikonsentraatio joka kuormalta. Tämän lisäksi koehenkilöt tekivät voimatesteistä 1RM dynaamisessa jalkaprässissä ja lisäksi isometrisessä jalkaprässissä analysoitiin ensimmäisen 500ms aikainen voimantuotto (MVC500).

**Tulokset.** Maksimaalinen laktaattikonsentraatio parani molemmilla ryhmillä merkitsevästi, aamuryhmällä 24 % ( $p \leq 0,002$ ) ja iltaryhmällä 16 % ( $p \leq 0,004$ ). Taloudellisuus parani merkitsevästi ainoastaan aamuryhmän 175W:n kuormalla, 6 % ( $p \leq 0,020$ ). Aamu- ja iltaryhmien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä minkään muuttujan kohdalla.

**Pohdinta ja johtopäätökset.** Tämän tutkimuksen perusteella yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu kaksi kertaa viikossa on harjoittelemattomille miehille riittävää kehittämään sekä kestävyys- että voimaominaisuuksia. Lisäksi muun muassa irtiotosta kertova maksimaalinen laktaattikonsentraatio parani molemmilla ryhmillä merkitsevästi yhdistetyn harjoittelun seurauksena. Taloudellisuus submaksimaalisilla kuormilla parani merkitsevästi, kun molempien ryhmien tulokset yhdistettiin. Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu on siis monipuolinen tapa kehittää kuntoa mieskuntoilijoilla. Harjoittelun vuorokaudenajalla ei ollut tässä tutkimuksessa merkitystä suorituskyvyn muutosten kannalta.

**Avainsanat:** yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu, maksimaalinen laktaattikonsentraatio, taloudellisuus

# KÄYTETYT LYHENTEET

1RM	one repetition maximum, yhden toiston maksimi
E	endurance, kestävyysharjoitteluryhmä tutkimuksissa
E+S	endurance + strength, yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoitteluryhmä
E+S (E)	tämän tutkimuksen iltaharjoitusryhmä
E+S (M)	tämän tutkimuksen aamuharjoitusryhmä
iEMG	integroitu elektromyografia
MART	maximal anaerobic running test, anaerobista suorituskykyä mittaava juoksutesti
MLSS	maximal lactate steady state, harjoitusintensiiteetti, jossa laktaatin tuotto ja poisto ovat tasapainossa
MVC500	ensimmäisen 500 millisekunnin aikana tuotettu voima Newtonina
RER	hengitysosamäärä
RFD	rate of force development, voimantuottonopeus
RPE	rate of perceived exertion, koettu rasitus numeroarvoina
S	strength, voimaharjoitteluryhmä tutkimuksissa
Vo2Max	maksimaalinen hapenottokyky

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 YHDISTETTY KESTÄVYYS – JA VOIMAHARJOITTELU.....	3
2.1 Vaikutukset kestävyysuorituskykyyn.....	3
2.2 Vaikutukset voimantuottoon.....	5
2.3 Vaikutukset taloudellisuuteen.....	8
3 LAKTATTIKONSENTRAATIO.....	11
3.1 Laktaattikonsentraatio progressiivisessa kuormituksessa.....	12
3.2 Maksimaalinen laktaattikonsentraatio.....	13
4 PÄIVÄAIKAISET VAIHTELUT SUORITUSKYVYSSÄ.....	14
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	16
6 MENETELMÄT.....	18
6.1 Koehenkilöt.....	18
6.2 Koeasetelma.....	18
6.3 Harjoittelu.....	19
6.4 Aineiston keruu.....	20
6.5 Aineiston analysointi.....	22
7 TULOKSET.....	24
7.1 Maksimaalinen laktaattikonsentraatio.....	24
7.2 Taloudellisuus submaksimaalisilla kuormilla.....	24
7.3 Voimamuuttujat.....	26
7.4 Maksimaalinen hapenottokyky.....	27
7.5 Aerobinen suorituskyky.....	28
8 POHDINTA.....	29
9 LÄHTEET.....	32

## 1 JOHDANTO

Kestävyys – ja voimaharjoittelu saavat kehossa aikaan hyvin erilaisia, jopa toisilleen päinvastaisia vasteita. Kestävyysharjoittelu parantaa kykyä suorittaa matalan kuorman harjoittelua pitkän aikaa, mutta ei paranna juurikaan lihasvoimaa tai anaerobista suorituskykyä. Voimaharjoittelu puolestaan parantaa kykyä tehdä korkean intensiteetin ja vähien toistojen harjoittelua, mutta ei vaikuta lähes lainkaan kestävyysominaisuuksiin. Kestävyysharjoittelun vasteiden takana on esimerkiksi glykolyyttisten entsyymien aktiivisuuden väheneminen, mutta lihaksen sisäisten substraattivarastojen koon lisääntyminen sekä kapillaarien tiheyden ja mitokondrioiden määrän lisääntyminen. Voimaharjoittelu puolestaan vähentää mitokondrioiden määrää ja vaikuttaa hieman kapillaarien tiheyteen ja lihaksen sisäisiin substraattivarastoihin, paitsi glykogeneeniin. (Tanaka & Swensen 1998.)

Kestävyysharjoittelun on useassa tutkimuksessa (Hickson 1980; Hennessy & Watson 1994; Ronnestad 2012) todettu inhihoivan tai häiritsevän voima-adaptaatioita. Kyseessä on niin sanottu ”interference effect” (Hickson 1980). Tämä on todettu yleensä harjoituttamalla kahta eri harjoitusryhmää, joista toinen harjoittelee ainoastaan voimaa ja toinen ryhmä tekee yhdistettyä kestävyys – ja voimaharjoittelua. Lähes poikkeuksetta voimaharjoitteleva ryhmä parantaa voimatuloksia enemmän kuin yhdistetty ryhmä. Poikkeuksiakin löytyy (Häkkinen ym. 2001). Voimaharjoittelusta puolestaan on todettu useissa artikkeleissa (Paavolainen 1999; Hoff 2002; Barrett – O’Keefe 2012; Chatra 2005) olevan hyödyllistä kestävyysuorituskyvyille. Erityisen hyödyllistä näyttäisi olevan maksimivoiman ja räjähtävän voiman harjoittelu (Paavolainen 1999; Hoff 2002). On myös todettu useassa artikkelissa (Hickson ym. 1988, Laursen ym. 2005), että voimaharjoittelusta ei ole mitään haittaa kestävyysuorituskyvyille.

Yhdistetyn kestävyys – ja voimaharjoittelun vaikutusta maksimilaktaattikonsentraatioon on tutkittu ilmeisen vähän. Laktaattiin liittyvissä artikkeleissa on yleensä käsitelty harjoittelun vaikutusta MLSS:ään (maximal lactate steady state) (mm. Smekal ym. 2012) tai harjoittelun vaikutusta laktaatin tuottoon ja poistoon (Donovan & Brooks 1983).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella erityisesti yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutusta suoran polkupyörätestin laktaattikonsentraatioihin, erityisesti

maksimaaliseen laktaattikonsentraatioon. Lisäksi tarkastellaan mahdollisia eroja aamu- ja iltaharjoitusryhmän välillä aamulla suoritetuissa testeissä.

## **2 YHDISTETTY KESTÄVYYS – JA VOIMAHARJOITTELU**

Kestävyys – ja voimaharjoittelu aiheuttavat lihaksissa luonteeltaan erilaisia adaptaatioita. Kestävyysharjoittelu esimerkiksi vähentää glykolyyttisten entsyymien aktiivisuutta mutta lisää lihaksen sisäisten substraattivarastojen kokoa sekä kapillaarien tiheyttä ja mitokondrioiden määrää. Voimaharjoittelu puolestaan vähentää mitokondrioiden määrää ja vaikuttaa hieman kapillaarien tiheyteen ja lihaksen sisäisiin substraattivarastoihin, paitsi glykogeeniin. Molemmat harjoitusmuodot muuttavat tyypin IIB lihassoluja tyypin IIA lihassoluiksi ja muuttavat niiden kokoa. Kestävyysharjoittelu muuttaa II-tyypin soluja pienemmäksi, voimaharjoittelu puolestaan suuremmaksi. Näistä lihastason muutoksista johtuen kestävyysharjoittelu fasiltoi aerobisia prosesseja kun taas voimaharjoittelu lisää lihasvoimaa ja anaerobista tehoa. (Tanaka & Swensen 1998.)

### **2.1 Vaikutukset kestävyys suorituskykyyn**

Useissa tutkimuksissa on osoitettu voimaharjoittelun hyödyllisyys kestävyys suorituskyvyille (Tanaka & Swensen 1998; Paavolainen ym. 1999; Millet ym 2002; Hoff ym. 2002) Jos voimatasoja onnistuu kasvattamaan ilman muutoksia lihasmassassa, tulisi taloudellisuuden parantua. (Hickson ym. 1988). Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena parantunut kestävyys suorituskyky ei kuitenkaan näyttäisi liittyvän muutoksiin hapenottokyvyssä (Paavolainen ym. 1999; Hoff ym. 2002). Näyttäisi siis että voimaharjoittelu yhdistettynä kestävyys harjoitteluun ei paranna maksimaalista hapenottokykyä sen enempää kuin pelkkä kestävyys harjoittelu. Havaitut hyödyt kestävyys suorituskyvyille näyttäisivät liittyvän siis muihin tekijöihin, kuten motoristen yksiköiden rekrytointijärjestykseen. Täytyy kuitenkin muistaa, että ei ole todisteita sen puolesta että voimaharjoittelu yhdistettynä kestävyys harjoitteluun heikentäisi hapenottokykyä (Laursen ym. 2005). Jo Hickson ym. (1988) totesivat, ettei voimaharjoittelulla yhdistettynä kestävyys harjoitteluun ollut mitään negatiivisia vaikutuksia kestävyys suorituskykyyn, päinvastoin positiivisia vaikutuksia löytyi ainakin lyhyempikestoisiin kestävyyslajeihin.

Sekä kestävyys että voimaharjoittelu muuttavat IIB tyyppin lihassoluja oksidatiivisemmiksi IIA-tyypin lihassoluiksi. Tämän vaikutuksen on arveltu olevan yksi syy miksi voimaharjoittelusta olisi hyötyä kestävyysharjoittelulle: Oksidatiivisemmat IIA-tyypin lihassolut lisäävät lihaksen oksidatiivista kapasiteettia ja tätä kautta lihaksen kestävyys suorituskykyä ja aerobista energiantuottoa. (Laursen ym. 2005.) Aagaard ym. (2011) päättelivätkin tutkimuksessaan havaitsemansa parannuksen 45min pyöräilytestissä yhdistetyn kestävyys – ja voimaharjoittelun jälkeen johtuneen mm. tästä lihassolumuutoksesta. Kuitenkin Coylen ym. (1985, Laursen ym. 2005 mukaan) tutkimuksessa juoksun taloudellisuus ei muuttunut koehenkilöillä, jotka olivat harjoitteleematta. Heidät testattiin 12, 21, 56 ja 84 päivän jälkeen harjoittelun lopettamisesta. Taloudellisuus pysyi muuttumattomana huolimatta suuresta muutoksesta tyyppin IIA lihassoluista tyyppin IIB lihassoluiksi, jotka ovat vähemmän oksidatiivisia kuin IIA-tyypin solut. Tämä ja Bishopin ym. (1999) tutkimus, jossa ei löytynyt muunnosta lihassolutyyppissä tai lihassolujen oksidatiivisessa kapasiteetissä 12 viikon voimaharjoitusjakson jälkeen naispyöräilijöillä ehdottaisivat, että lihassolutyyppin muutoksilla on vähäinen tai ei lainkaan vaikutusta hapenottoon tai taloudellisuuteen.

Hoffin ym. (2002) tutkimuksessa todettiin että maksimivoimaharjoittelu joka keskittyy voiman maksimaaliseen mobilisointiin konsentrisessa toiminnassa parantaa taloudellisuutta aerobisella teholla ja näin ollen parantaa aerobista suorituskykyä. RFD:n (RFD:lla tarkoitetaan yleensä voima-aika käyrän jyrkintä kohtaa ja yksikkönä käytetään N/s. (Keskinen ym. 2010)) todettiin kasvavan tutkimuksen aikana enemmän kuin maksimivoiman ja näin ollen pääteltiin että sillä on suurempi merkitys taloudellisuuden kannalta kuin maksimivoiman kasvulla. Tämä saattaisi selittää sen miksi joissakin maksimivoimaa ja kestävyysharjoittelua yhdistävissä tutkimuksissa ei ole havaittu taloudellisuuden parantumista.

Heidän tutkimukseensa osallistui 19 kilpahiittäjää (VO<sub>2</sub>-Max 69,4 ± 2,2 ml/kg/ min) iältään 19,7 ± 4,0 vuotta. Heidät jaettiin harjoitusryhmään (n=9) ja kontrolliryhmään (n=10). Harjoitusryhmä suoritti normaalien hiihtoharjoitusten lisäksi 3 kertaa viikossa voimaharjoituksen hiihdon tasatyöntövaihetta imitoivassa laitteessa. Harjoitus koostui kolmesta kuuden toiston sarjasta 85%:lla ykköstoistomaksimista keskittyen voiman mobilisointiin liikkeen konsentrisessa vaiheessa. Kontrolliryhmä teki vain hiihtoharjoitukset, noin 10h viikossa. Kahdeksan viikon harjoittelun jälkeen harjoitusryhmä paransi merkittävästi ykkösmaksimiaan tasatyöntölaitteessa 40,3 ± 4,5kg:sta 44,3 ± 4,9kg:aan. Maksimivoiman saavuttamiseen kulunut aika väheni kahdella eri submaksimaalisella



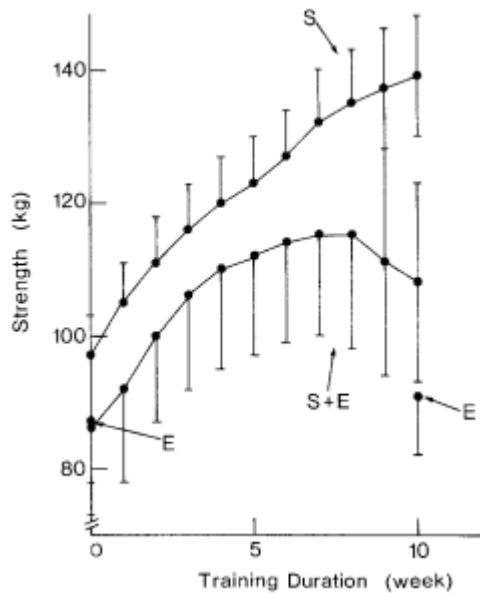
kuormalla 50% ja 60%. Aika uupumukseen parani 20,5% enemmän kuin kontrolliryhmällä. Tässä tutkimuksessa tosin koehenkilöinä toimi hyvin harjoitelleita urheilijoita, joten tuloksia ei voida suoraan vertailla tässä opinnäytetyössä esitellyn harjoituksen koehenkilöiden tuloksiin, koska he ovat harjoittelemattomia.

## **2.2 Vaikutukset voimantuottoon**

Yhdistetty kestävyys – ja voimaharjoittelu näyttäisi häiritsevän voimaharjoittelun adaptaatioita kun verrataan pelkkään voimaharjoitteluun, ja monissa tutkimuksissa onkin todettu kestävyysharjoittelun häiritsevän tai inhihoivan voiman kehittymistä (Hennessy & Watson 1994; Kraemer ym. 1995). Mekanismi tähän inhibitioon ei ole täysin selvillä. On kuitenkin ehdotettu kroonista ja akuuttia hypoteesia. Kroonisen hypoteesin mukaan voima-adaptaatiot häiriintyvät, koska luurankolihas ei kykene adaptoitumaan metabolisesti tai morfologisesti samaan aikaan kestävyys- ja voimaharjoitteluun. Näiden harjoitusmuotojen aikaansaamat muutokset lihastasolla ovat hyvin erilaisia. Eroavaisuudet lihassolusuhdemuutoksissa voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen tukevat osaltaan tätä hypoteesia. Akuutin hypoteesin mukaan kestävyysharjoittelusta jää lihaksiin jäännösväsymystä, kuten lihasvaurioita ja glykogeenivarastojen puutteellista täyttymistä. Tämä häiritsee kykyä tuottaa lihasjännitystä voimaharjoituksessa ja näin ollen voima-adaptaatiot kärsivät, jos usean voimaharjoituksen laatu kärsii tästä heikentyneestä kyvystä tuottaa lihasjännitystä. (Leveritt ym. 1999.) Myös lihaksen hypertrofian häiriintymisellä arvelaan olevan osansa yhdistetyn harjoittelun aikaansaamiin inhibitioihin voiman kehittämisessä (Bell ym. 1991; Kraemer ym. 1995).

Hicksonin (1980) tutkimuksessa koehenkilöt jaettiin kolmeen ryhmään: E (kestävyys) -ryhmä harjoitteli 6 kertaa viikossa kestävyysharjoittelua, kolmesti intervalliharjoittelua polkupyöräergometrillä (6 x 5min lähellä Vo2Max:ä 2min palautuksella) ja kolmesti jatkuvaa juoksua niin kovaa kuin pääsi juoksumatolla (1. viikolla 30min, 2. viikolla 35min ja siitä eteenpäin 40min). S (voima) -ryhmä harjoitteli 5 kertaa viikossa, kolmena päivänä maksimivoimaa ja kahtena maksimivoimaa ja kestovoimaa. S + E ryhmä teki molemmat harjoitukset. Kaikki ryhmät harjoittelivat 10 viikon jakson. S-ryhmä paransi voimantuottoaan huomattavasti koko 10 viikon jakson ajan kun taas S +E-ryhmä paransi huomattavasti 6-7

viikkoa. Tämän jälkeen voimantuotto pysyi muuttumattomina kahden viikon ajan kunnes se laski viimeisen kahden viikon aikana (kuva 1). Näiden tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että voiman kehittymisen ylärajoilla aerobinen harjoittelu häiritsee voiman kehittymistä. Samalla kuitenkin hapenottokyky kehittyi suunnilleen yhtä paljon kuin E-ryhmällä joten pelkkä väsymys ei näyttäisi selittävän tätä voiman kehittymisen inhibitiota.

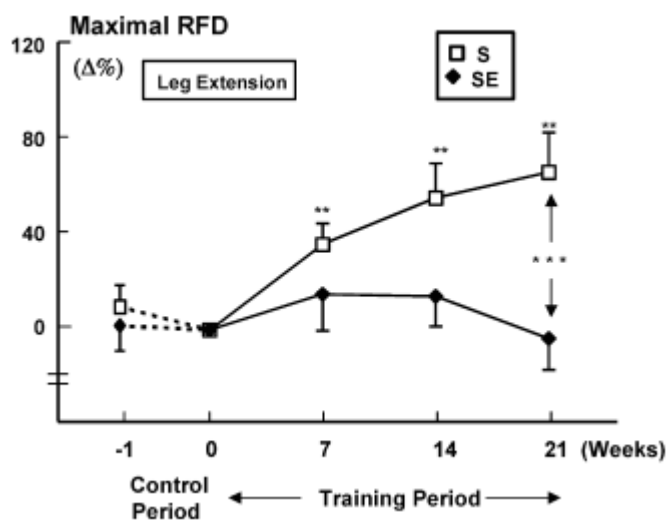


KUVA 1. 1RM kehittyminen kyykyssä 10 viikon harjoitusjakson aikana Hicksonin ym. (1980) tutkimuksessa voima-, kestävyys sekä yhdistetyllä ryhmällä.

Rønnestad ym. (2012) tutkimuksessa 11 hyvin kestävyysharjoitellutta pyöräilijää muodosti yhdistetyn voima – ja kestävyysharjoitteluryhmän (S+E) ja S-ryhmä koostui yhdeksästä kuntoliikkujasta. Kenelläkään ei ollut alla voimaharjoittelua viimeisen 6kk ajalta. S+E ryhmä teki oman pyöräilyharjoittelunsa (n. 10h) lisäksi kahdesti viikossa voimaharjoituksen. S-ryhmä teki ainoastaan nuo kaksi samaa voimaharjoitusta ja lisäksi maksimissaan yhden kestävyysharjoituksen viikossa. Voimaharjoituksessa oli ainoastaan jalkaliikkeitä ja se oli hyvin kuormittava, 4 liikettä, 3 ensimmäistä viikkoa viikon ensimmäisessä sessiossa 3x10, toisessa 3x6. 3 Seuraavaa viikkoa 3x8 ja 3x5 ja 5 viimeistä viikkoa 3x6 ja 3x4. Koehenkilöiltä mitattiin lihaksen poikkipinta-ala reidestä, staattisen hypyn korkeus, RFD isometrisessä puolikykyssä, puolikyky 1RM ja jalkaprässi 1RM. 1RM tulokset, reiden poikkipinta-ala ja staattisen hypyn tulokset parantuivat merkitsevästi sekä S että S + E-ryhmällä ( $p < 0.05$ ) mutta suhteelliset parannukset olivat merkitsevästi suuremmat S-ryhmällä ( $p < 0.05$ ). Ainoastaan S-ryhmä paransi RFD:a.

Häkkinen ym. (2003) saivat tutkimuksessaan poikkeavia tuloksia verrattuna niihin useisiin tutkimuksiin, kuten edellä esitellyt Hickson (1980) ja Ronnestad ym. (2012), jotka havaitsivat kestävyysharjoittelun inhiboivan vaikutuksen voima-adaptaatioihin. Häkkinen ym. (2003) raportoivat tutkimuksessaan lähes samanlaiset voima-adaptaatiot sekä S- että E+S-ryhmälle. Tutkimuksen koehenkilöt jaettiin S (n=16) ja E+S (n=11) ryhmiin. Koehenkilöt olivat terveitä, noin 38-vuotiaita miehiä. S-ryhmä teki kaksi kertaa viikossa maksimi – ja räjähtävä voima – painotteisen harjoituksen ja E+S- ryhmä teki samat kaksi voimaharjoitusta ja lisäksi kaksi kestävyysharjoitusta viikossa. Harjoitusjakso kesti 21 viikkoa. Tutkimuksen S-ryhmä paransi 1RM – tulostaan 21% ( $p<0.001$ ) ja isometristä maksimivoimaa 22% ( $p<0.001$ ). E+S-ryhmän kyseiset tulokset parantuivat lähes samalla tavalla, 22% ( $p<0.001$ ) ja 21% ( $p<0.001$ ). Lihastyypin I, Iia ja Iib pinta-ala kasvoi molemmilla ryhmillä. RFD ( $p<0.01$ ) ja vastus lateraalisen iEMG isometrisen supistuksen ensimmäisen 500ms aikana ( $p<0.05-0.001$ ) paranivat puolestaan vain S-ryhmällä. E+S-ryhmän VO2-Max parani 18,5%. ( $p<0.001$ ).

Häkkinen ym. (2003) pohtivat että muissa tutkimuksissa selvästi esille tullut inhibitio voima – adaptaatioissa ei tullut tässä tutkimuksessa esille koska harjoitusvolyymi oli suhteellisen pieni, kaksi kertaa viikossa voimaryhmällä ja neljä kertaa viikossa yhdistetyllä ryhmällä. Näin ollen kestävyysharjoittelu ei ollut luultavasti tarpeeksi raskasta saadakseen häirintää aikaan maksimivoiman kehitymisessä. RFD:n kehittymisen häirintään tämä määrä kestävyysharjoittelua näytti olevan kuitenkin tarpeeksi, johtuen luultavasti heikentyneestä tahdonalaisesta neuraalisesta aktivoinnista (kuva 2). Voi siis olla että tämä inhibitio on spesifi voimaharjoittelun eri osa-alueille, esimerkiksi maksimivoiman vs. tehon harjoittaminen.



KUVA 2. RFD:n muutos 21 viikon harjoitusjakson aikana voima- sekä yhdisteyllä ryhmällä (Häkkinen ym. 2003).

### 2.3 Vaikutukset taloudellisuuteen

Suorituksen taloudellisuudella tarkoitetaan liikkeen metabolisia vaatimuksia tietyllä kuormituksen intensiteetillä. Esimerkiksi jos kaksi juoksijaa juoksee samalla vauhdilla ja toinen heistä kuluttaa tällä tietyllä vauhdilla juostessaan vähemmän happea sanotaan hänen olevan taloudellisempi kuin toinen juoksijoista. Vähemmän happea kuluttaessaan tuottaa hän myös vähemmän metabolista lämpöä kuin toinen juoksijoista. (Laursen ym. 2005.) Maksimivoimaharjoittelun korkeaintensiteettisen ja nopeudeltaan korkean luonteen uskotaan saavan aikaan sellaisia neuromuskulaarisia adaptaatioita, jotka johtavat parantuneeseen taloudellisuuteen ainakin juoksussa ja maastohiihdossa. Tällaisia adaptaatioita ei tapahdu perinteisemmässä (paljon toistoja, matala intensiteetti) voimaharjoittelussa. Näiden adaptaatioiden vuoksi myös pelkkä maksimivoimaharjoittelu ilman kestävyysharjoittelua saattaa parantaa suorituksen taloudellisuutta. (Loveless ym. 2005.)

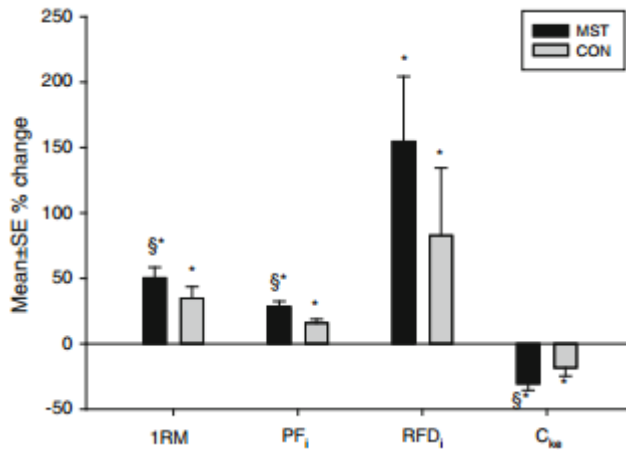
Loveless ym. (2005) totesivatkin näin tapahtuvan tutkimuksessaan aikaisemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä. Heidän tutkimuksessaan pyöräilyn taloudellisuus parani korkeaintensiteettisessä pyöräilyssä mutta pysyi samana matalaintensiteettisessä pyöräilyssä 8 viikon maksimivoimaharjoittelun jälkeen. Vo2Max pysyi samana. Neljän ensimmäisen viikon aikana havaittiin jalkojen lihasten hypertrofiaa mutta toisella neljällä viikolla ei, voiman kehittymisestä huolimatta. Näin ollen myös neuraaliset adaptaatiot ovat luultavasti olleet osallisina voiman kehittymiseen. Voiman kehittyminen saattaa johtaa vähempien lihassolujen rekrytointiin ja lihassolujen toimimiseen pienemmällä osalla maksimivoimastaan. Tämä taas voi johtaa yksittäisten motoristen yksiköiden väsymisen viivästymiseen ja näin ollen antaa niiden toimia pidempään korkeaintensiteettisessä työssä.

Paavolainen ym. (1999) tutkivat räjähtävän voimaharjoittelun vaikutusta kestävyysuorituskykyyn. He havaitsivat merkitsevän parannuksen 5km juoksuajassa ilman muutoksia hapenottokyvyssä ja arvelivat tämän parannuksen johtuvan neuromuskulaaristen ominaisuuksien kehittymisestä ja niiden kehitysten heijastumisesta parantuneeseen lihasvoimaan ja juoksun taloudellisuuteen. Kirjoittajat ehdottivat myös niin sanotun

lihastehotekijän (muscle power factor) paranemisen olevan osallisena parantuneessa juoksusuorituksessa. Lihastehotekijällä tarkoitetaan hermolihasjärjestelmän kykyä tuottaa voimaa tilanteissa, joissa intensiteetti on maksimaalinen, energiantuotto suurta ja lihasten kyky supistua rajallinen.

Heidän tutkimukseensa osallistui 18 miessuunnistajaa. Heidät jaettiin kokeelliseen - (K) ja kontrolliryhmään (C). Interventiojakso kesti 9 viikkoa, jonka aikana K-ryhmän suunnistusharjoittelusta korvattiin 32% räjähtävällä ja plyometrisellä voimaharjoittelulla ja kontrolliryhmän harjoittelusta 3%. Molempien ryhmien harjoitusaika oli sama. K-ryhmä paransi 5km aikaansa merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) kun taas C-ryhmän ajassa ei tapahtunut merkitseviä muutoksia. Juoksun taloudellisuus ja MART-testin maksiminopeus paranivat merkitsevästi K-ryhmällä ( $p < 0.05$ ) kun taas C-ryhmällä ei tapahtunut muutosta. Mikkola ym. (2011) saivat samankaltaisia tuloksia kuin Paavolainen ym. (1999) harrastelevilla juoksijoilla. 8 viikon harjoitusjakson aikana kestävyysuorituskyky parani merkitsevästi ilman huomattavia muutoksia hapenottokyvyssä.

Heggelund ym. (2013) raportoivat tutkimuksessaan, että taloudellisuus parani enemmän raskaalla räjähtävällä voimaharjoittelulla kuin tavanomaisella (kohtalainen vastus, paljon toistoja) voimaharjoittelulla. He havaitsivat myös että RFD ja maksimivoima kehittyivät enemmän raskaalla, räjähtävällä voimaharjoittelulla kuin tavanomaisella voimaharjoittelulla. Heidän tutkimuksessaan  $26 \pm 1$  vuotiaat koehenkilöt laitettiin tekemään 8 viikkoa voimaharjoittelua yhdellä jalalla. Toinen jalka suoritti perinteisempää voimaharjoittelua ( $3 \times 10RM$ ) kun taas toinen jalka teki maksimivoimaharjoittelua ( $4-5 \times 5RM$ ). Maksimivoimajalan taloudellisuus parantui 31% ( $p < 0.001$ ) kun taas perinteisempää voimaharjoittelua tehneen jalan 18% ( $p < 0.01$ ). 1RM ja RFD paranivat maksimivoimajalalla 50% ( $p < 0.001$ ) ja 155% ( $p < 0.001$ ). Perinteisemmän voimaharjoittelun jalalla vastaavat parannukset olivat 35% ( $p < 0.001$ ) ja 83% ( $p < 0.028$ ). Maksimivoimaharjoittelu oli tässä tutkimuksessa siis huomattavasti tehokkaampi tapa parantaa maksimivoimaa, RFD:a ja taloudellisuutta.



KUVA 3. 8 viikon harjoitusjakson jälkeiset muutokset perinteisempää voimaharjoittelua tehneen (CON) ja maksimivoimaa (MST) harjoitelleen jalan osalta (N=8) (Heggelund ym. 2013). PF= isometrinen maksimivoima, C= polven ojennuksen taloudellisuus ml/kg/min.

Barrett – O’Keefe ym. (2012) toivat tutkimuksessaan selvästi esille, että maksimivoimaharjoittelun tuomat muutokset taloudellisuudessa johtuvat nimenomaan vähentyneestä hapen käytöstä työskentelevässä lihaksessa eikä sydän – ja hengityslihasten tehokkuuden lisääntymisestä. Yksi merkittävä tekijä taloudellisuuden parantumisessa maksimivoimaharjoittelun kautta saattaa olla parantunut RFD. Voiman tuottaminen nolasta on nimittäin aineenvaihdunnallisesti ”kalliimpaa” kuin tietyn voimatason ylläpitäminen. (Russ ym. 2002.) Hickson ym. (1988) toivat esille maksimivoimaharjoittelun mahdollisia vaikutusmekanismeja pyöräilyn taloudellisuuden paranemiseen. Yhtenä mahdollisuutena oli motoristen yksiköiden rekrytointitapa kuormituksen aikana. Polkupyöräergometrin polkimien polkaisuun submaksimaalisella teholla (85% VO<sub>2</sub> – Max) voidaan käyttää 50 – 60% maksimivoimasta, jota polkimia vastaan on mahdollista tuottaa (Anderson & Sjogaard 1976, Hickson ym. 1988 mukaan). Hicksonin ym. tutkimuksessa alaraajojen maksimivoima parani 30%. Jos oletetaan, että tuo voiman lisäys siirtyy myös voimaan jota tuotetaan polkimia vastaan, madaltuu samalla kuormalla käytetty osuus maksimivoimasta 50 – 60%:sta 35 – 45%:iin. Näin rekrytoidaan suhteessa enemmän hitaita lihassoluja ja säästetään nopeampia lihassoluja. Tämä johtaa nopeiden lihassolujen myöhempään aktivointiin ja sitä kautta väsymyksen viivästymiseen.

### 3 LAKTAATTIKONSENTRAATIO

Veren laktaattikonsentraatio on seurausta kahdesta asiasta: Prosesseista jotka tuottavat laktaattia ja vaikuttavat sen esiintymiseen veressä ja niistä prosesseista jotka hajottavat laktaattia sen jälkeen kun se on poistettu verenkierrosta. Laktaattia kertyy lihaksiin korkeaintensiteettisen suorituksen aikana. Tällöin maitohapon tuotto on suurempaa kuin sen poisto. Maitohappo on vahva orgaaninen happo, joka hajoaa vety – ja laktaatti-ioneiksi. Tämän vuoksi termejä laktaatti ja maitohappo käytetään usein rinnakkain. (Brooks 1985)

Vetyionit ovat kuitenkin suurin tekijä veren pH:n laskussa. Laktaatin kertyminen vereen ja lihaksiin tarkoittaa sitä, että laktaatin poisto - ja huuhtelumekanismien kapasiteetti on ylitetty eivätkä ne pysty vastaamaan metabolisiin vaatimuksiin. Laktaatin kasaantuminen on myös yksi oire glykogeenvajeesta (Brooks ym. 1996, Billat ym. 2003 mukaan). Sekä laktaatin tuotto että poisto on riippuvaista harjoitusintensiteetistä (Mader & Heck 1991, Beneke & von Duvillard 1996 mukaan; Mader & Heck 1996). Donovanin & Brooks (1983) rotilla tekemässä tutkimuksessa selvisi että harjoitelleilla ja harjoittelemattomilla rotilla laktaatin tuotto oli samaa luokkaa mutta poisto oli selvästi tehokkaampaa harjoitelleilla rotilla. Tämä johti matalampiin laktaattiarvoihin submaksimaalisilla kuormilla. Harjoitelleilla rotilla oli myös parantunut glukoosi - homeostaasi johtuen tehostuneesta laktaatin muunnoksesta glukoosiksi ja vähentyneestä laktaatin oksidaatiosta kovan rasituksen aikana. Kestävyysharjoittelun on todettu myös parantavan lihaskalvon kapasiteettia kuljettaa laktaattia matalalla laktaattikonsentraatiolla rotilla (McDermott & Bonen 1993).

Kyky tuottaa laktaattia kuvaa henkilön glykolyyttistä kapasiteettia. Voima-, teho-, ja intervalliharjoittelun on todettu parantavan glykolyyttistä kapasiteettia kun taas kestävyysharjoittelulla on osoitettu olevan vain minimaalinen vaikutus. Kestävyysharjoittelu ei siis auta saavuttamaan maksimaalista laktaattikonsentraatiota. (Pfitzinger & Fredson 1997.) Laktaattikonsentraation on katsottu olevan järkevä mittari kestävyysharjoittelun harjoitusintensiteettien määrittämisessä (Mader 1991, Beneke & von Duvillard 1996 mukaan). Laktaattikonsentraatiota ei voida kuitenkaan pitää lihasten laktaatin tuoton suorana mittarina, koska ne osallistuvat itsekin laktaatin hajottamiseen aerobisen aineenvaihdunnan kautta (Grassi ym. 2001).

### 3.1 Laktaattikonsentraatio progressiivisessa kuormituksessa

Heck ym. (1985), Smekal ym 2012 mukaan, esittivät MLSS (Maximal lactate steady state) käsitteen, joka tarkoittaa pistettä, jossa laktaatin tuotto ja poisto ovat tasapainossa. Beneke ym. (2000) esittivät että MLSS ei ole riippuvainen kestävyysuorituskyvystä. Heidän tutkimukseensa osallistui 33 koehenkilöä iältään  $23,7 \pm 5,5$  vuotta. 10 heistä oli 8-25 tuntia viikossa pyöräilyä harrastavia ja loput eivät harrastaneet kestävyysurheilua säännöllisesti. He suorittivat 3-6 portaisen nousevan rasituksen testin jossa heidän MLSS määritettiin korkeimpana veren laktaattikonsentraationa, joka ei noussut yli 1 mmol/l viimeisen 20 min aikana testissä. Tutkimuksessa kävi ilmi että hyvillä kestävyysuorituskyvyn omaavilla koehenkilöillä oli määrättyillä kuormilla matalampi veren laktaattikonsentraatio kuin heikomman kestävyysuorituskyvyn omaavilla. Tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi harjoitusintensiiteettiä arvioidessa.

Smekalin ym. (2012) tutkimukseen osallistui 62 hyvin erilaisen kestävyysuorituskyvyn omaavaa  $26,4 \pm 3,7$  vuotiasta koehenkilöä (42 miestä ja 20 naista). Heidät jaettiin kestävyysuorituskykynsä mukaan kolmeen eri ryhmään ja heille tehtiin nousevan kuormituksen testi polkupyöräergometrillä uupumukseen saakka. Tuloksista tarkasteltiin heidän laktaattikonsentraatiota laktaattikynnyksellä. Voimantuoton ja laktaattikonsentraation välillä ei löytynyt merkitsevää korrelaatiota laktaattikynnyksen kohdalla. Miesten ja naisten välillä ei havaittu kyseisten muuttujien välillä merkitsevää eroa. Voidaan siis sanoa että laktaattikonsentraatio laktaattikynnyksellä on riippumaton kestävyysuorituskyvystä. Tämä tulos on saatu muutamasta muustakin tutkimuksesta (Gobatto ym. 2001; Dendai ym 2004). Gobatto ym. (2001) tosin tutkivat uintiharjoittelevia rottia joten ei ole varmaa miten tulokset ovat yleistettävissä ihmisiin.

Beneke ym. (1996) tutkivat kuormitusmuodon vaikutusta MLSS:iin. Koehenkilöinä toimi urheilijoita neljästä eri lajista, soudusta (N=11), pyöräilystä ja triathlonista (N=16) ja pikaluistelusta (N=6). Soudussa MLSS oli  $3,1 \pm 0,5$ mmol/l, pyöräilyssä  $5,4 \pm 1,0$ mmol/l ja pikaluistelussa  $6,6 \pm 0,9$ mmol/l. Tuloksien valossa työskentelevien lihasten määrä kuormitusmuodossa näyttäisi olevan kääntäen verrannollinen laktaattikonsentraatioon MLSS:lla, eli koska soudussa käytetään kehon lihaksista suurinta osaa verrattuna pyöräilyyn ja pikaluisteluun, on siinä matalin MLSS-arvo.



### 3.2 Maksimaalinen laktaattikonsentraatio

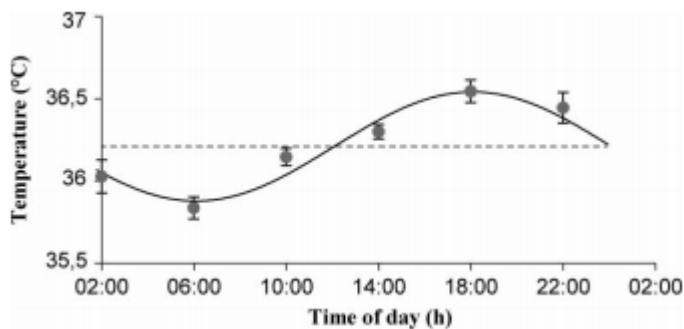
Kyky saavuttaa korkeita laktaattikonsentraatioarvoja kertoo muun muassa koehenkilön glykolyyttisestä kapasiteetista (Pfitzinger & Freedson 1997). Maksimaalinen laktaattikonsentraatio on herkkä energiantuoton mittari ja riippuu erittäin paljon motivaatiosta ja yrityksen määrästä. Sitä tulee tämän vuoksi tulkita varovasti. (Costa ym. 2013.) Todellisen anaerobisen aineenvaihdunnan veren laktaattikonsentraation avulla voi luultavasti määrittää vain merkityksellisissä kilpailutilanteissa tai simuloituissa kilpailuissa, joissa koehenkilöt ovat hyvin motivoituneita (Gullstrand 2000, 828-829). Myös ruokavaliolla voi olla merkitsevä rooli maksimaaliseen laktaattikonsentraatioon. Eräässäkin tutkimuksessa uimarit heikensivät omaa maksimaalista laktaattikonsentraatiotaan 25% vähähiilihydraattisella ruokavaliolla ja paransivat sitä vuorostaan 25% korkeahiilihydraattisella ruokavaliolla. (Maglisco 2003, 551-552.) Eksentrisen voimaharjoittelun aiheuttamien lihasvaurioiden on ositettu nostavan maksimaalista laktaattikonsentraatiota suorassa polkupyöräergometritestissä liikunnallisesti aktiivisilla koehenkilöillä (Gleeson ym. 1998). Popov ym. (2010) raportoivat negatiivisen korrelaation suorassa hapenottokyvyn testissä viimeisen kuorman jälkeisen laktaattikonsentraation ja hapenottokyvyn anaerobisella kynnyksellä välillä kestävyysurheilijoilla. Tällaisia korrelaatioita ei havaittu kuntourheilijoiden ryhmässä samassa tutkimuksessa. Eniten harjoitelleilla urheilijoilla (hiihtäjät) oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi maksimaalinen laktaattikonsentraatio testissä kuin kuntourheilijoilla. Grassi ym. (2001) raportoivat tutkimuksessaan progressiivisessa polkupyöräergometritestissä maksimaaliseksi laktaattikonsentraatioksi  $11.3 \pm 2,8$ mmol/l terveillä kaukasialaisilla miehillä.

#### 4 PÄIVÄAIKAISET VAIHTELUT SUORITUSKYVYSSÄ

Voitaisiin väittää, että jos urheilusuorituksen kellonaika vaihtelee päivän aikana normaaleissa olosuhteissa, on tällä vaikutusta urheilijan suorituskykyyn. Submaksimaalisissa suorituksissa havaittava vaihtelu päivän ajan mukaan näyttäisi viittaavan jonkinlaiseen sisäiseen hallintajärjestelmään, koska esimerkiksi maksimaalisissa suorituksissa tarvittavalla kovalla motivaatiolla ei ole niinkään merkitystä submaksimaalisilla kuormilla. (Drust ym. 2005.) Hill ym. (1989) eivät löytäneet tutkimuksessaan submaksimaalisessa suorituskyvyssä tapahtuneissa adaptaatioissa eroja aamulla ja illalla harjoitteleiden ryhmien välillä lukuun ottamatta hapenkulutusta aerobisella kynnyksellä. Submaksimaalisen pyöräilyn hyötysuhteessa ei näyttäisi olevan päiväaikaista vaihtelua (Noordhof ym. 2010).

Kehon lämpötilan vaihtelun uskotaan vaikuttavan päiväaikaiseen vaihteluun suorituskyvyssä. (kuva 4). On olemassa paljon epäsuoraa todistusaineistoa siitä, että urheilusuoritukset ovat huipussaan kun kehon lämpötila on korkeimmillaan. Esimerkiksi yleisurheilussa ennätyksiä rikotaan yleensä myöhään iltapäivällä tai illalla. Yleisurheilun finaalit käydään toki yleensä tuohon aikaan, mikä selittää osaltaan ennätyksien syntymistä. Urheilijat suosivat kuitenkin iltakilpailuja ja saavuttavat niissä yleensä huippu-tuloksensa. (Reilly ym. 2000). Painonnostajilla tehdyssä tutkimuksessa todettiin myös iltapäivän olevan otollisinta aikaa harjoittelulle suorituskyvyn, RPE:n ja lihaksiin syntyneen vaurion perusteella (Ammar ym. 2015). Souissi ym. (2007) päättelivät iltapäivän olevan parempi ajankohta Wingaten testin suorittamiselle tehokkaamman aerobisen energiantuoton osallisuuden vuoksi. Heidän testeissään aerobisen energiantuoton osuus nimittäin lisääntyi iltapäivän testissä verrattuna aamun testiin ja laktaattikonsentraatioissa ei ollut merkitsevää eroa aamun ja iltapäivän välillä. Fyysinen harjoittelu ja valmistautuminen suoritusta varten kannattaisi ajoittaa samaan aikaan päivästä kuin tuleva suoritus tulee olemaan, jos siihen liittyy suhteellisen kovaa intensiteettiä pitkällä aikavälillä (Hill ym. 1989). Useiden viikkojen kestoisella aamuharjoittelullakaan ei luultavasti saada Reillyn ym. (2000) mukaan käännettyä aamun suorituskykyä yhtä hyväksi kuin illan. Tosin Souissin ym. (2002) tutkimuksessa koehenkilöt onnistuivat nostamaan aamulla mitatut Wingaten testin sekä maksimaalisen vääntömomentin arvot iltatestien tasolle kuuden viikon harjoitusjakson aikana, jolloin he harjoittelivat kaksi kertaa viikossa. Kun tuloksissa oli ollut tilastollisesti merkitsevä ero ennen harjoitusjaksoa iltaja aamumittausten välillä, ei tätä eroa ollut enää harjoitusjakson jälkeen. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisikin, että voima- ja teholarjeissa aamuharjoittelulla saataisiin

merkitseviä vaikutuksia aikaan aamusuorituskyvyssä. Tämä voi olla arvokasta tietoa esimerkiksi yleensä aamulla järjestettäviä alkueräsuorituksia varten. Sedliakin ym. (2008) tutkimuksessa saatiin samankaltaisia tuloksia maksimaalisen vääntömomentin osalta. Tämä spesifi adaptaatio oli tutkimuksessa kuitenkin melko yksilöllistä. Sedliak ja kollegat (2007) löysivät samankaltaista adaptaatiota aamuharjoittelun seurauksena myös maksimaaliseen voimantuottonopeuteen. Samassa tutkimuksessa kävi ilmi, että aamulla mitatut kortisoliarvot laskivat aamuharjoittelun seurauksena, luultavasti vähentyneen treenin odotusta seuraavan stressin myötä, mutta testosteroniarvoissa ei tapahtunut merkitseviä muutoksia.



KUVA 4. Oraalilämpötilan vaihtelu Souissin ym. (2007) tutkimuksen koehenkilöillä.

Drust ym. (2005) summaavat päiväaikaisten vaihteluiden huomioon ottamisen erilaisissa lajeissa seuraavalla tavalla: Näyttäisi siltä, että taitoa ja monimutkaisia kilpailustrategioita vaativat sekä yksityiskohtaisten ohjeiden sisäistämistä vaativat lajit olisi hyvä suorittaa aamulla. Kovaa fyysistä ponnistelua vaativat lajit olisi taas hyvä suorittaa myöhemmin päivällä. Araujo ym. (2011) löysivät tutkimuksessaan merkitsevän 24 tunnin rytmin polven ojentajien ja koukistajien sekä nopeissa että hitaissa liikenopeuksissa päivän aikana. Matalimmat voima-arvot olivat lähes poikkeuksetta klo 6.00 aamulla ja suurimmat arvot klo 14-18 iltapäivällä/illalla.

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia yhdistetyn voima – ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia laktaattikonsentraatioon ja erityisesti maksimaaliseen laktaattikonsentraatioon polkupyöraergometrilla suoritetun suoran hapenottokyvyn testin lopussa. Lisäksi tarkoituksena oli tarkastella voimaharjoittelun mahdollisia hyötyjä taloudellisuuteen submaksimaalisilla kuormilla ja tarkastella aamu- ja iltaryhmän välisiä eroja aamulla suoritetuissa testeissä.

### Tutkimusongelmat ja hypoteesit

1. Vaikuttaako yhdistetty kestävyys ja voimaharjoittelu suoran polkupyöraergometrilla suoritetun hapenottokyvyn testin maksimilaktaattikonsentraatioon?

Hypoteesi: Voimaharjoittelu nostaa maksimilaktaattikonsentraatiota glykolyyttisen kapasiteetin parantumisen kautta.

Voimaharjoittelun on katsottu parantavan glykolyyttistä kapasiteettia (Pfitzinger & Freedson 1997). Paavolainen ym. (1999) ehdottivat tutkimuksessaan niin sanotun lihastehotekijän (muscle power factor) olevan osallisena parantuneeseen juoksusuoritukseen. Lihastehotekijällä tarkoitetaan hermolihasjärjestelmän kykyä tuottaa voimaa tilanteissa, joissa intensiteetti on maksimaalinen, energiantuotto suurta ja lihasten kyky supistua rajallinen. Tämä voimantuoton jatkaminen väsyneenäkin voisi tarkoittaa nopeiden lihassolujen suurempaa rekrytointia kuormittavan suorituksen lopussa ja niiden parempien glykolyyttisten ominaisuuksien kautta suurempaa laktaattikonsentraatiota suorituksen jälkeen.

2. Parantaako yhdistetty kestävyys – ja voimaharjoittelu taloudellisuutta submaksimaalisilla kuormilla?

Hypoteesi: Taloudellisuus parantuu submaksimaalisilla kuormilla. (Hickson ym. 1988; Paavolainen ym. 1999; Mikkola ym. 2011; Barrett – O’Keefe ym. 2012; Heggelund 2013; Hoff ym. 2002)

Taloudellisuuden on katsottu parantuvan yhdistetyn kestävyys – ja voimaharjoittelun vaikutuksesta submaksimaalisilla kuormilla muun muassa motoristen yksiköiden rekrytoititavan (Hickson ym. 1988), RFD:n kasvun (Hoff ym. 2002), vähentyneen hapen käytön työskentelevissä lihaksissa (Barrett – O’Keefe ym. 2012) ja pienemmän lihassolumäärän rekrytoinnin submaksimaalisilla kuormilla (Loveless ym. 2005) kautta.

### 3. Onko harjoittelun vuorokaudenajalla merkitystä aamulla suoritettavien testien tuloksiin?

Hypoteesi: Harjoittelun vuorokaudenajalla on merkitystä aamulla suoritettavien testien tuloksiin. Tutkimuksissa on saatu tasoitettua aamu- ja iltasuorituskyvyn eroja, joten on oletettavissa, että aamulla harjoitteleva ryhmä parantaa suorituskykyään suhteessa illalla harjoittelevaa ryhmää enemmän (Hill ym. 1989; Souissi ym. 2002; Sedliak ym. 2007; Sedliak ym. 2008)

## **6 MENETELMÄT**

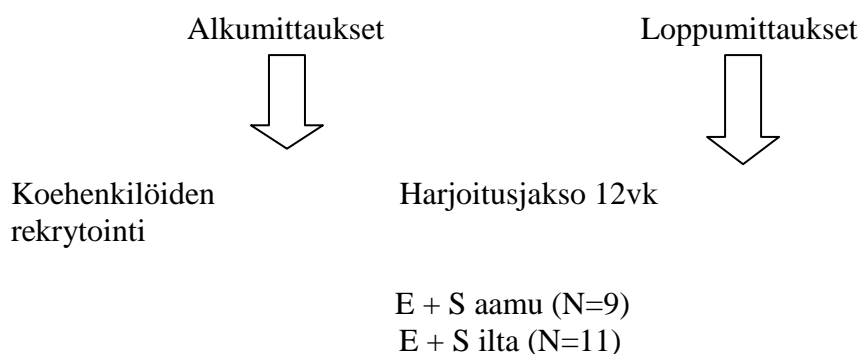
### **6.1 Koehenkilöt**

Koehenkilöinä toimi 29 tervettä 18 - 40 -vuotiasta mieshenkilöä. Heidät rekrytoitiin tutkimukseen mainostamalla tutkimusta paikallisissa sanomalehdissä, sähköpostilistoilla ja julkisilla paikoilla. Heidät jaettiin ensin kahteen ryhmään: Interventio (20) ja kontrolli (9). Lisäksi interventioryhmä jaettiin vielä kahteen eri harjoitusryhmään harjoituksen vuorokaudenajan mukaan: E (kestävyys) + S (voima) aamu sekä E+S ilta. Tutkimukseen oli saatu Jyväskylän Yliopiston Eettisen toimikunnan lausunto.

Koehenkilöt olivat aikaisemmin harjoittelemattomia mutta fyysisesti aktiivisia miehiä joilla oli samankaltainen tausta terveydentilan ja fyysisen kunnon puolesta. Kenelläkään ei ollut akuuttia sairautta, loukkaantumista tai ylipainoa (BMI < 31). Tutkimukseen ei otettu myöskään henkilöitä, joilla esiintyy heikkoa glukoositoleranssia, metabolista oireyhtymää tai minkään asteista sydän- ja verisuoni-, hengitystie- tai muskuloskeletaalista sairautta joka estäisi osallistumista fyysiseen harjoitteluun. Vuorotyöläisiä ei otettu tutkimukseen. Ennen intervention alkua koehenkilöiltä määritettiin ovatko he ilta- vai aamutyyppejä vai ei merkitystä.

### **6.2 Koeasetelma**

Koehenkilöiden rekrytoinnin jälkeen heille tehtiin antropometriset mittaukset (Dual X-ray absorptiometry, DEXA) ja tutustutettiin voimatestaustutkimukseen. Kaikille koehenkilöille suoritettiin voimamittaukset ja kestävyysmittaus sekä alku – että loppumittauksissa. Voimatesteihin kuuluivat maksimaalinen isometrinen jalkadynamometri ja 1RM dynaamisessa jalkaprässissä. Kestävyystestinä suoritettiin suora hapenottokyvyn testi polkupyöräergometrillä kahden minuutin progressiivisilla kuormilla. Mittaukset olivat samat alku- ja loppumittauksissa. Kaikki testit suoritettiin aamulla. Koehenkilöt kävivät tutustumassa voimatesteihin ennen varsinaisia voimatestejä. Lisäksi koehenkilöiltä kerättiin sylkinäytteitä tutkimuksen aikana sekä pyydettiin täyttämään ruokapäiväkirjaa kolmen päivän ajalta.



KUVA 5. Tutkimuksen kulku

### 6.3 Harjoittelu

Alkutestien jälkeen koehenkilöt suorittivat 12 viikon harjoittelujakson. Lisäksi koehenkilöt tutustuivat harjoitussessioon ennen varsinaisen harjoitusjakson alkamista. Jokaisella harjoituskerralla tehtiin sekä kestävyys- että voimaharjoitus. Sekä kestävyys- että voimaharjoituksen sisällöt olivat identtiset E+S aamu ja E+S ilta- ryhmien välillä. Harjoitussessiot kestivät keskimäärin 60-120 minuuttia ja kaikki harjoitukset olivat valvottuja pätevien ohjaajien toimesta. Harjoitussessioiden välissä ei pidetty varsinaista taukoa, vain pieni lepoetki (5-10min) ja koehenkilöt saivat nauttia 1-2 kappaletta glukoositabletteja (Oriola Oy). Koehenkilöt saivat harrastaa kevyttä liikuntaa tutkimuksen aikana, mutta eivät varsinaista kestävyys- tai voimaharjoittelua.

12 viikon harjoitusjakson aikana koehenkilöt suorittivat kaksi E+S harjoituskertaa viikossa. Voimaharjoitus koostui kesto-voimaharjoittelusta, hypertrofisesta voimaharjoittelusta ja maksimivoimaharjoittelusta. Jalkojen liikkeet pysyivät samoina, mutta keski- ja ylävartalon liikkeitä vaihdeltiin harjoituskauden mukaan. Kuormat pyrittiin arvioimaan jokaiseen liikkeeseen ensimmäisten harjoituskertojen aikana ja 1RM-10RM toistomaksimitestejä tehtiin harjoituskauden aikana sopivien kuormien löytämiseksi. Kestävyys- ja voimaharjoittelu toteutettiin

polkupyöräergometrillä intensiteetillä, joka perustui nousevan kuormituksen testissä määritettyyn maksimisykkeeseen. Harjoitusohjelmaan kuului sekä pidempiä matalatehoisia että intervalliharjoituksia. Harjoittelu jaettiin vielä neljän viikon sykleihin siten, että joka neljäs viikko intensiteetti ja/tai kesto lisääntyi. Intensiteetit sekä voima- että kestävyysharjoituksissa olivat progressiivisia koko harjoitusjakson ajan.

#### **6.4 Aineiston keruu**

*Maksimaalinen hapenottokyky.* Tässä tutkimuksessa suora hapenottokyvyn testi tehtiin Monarkin polkupyöräergometrillä. Kuormitus aloitettiin 50 wattista ja nostettiin 2 min portain aina 25 wattia kerrallaan. Jokaisen kuorman lopussa otettiin verinäyte sormenpästä, kysyttiin RPE-arvo Borgin 6-20 asteikolla ja otettiin viimeisen 10s keskiarvosyke. Tämän lisäksi testissä mitattiin leposyke ja lepolaktaatti, verinäyte heti testin loppumisen jälkeen jos lopettamishetki ei osunut kuorman vaihtohetkeen sekä post 2' verinäyte. Hengityskaasuja mitattiin koko kuormituksen ajan MasterScreen CPX Gas analyzer - analysaattorilla. Verinäytteet otettiin sormenpästä pistämällä lansetilla pieni haava sormeen ja keräämällä siitä verta ohkaiseen kapillaariin. Kapillaari laitettiin pieneen Biosen-koeputkeen säilöön myöhempää analysointia varten. Verinäytteet analysoitiin Biosen-laitteella. Tuloksista katsottiin laktaattikonsentraatio.

Suora hapenottokyvyn testi on yleisin tapa mitata aerobisia kestävyysominaisuuksia. Testi tehdään yleisimmin polkupyöräergometrillä tai juoksumatolla, mutta muitakin vaihtoehtoja löytyy, kuten soutuergometri tai sauvakävellen suoritettu testi. Kuormitusmallin valinnassa tulee olla tarkkana, koska testin tulokset ovat hyvin riippuvaisia laitteesta jolla testi suoritetaan. Maksimaalinen hapenottokyky on nimittäin hyvin lajispesifi ominaisuus ja on lisäksi riippuvainen käytössä olevien lihasten määrästä kussakin kuormitusmallissa. Sauvakävellen tehdyssä testissä maksimihapenottokyvyn arvo on siis suurempi kuin esimerkiksi juostessa työskentelevien lihasten suuremman lukumäärän vuoksi. Testin validiteetti riippuu siis pitkälti siitä, millä laitteella kukakin urheilija testin suorittaa. Ei ole tarkoituksenmukaista suorittaa testiä juosten jos testattavina on kilpapyöräilijöitä. He eivät



tällöin saisi juuri mitään käytännön hyötyä testistä koska se on niin lajispesifinen. (Keskinen ym. 2010.)

Riviera-Brown ym. (1995) tutkivat Vo2Max-testin reliabiliteettia hyväkuntoisilla nuorilla miehillä. Kiinnostuksen kohteena oli erityisesti hapenkulutuksen tasannevaiheen saavuttaminen Vo2Max- testin lopussa ja sen saavuttamisen vaikutus testin toistettavuuteen. He havaitsivat, että reliabiliteetin kannalta ei ollut merkitystä, saavuttiko tasannevaihetta hapenkulutuksessa vai ei. Itse asiassa suurin osa ei saavuttanut tuota tasannetta kummassakaan testissä. He päätyivät siihen tulokseen että hapenkulutuksen tasannevaiheen saavuttaminen testin lopussa ei tulisi olla yhtenä kriteerinä Vo2Max:n saavuttamisessa koska se ei tapahdu säännöllisesti eikä ole näin ollen luotettava. Koehenkilöistä kaikki saavuttivat yhtenä kriteerinä pidetyn RER-arvon 1,0 tai suurempi ja 95% saavutti sykkeen kriteerinä pidetyn 95% maksimisykkeestä testin lopussa

Midgley ym. (2008) lähtivät haastamaan käsitystä jonka mukaan suoran hapenottokyvyn testin tulisi kestää 8-12min ollakseen validi. Tuo käsitys perustuu Buchfurerin ym. (1983) tekemään tutkimukseen. Midgley ja kollegat analysoivat tutkimuksia, joista he vetivät omiksi suosituksikseen pp-ergolla tehtäviin testeihin 7-26min ja juoksumatolla 5-26min, olettaen että maton kallistus ei nouse yli 15% koska niin suuria kallistuksia siedetään yleensä huonosti ja testi loppuu ennen kuin Vo2Max on saavutettu. Lyhyemmän ajan testeissä validiteetin kriteerinä oli riittävä alkuverryttely ennen testiä. Näin Vo2Max:n saavuttaminen on mahdollista viidessäkin minuutissa. Näiden artikkelien valossa 8-12min suositusta ei tulisi pitää ehdottomana validin Vo2Max:yn määrittämisessä. Mercer (2001) tarkasteli RPE:n ja laktaatin suhteen validiteettia yhtenä keinona määrittellä oikeaa harjoitusrasitusta. Hänen tutkimuksessaan sekä hyvä- että keskivertokuntoisilla naisilla laktaattiarvoilla 2, 2,5 ja 4 oli hyvä toistettavuus molemmissa ryhmissä ainoastaan yhden kokeilun jälkeen, kun taas laktaattikynnyksen arvioinnissa RPE oli toistettava ainoastaan hyväkuntoisilla.

*Maksimivoima ja MVC500.* Alaraajojen maksimivoimaa mitattiin neljällä eri tavalla. Ensin tehtiin maksimisuoritus jalkadynamometrissä, jossa polvikulmaksi vakioitiin goniometrillä 107 astetta. Voimaa ohjeistettiin tuottamaan mahdollisimman nopeasti pystysuoraa levyä vasten. Yrityksiä annettiin kolme minuutin palautuksella. Jokaisesta suorituksesta annettiin palautetta sekä suullisesti että näyttämällä voima-aika-käyrä koehenkilölle. Tulokset analysoitiin Signal-ohjelmistolla. Isometristä maksimivoimaa mitattiin myös unilateraalisesti

Davidin laitteessa. Sekä koukistus että ojennus mitattiin. Myös näissä mittauksissa voimaa ohjeistettiin tuottamaan mahdollisimman nopeasti. Polvikulma vakioitiin goniometrillä 107 asteeseen ja tulokset analysoitiin Signal- ohjelmistolla. Alaraajojen dynaamista maksimivoimaa testattiin bilateraalisesti jalkaprässissä. Lämmittelysarjan jälkeen prässäin laitettiin painoja lisää sen mukaan mitä koehenkilö jaksoi prässätä. Polvikulma vakioitiin alle 90 asteeseen. Isometrinen jalkadynamometri on eräs suosituimmista tavoista selvittää kehon neuromuskulaarista toimintokykyä urheilutieteen parissa koska sillä saadaan selville sekä voiman huippuarvo että voimantuottonopeus. Huippuvoiman arvo kuvaa koehenkilön kykyä tuottaa maksimivoimaa ja RFD kuvaa kykyä tuottaa voimaa räjähtävästi. RFD:n on katsottu olevan näistä ominaisuuksista lajispesifimpi. (Marcora & Miller 2000.)

Näiden isometrinen muuttujien reliabiliteetti on osoitettu hyväksi monien tutkijoiden toimesta (Marcora & Miller 2000). Maksimivoiman reliabiliteetti on katsottu kuitenkin olevan RFD:a parempi (Wilson & Murphy 1996). Näiden muuttujien validiteetti urheilusuorituksen ennustajina on puolestaan väiteltä aihe edelleen. Monet tutkijat ovat löytäneet merkitsevän korrelaation voiman huippuarvon tai RFD:n välillä mm. sprinttijuoksussa, hypyissä ja 50m uinnissa. Osa tutkijoista taas ei ole onnistunut löytämään vastaavaa korrelaatiota isometrinen muuttujien ja dynaamisen suorituksen väliltä. Kiistelyn kohteena on ollut myös se, että pystytäänkö erottelemaan hyviä ja huonoja dynaamisen suorituksen taitajia isometrisillä testeillä. (Marcora & Miller 2000.) Wilson & Murphy (1996) esittävät, että isometristä testausta tulisi välttää urheilijoiden arvioinnissa, koska urheilijoiden arviointi perustuu usein dynaamisiin liikkeisiin.

Isometrinen voimantuottonopeus riippuu ainakin testattavasta lihaksesta tai lihasryhmästä, lihassolusuhteesta, lihasjäykkydestä, testattavan iästä, sukupuolesta, harjoitustaustasta ja edeltävästä kuormituksesta. Testattava kannustetaan tuottamaan voimaa venymäliuska-anturia vasten niin nopeasti kuin mahdollista ja ilman iskua häiriöpiikkien välttämiseksi. Tämä voi olla vaikeaa lihastyöhön tottumattomilla, joten suullinen palaute ja voima-aika-käyrän näyttäminen motivoivat ja ohjaavat oikeanlaista suoritustekniikkaa kohti. RFD:lla tarkoitetaan yleensä voima-aika käyrän jyrkintä kohtaa ja yksikkönä käytetään N/s. (Keskinen ym. 2010)

## **6.5 Aineiston analysointi**

*Maksimaalinen hapenottokyky.* Aineisto analysoitiin LabManager V5.32.0-ohjelmalla. Tulokset ilmoitettiin 30/60s keskiarvoina. Vo2Max ilmoitettiin ml/kg/min- muodossa.

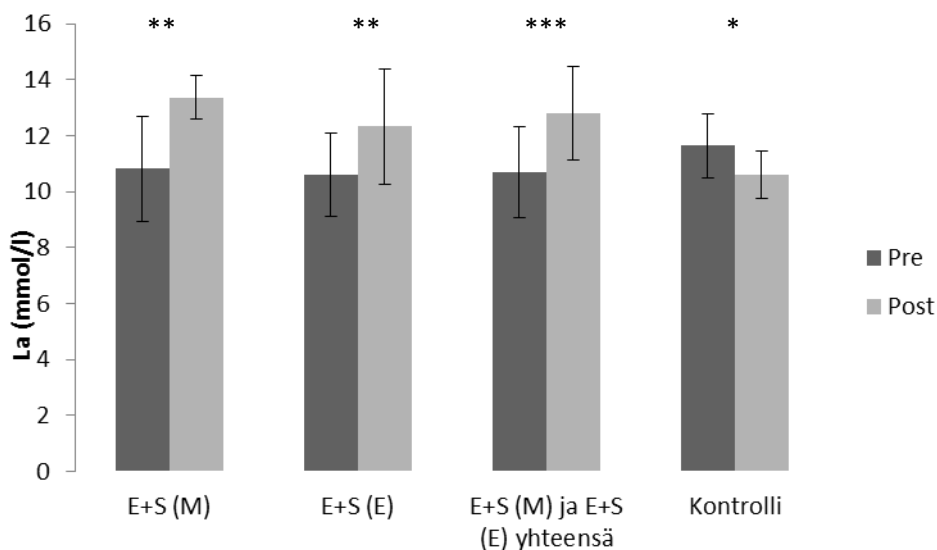
*Maksimivoima ja MVC500.* Voimamittausten tulokset analysoitiin Signal-ohjelmistolla. Maksimivoima ilmoitettiin Newtonina.

*Tilastolliset menetelmät.* Aineiston tilastollisessa analyysissä käytettiin IBM SPSS Statistics-ohjelman versiota 22. Muutosten merkitsevyyden mittaamisessa käytettiin riippuvien muuttujien t-testiä. Aamu- ja iltaryhmien muutosten vertailussa käytettiin riippumattomien muuttujien t-testiä. Ryhmien keskiarvoja laskettiin Excel-ohjelmalla ja keskiarvoja sekä keskihajontoja SPSS-ohjelmalla.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Maksimaalinen laktaattikonsentraatio

E+S (M) ryhmä paransi aamulla mitattua maksimilaktaattikonsentraatioarvoaan tilastollisesti merkitsevästi keskimäärin  $2,56 \pm 1,73 \text{ mmol/l}$  (24%,  $p \leq 0.002$ ). E+S (E) ryhmä paransi aamulla mitattua maksimilaktaattikonsentraatioarvoaan tilastollisesti merkitsevästi keskimäärin  $1,72 \pm 1,53 \text{ mmol/l}$  (16%,  $p \leq 0.004$ ). Molempien ryhmien tulokset yhdistettäessä parantui maksimaalinen laktaattikonsentraatio keskimäärin  $2,1 \pm 1,64 \text{ mmol/l}$  (20%,  $p \leq 0.000$ ). Aamu ja iltaryhmien muutosten välinen ero ei osoittautunut merkitseväksi ( $p \leq 0.265$ ). Kontrolliryhmä heikensi aamutestien välissä omaa maksimaalista laktaattikonsentraatiotaan tilastollisesti merkitsevästi keskimäärin  $1,1 \pm 1,1 \text{ mmol/l}$  (9%,  $p \leq 0.018$ ). (Kuva 6)

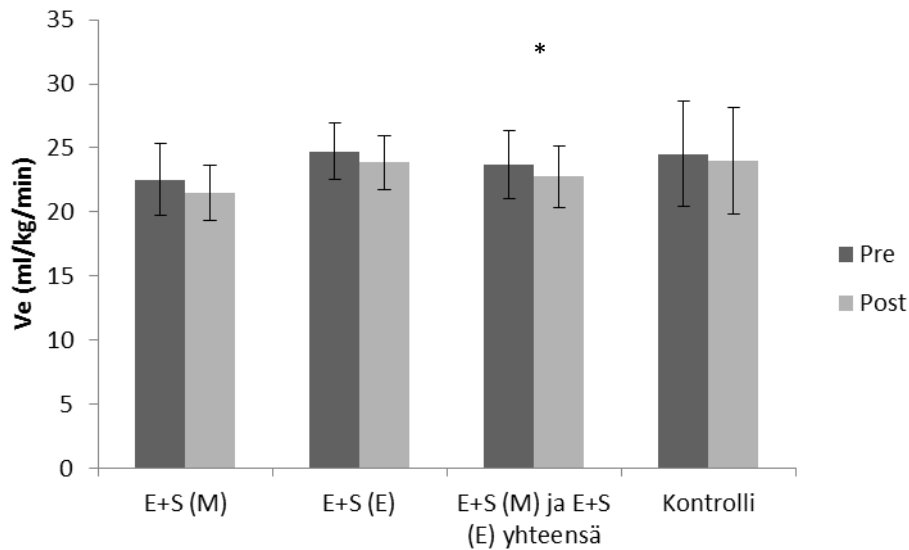


KUVA 6. Maksimaaliset laktaattikonsentraatioarvot ennen ja jälkeen 12 viikon harjoitusjakson. \* $p \leq 0.05$ , \*\* $p \leq 0.01$  ja \*\*\* $p \leq 0.001$

### 7.2 Taloudellisuus submaksimaalisilla kuormilla

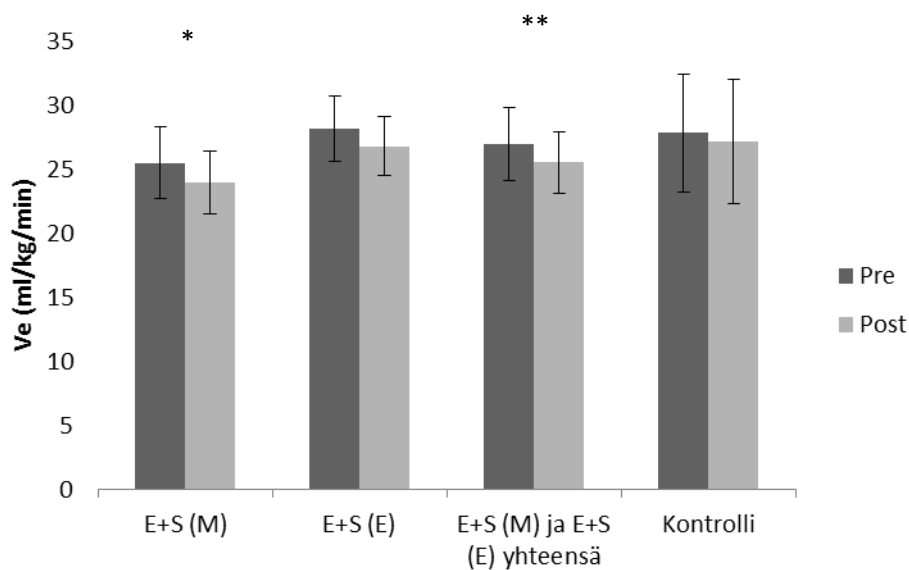
E+S (M) ryhmän hapenkulutuksessa 175W kuormalla tapahtui merkitseviä muutoksia ( $-1,5 \pm 1,6 \text{ ml/kg/min}$ ; 6%;  $p \leq 0.020$ ) (Kuva 8). Ryhmien yhteenlasketuissa tuloksissa

taloudellisuus parantui merkitsevästi sekä 150W kuormalla ( $-0,9 \pm 1,9 \text{ ml/kg/min}$ ; 4%;  $p \leq 0.037$ ) (Kuva 7) että 175W kuormalla ( $1,4 \pm 1,9 \text{ ml/kg/min}$ ; 5%;  $p \leq 0.003$ ). Aamu ja iltaryhmien taloudellisuuden arvojen väliltä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää eroa kuormalla 150W ( $p \leq 0.776$ ) eikä kuormalla 175W ( $p \leq 0.909$ ). Kontrolliryhmällä ei tapahtunut hapenotossa tilastollisesti merkitsevää muutosta 150W kuormalla ( $-0,5 \pm 1,8 \text{ ml/kg/min}$ ; 2%;  $p \leq 0.433$ ) eikä myöskään 175W kuormalla ( $-0,6 \pm 1,9 \text{ ml/kg/min}$ ; 2%;  $p \leq 0.327$ ).



KUVA 7. Hapen kulutus 150W kuormalla ennen ja jälkeen 12 viikon harjoitusjakson.

\* $p \leq 0.05$

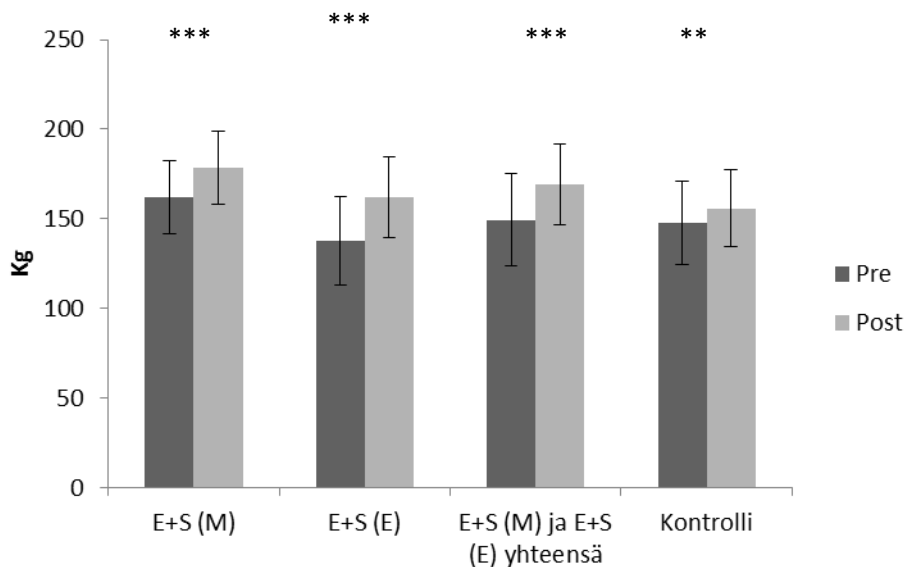


KUVA 8. Hapen kulutus 175W kuormalla ennen ja jälkeen 12 viikon harjoitusjakson.

\* $p \leq 0.05$  ja \*\* $p \leq 0.01$

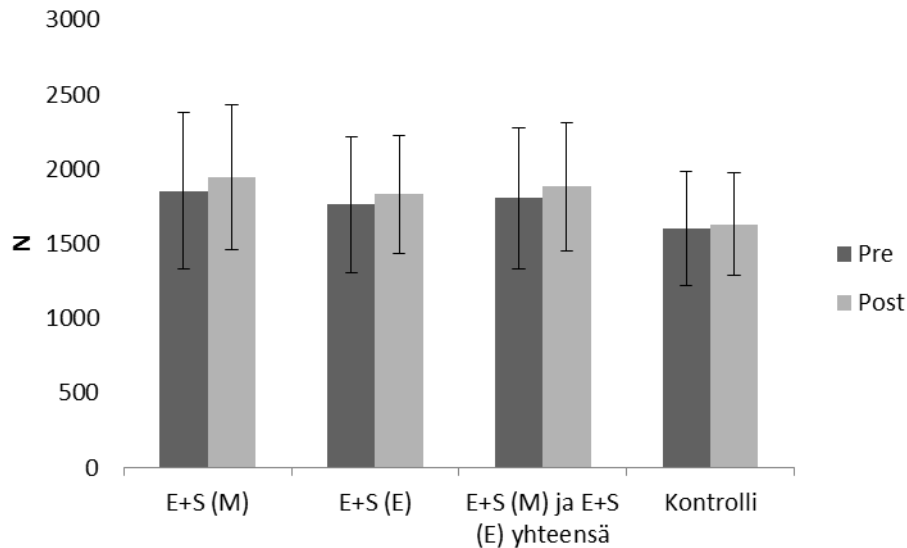
### 7.3 Voimamuuttajat

*Jalkojen dynaaminen maksimivoima.* E+S (M) ryhmä paransi merkitsevästi 1RM tulostaan dynaamisessa jalkaprässissä  $16,52 \pm 6,98\text{kg}$  (10%,  $p \leq 0.000$ ). E+S (E) – ryhmä paransi merkitsevästi aamulla mitattua 1RM tulostaan dynaamisessa jalkaprässissä  $20,57 \pm 5,73\text{kg}$  (15%,  $p \leq 0.000$ ). Ryhmien yhteenlasketuissa tuloksissa 1RM parantui merkitsevästi  $19,9 \pm 8,3\text{kg}$  (13%,  $p \leq 0.000$ ). Aamu ja iltaryhmien muutosten väliltä ei löytynyt tilastollista merkitsevyyttä ( $p \leq 0.095$ ). Kontrolliryhmän maksimivoimassa tapahtui tilastollisesti merkitsevä parannus ( $8,1 \pm 6,6\text{kg}$ ; 6%;  $p \leq 0.006$ ). (Kuva 9)



KUVA 9. Jalkojen dynaaminen maksimivoima ennen ja jälkeen 12 viikon harjoitusjakson.  
\*\* $p \leq 0.01$  ja \*\*\* $p \leq 0.001$

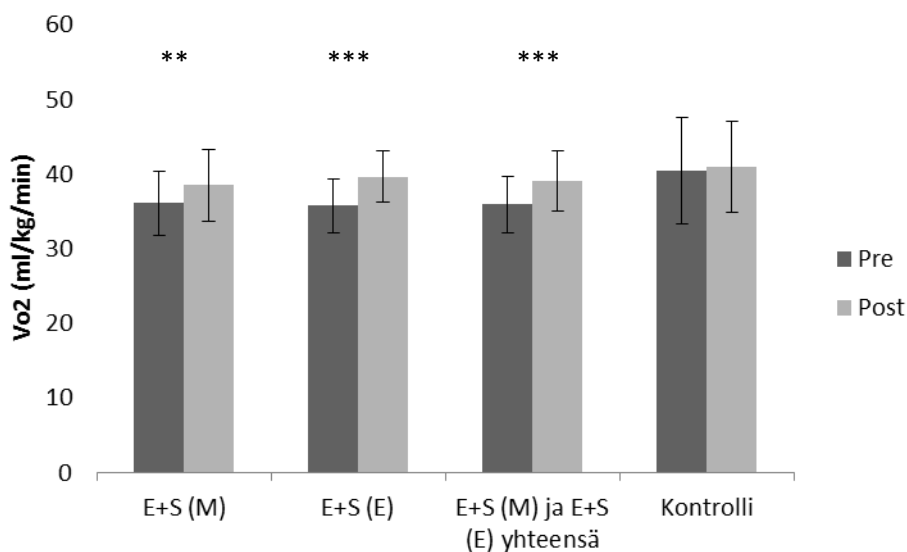
*MVC500* E+S (M) ryhmän MVC500 arvo ei parantunut tilastollisesti merkitsevästi ( $89,6 \pm 169,8\text{N}$ ; 5%;  $p \leq 0.152$ ). E+S (E) ryhmän MVC500 arvo ei parantunut tilastollisesti merkitsevästi aamulla suoritetuissa mittauksissa ( $70,2 \pm 202,3$ ; 4%;  $p \leq 0.276$ ). Tarkasteltaessa molempien ryhmien yhdistettyjä tuloksia, ei MVC500 arvo parantunut merkitsevästi alkumittauksista loppumittauksiin ( $79 \pm 183\text{N}$ ; 4%;  $p \leq 0.070$ ). Aamu ja iltaryhmien muutosten väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ( $p \leq 0.822$ ). Kontrolliryhmän MVC500-arvoissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia ( $28,3 \pm 184,8\text{N}$ ; 2%;  $p \leq 0.658$ ). (Kuva 10)



KUVA 10. MVC500-arvot ennen ja jälkeen 12 viikon harjoitusjakson.

#### 7.4 Maksimaalinen hapenottokyky

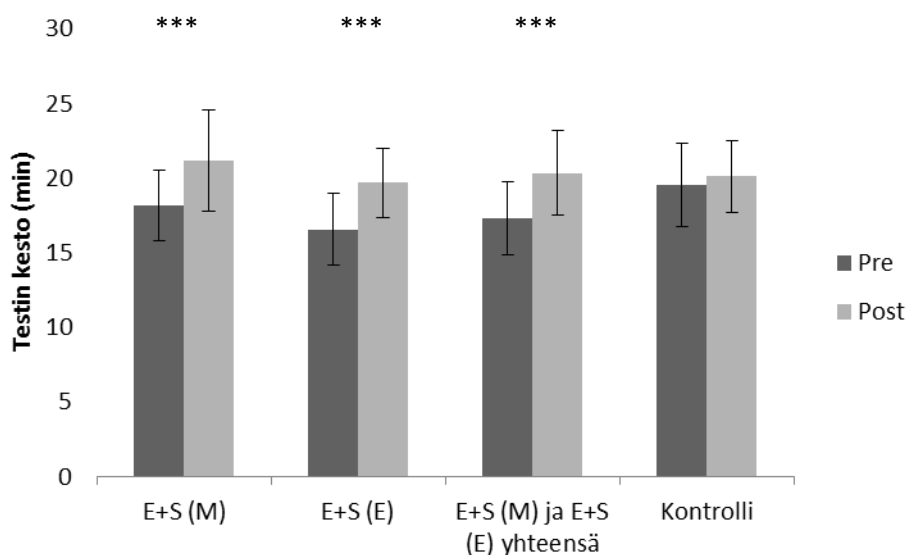
E+S (M) ryhmällä maksimaalinen hapenottokyky parani merkitsevästi ( $2,4 \pm 2,0$  ml/kg/min; 9%;  $p \leq 0.007$ ). E+S (E) ryhmän parannus oli tilastollisesti merkitsevä ( $3,9 \pm 2,8$  ml/kg/min; 11%;  $p \leq 0.001$ ). Molempien ryhmien yhteenlasketuista tuloksista löytyi tilastollisesti merkitsevä muutos ( $3,2 \pm 2,5$  ml/kg/min; 9%;  $p \leq 0.000$ ). Aamu ja iltaryhmien muutosten välinen ero ei osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi ( $p \leq 0.202$ ). Kontrolliryhmän maksimaalisessa hapenottokyvyssä ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia ( $0,5 \pm 4$  ml/kg/min; 1%;  $p \leq 0.703$ ). (Kuva 11)



KUVA 11. Maksimaalinen hapenotto- ja maksimaalinen sydämen tahti ennen ja jälkeen 12 viikon harjoitusjakson. \*\* $p \leq 0.01$  ja \*\*\* $p \leq 0.001$

### 7.5 Aerobinen suorituskyky

E+S (M) ryhmä pidensi testiaikaansa tilastollisesti merkitsevästi ( $3 \pm 1,2$ min; 17%;  $p \leq 0.000$ ). E+S (E) ryhmä pidensi testiaikaansa tilastollisesti merkitsevästi ( $3,1 \pm 1,0$ ; 19%;  $p \leq 0.000$ ). Molempien ryhmien yhteenlaskettu muutos testiaikaan oli tilastollisesti merkitsevä ( $3,1 \pm 1,1$ min; 18%;  $p \leq 0.000$ ). Aamu ja iltaryhmien muutosten välinen ero ei osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi ( $p \leq 0.825$ ). Kontrolliryhmän testin kestossa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia ( $0,6 \pm 0,8$ ; 3%;  $p \leq 0.066$ ). (Kuva 12)



KUVA 12. Testin kesto ennen ja jälkeen 12 viikon harjoitusjakson. \*\*\* $p \leq 0.001$



## 8 POHDINTA

Tutkimuksessa tarkasteltiin maksimilaktaattikonsentraation ja submaksimaalisten kuormien taloudellisuuden kehittymistä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena aamulla suoritetuissa testeissä. Toinen ryhmä harjoitteli aamulla ja toinen illalla. Maksimaalinen laktaattikonsentraatio parani 12 viikon harjoitusjakson aikana merkitsevästi molemmilla ryhmillä, aamuryhmällä keskimäärin  $2,56 \pm 1,73$  mmol/l eli 24% ( $p \leq 0.002$ ) ja iltaryhmällä keskimäärin  $1,72 \pm 1,53$  mmol/l eli 16% ( $p \leq 0.004$ ), yhteenlasketun parannuksen ollessa  $2,1 \pm 1,64$  mmol/l eli 20% ( $p \leq 0.000$ ). Taloudellisuus mitattiin hapenottona (ml/kg/min) vakiokuormilla 150W ja 175W. Taloudellisuus parani merkitsevästi ainoastaan aamuryhmällä 175W kuormalla,  $-1,5 \pm 1,6$  ml/kg/min eli 6% ( $p \leq 0.020$ ). Kuitenkin molempien ryhmien yhteenlaskettuja tuloksia tarkasteltaessa taloudellisuus parani merkitsevästi sekä 150W että 175W kuormilla.

Maksimaalinen laktaattikonsentraatio parani odotetusti merkitsevästi sekä molemmilla ryhmillä että yhteenlaskettuna. Tähän kasvuun vaikutti luultavasti voimaharjoittelun aikaansaama glykolyyttisen kapasiteetin paraneminen (Pfitzinger & Freedson 1997) joka mahdollistaa korkeampien laktaattikonsentraatioiden aikaansaamisen. Grassi ym. (2001) raportoivat tutkimuksessaan progressiivisessa polkupyöräergometritestissä maksimaaliseksi laktaattikonsentraatioksi  $11.3 \pm 2,8$  mmol/l terveillä kaukasialaisilla miehillä. Tämän tutkimuksen miehillä kyseinen arvo oli ennen harjoitusjaksoa  $10,7 \pm 1,6$  mmol/l ja harjoitusjakson jälkeen  $12,8 \pm 1,7$  mmol/l. Tuota parannusta ei voida selittää testin oppimisella, koska kontrolliryhmä itse asiassa huononsi omaa maksimaalista laktaattikonsentraatiotaan merkitsevästi testikertojen välissä. Tämä tutkimus tukee myös Mikkolan ym. (2011) väitettä siitä, että anaerobiset- ja lihasvoimatekijät ovat merkittävässä roolissa myös aikaisemmin harjoittelemattomien kestävyys suorituskyvyssä.

Taloudellisuus submaksimaalisilla kuormilla määriteltiin hapenkulutuksena kahdelta eri vastukselta, 150W ja 175W. Aamuryhmä pienensi hapenkulutustaan merkitsevästi 175W kuormalla mutta ei 150W kuormalla. Iltaryhmän parannukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Molemmat ryhmät yhdistettäessä havaittiin kuitenkin merkitsevä parannus molemmilla kuormilla. 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelujakson voidaan sanoa siis parantaneen taloudellisuutta kuntoilevilla miehillä. Syynä tähän saattavat olla parantuneet voimatasot (Heggelund ym. 2013; Hickson ym. 1988; Hoff ym. 2002; Loveless

ym. 2005). Toisin kuin Hoffin ym. (2002) tutkimuksessa, jossa voimantuottonopeuden katsottiin olevan tärkeämpi voimamuuttuja taloudellisuuden paranemisen kannalta kuin 1RM, parani 1RM tässä tutkimuksessa merkitsevästi molemmilla ryhmillä, kun taas MVC500 arvo ei kummallakaan. Hoffin ym. (2002) tutkimuksessa koehenkilöinä toimi tosin harjoitelleita urheilijoita, joten heillä taloudellisuuden parantumiseen johtavat mekanismit saattavat olla erilaisia kuin harjoittelemattomilla. Lovelessin ym. (2005) tutkimuksessa pyöräilyn taloudellisuus parantuikin aikaisemmin harjoittelemattomilla miehillä pelkän maksimivoimaharjoittelun seurauksena.

Kestävyysarjoittelun on todettu laskevan maksimaalista laktaattikonsentraatiota (Popov ym. 2010). Tutkimuksemme kohdalla näyttää siltä, että kestävyysarjoittelun kanssa suoritettu voimaharjoittelu on kuitenkin nostanut maksimaalista laktaattikonsentraatiota. Korrelaatioita tarkastellessa kummankaan voimamuuttujan parantuminen ei kuitenkaan ollut yhteydessä laktaattikonsentraation parantumiseen. Maksimaalisen laktaattikonsentraation parantuminen kertoo myös anaerobisen energiantuoton kehittymisestä, jolla on merkitystä esimerkiksi loppukirin kannalta.

Voimamuuttujista jalkaprässillä suoritettu 1RM parantuikin tilastollisesti merkitsevästi molemmilla ryhmillä, joten harjoitusohjelman voidaan todeta olleen tehokas maksimivoiman kehittymisen kannalta kestävyysarjoittelusta huolimatta. MVC500 arvo ei parantunut merkitsevästi kummallakaan ryhmällä. Löydös on linjassa Häkkisen ym. (2003) tutkimuksen kanssa, jossa pienikin määrä kestävyysarjoittelua inhiboi voimantuottonopeuden kehittymistä kuntosuoriteilijoilla, vaikka 1RM parantuisikin merkitsevästi. Samankaltaisia tuloksia saivat myös Ronnestad ym. (2012) kestävyysarjoitelleilla pyöräilijöillä. Tämä on hyödyllistä tietoa kuntosuoriteilijoille, jotka suunnittelevat lisäävänsä kestävyysarjoittelua harjoitusohjelmaansa. Jos tavoitteet ovat ainoastaan maksimivoiman kasvattamisessa, ei tästä volyymin kestävyysarjoittelua näyttäisi olevan suurta haittaa. Jos tavoitteet ovat puolestaan voimantuottonopeuden puolella, kannattaa kestävyysarjoitteluun suhtautua varauksella. Tutkimuksesta puuttuivat tosin pelkkä kestävyys- ja pelkkä voimaryhmä, joten muutosten suuruudesta on vaikeaa tehdä tarkkoja päätelmiä.

Kestävyysmuuttujista maksimaalinen hapenottokyky parani molemmilla ryhmillä merkitsevästi, aamuryhmällä 9% ja iltaryhmällä 11%. Nämä parannukset ovat samaa suuruusluokkaa kuin Chtaran ym. (2005) samanmittaisessa yhdistetyn kestävyys- ja

voimaharjoittelun tutkimuksessa. Myös testin kesto piteni molemmilla ryhmillä merkitsevästi, aamuryhmällä 17% ja iltaryhmällä 19%. Kestävyysharjoittelun voidaan katsoa siis olleen tehokasta hapenottokyvyn ja aerobisen suorituskyvyn parantumisen kannalta. Tämä on hyödyllistä tietoa kuntourheilijoille, jotka suunnittelevat lisäävänsä voimaharjoittelua harjoitusohjelmaansa. Pelkän kestävyysryhmän puuttuminen tutkimuksesta vaikeuttaa spekulointia siitä, että olisiko pelkkä kestävyysharjoittelu tuonut samanlaiset kestävyysadaptaatiot.

Ryhmien välisiä eroja tarkasteltaessa ei löytynyt mitään tilastollisesti merkitsevää aamu- ja iltaryhmien väliltä minkään muuttujan alku- ja loppumittausten välisissä muutoksissa. Tämä on sinänsä yllättävää, koska esimerkiksi Hill ym. (1989) neuvovat ajoittamaan fyysisen valmistautumiseen siihen aikaan päivästä, jolloin tuleva suoritus tapahtuu. Reilly ym. (2000) taas väittävät, että aamusuorituskykyä ei saada nostettua illan tasolle useiden viikkojenkaan harjoittelulla. Tutkimuksessamme harjoitusten vuorokaudenajalla ei näyttäisi olevan merkitystä aamusuorituskyvyn kannalta. Aamusuorituskyky toki nousi merkitsevästi lähes kaikissa muuttujissa, mutta ei ollut väliä, olivatko koehenkilöt suorittaneet harjoittelun aamulla vai illalla. Tähän saattaa vaikuttaa koehenkilöiden vähäisehkö urheilun harrastaminen ennen tutkimusta, jolloin ohjatun ja säännöllisen harjoittelun aloittaminen aiheuttaa isot harjoitusvasteet vuorokaudenajasta riippumatta. Lisäksi koehenkilöiden määrä oli pieni (aamuryhmä N=9 ja iltaryhmä N=11), joten mitään isompia johtopäätöksiä tuosta otoksesta on vaikea tehdä.

Yhteenvetona tästä tutkimuksesta voisi todeta, että yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu mahdollistaa kuntourheilijoille monipuoliset adaptaatiot sekä kestävyys- että voimapuolella. Adaptaatiot olivat positiivisia suorituskyvyn kannalta kaikilla muilla osa-alueilla, paitsi nopeamman voimantuoton osalta. Tärkeimpien kiinnostuksen kohteiden, eli maksimaalisen laktaattikonsentraation ja submaksimaalisten kuormien taloudellisuuden, osalta yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu kaksi kertaa viikossa näyttäisi nostavan maksimaalista laktaattikonsentraatiota ja vähentävän hapenkulutusta submaksimaalisilla kuormilla. Nämä voidaan katsoa myös positiivisiksi adaptaatioiksi kuntourheilijoilla.

## 9 LÄHTEET

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Olesen, J. L., Crameri, R., Magnusson, S. P., Kjær, M. 2011. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, e298–e307
- Ammar, A., Chtourou, H., Trabelsi, K., Padulo, J., Turki, M., El Abed, K., Hoekelmann, A., Hakim, A. 2015. Temporal specificity of training: intra-day effects on biochemical responses and Olympic-Weightlifting performances. *Journal of Sports Sciences* 33 (4), 358-368
- Araujo, L. G., Waterhouse, J., Edwards, B., Henrique, E., Santos, R., Tufik, S., de Mello, M. T. 2011. Twenty-four-hour rhythms of muscle strength with a consideration of some methodological problems. *Biological Rhythm Research* 42 (6), 473-490
- Barrett – O’Keefe, Z., Helgerud, J., Wagner, P. D., Richardson, R. S. 2012. Maximal strength training and increased work efficiency: contribution from the trained muscle bed. *Journal of Applied Physiology* 113, 1846-1851
- Beneke, R., von Duvillard, S. P. 1996. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28 (2), 241-246
- Beneke, R., Hütler, M., Leithäuser, R. M. 2000. Maximal lactate-steady-state independent of performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (6), 1135–1139
- Beneke, R., Leithäuser, R. M., Ochentel, O. 2011. Blood Lactate Diagnostics in Exercise Testing and Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 6, 8-24
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J-P., Mercier, J. 2003. The Concept of Maximal Lactate Steady State: A Bridge Between Biochemistry, Physiology and Sport Science. *Sports Medicine* 33 (6), 407-426
- Bishop, D., Jenkins, D. G., Macinnon, L. T., McEnierty, M., Carey, M. F. 1999. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine & Science in sports and Exercise* 31 (6), 886-891
- Brooks, G. A. 1985. Anaerobic Threshold: Review of the Concept and Directions for Future Research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 17 (1), 22-34

- Buchfuhrer, M. J., Hansen, J. E., Robinson, T. E., Sue, D. Y., Wasserman, K., Whipp, B. J. 1983. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assesment. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 55 (5), 1558-1564
- Costa, M. J., Bragada, J. A., Mejias, J. E., Louro, H., Marinho, D. A., Silva, A. J., Barbosa, T. M. 2013. Effects of Swim Training on Energetics and Performance. *Int J Sports Med*; 34: 507–513
- Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G. P., Amri, M. 2005. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Brittish Journal of Sports Medicine* 39, 555– 560
- Dendai, B. S., Figuera, T. R., Favaro, O. R. P., Gonçalves, M. 2004. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 37, 1551-1556
- Donovan, C. M., Brooks, G. A. 1983. Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *American Journal of Physiology.* 244 (Endocrinol. Metab. 7), E83-E92
- Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B., Reilly, T. 2005. Circadian Rhythms in Sports Performance – An Update. *Chronobiology International* 22 (1), 21-44
- Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. 2009. Lactate Threshold Concepts: How Valid are They? *Sports Medicine* 39 (6), 469-490
- 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. *Eur J Appl Physiol* 77, 292-295
- Gobatto, C. A., de Mello, M. A. R., Sibuya, C. Y., de Azevedo, J. R. M., dos Santos, L. A., Kokbun, E. 2001. Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 130 (1), 21–27
- Grassi, B., Mgnoni, P., Mazorati, M., Mattiotti, S., Marconi, C., Cerretelli, P. 2001. Power and peak blood lactate at 5050 m with 10 and 30 s ”all out” cycling. *Acta hysiol Scand* 172, 189-194
- Gullstrand, L. 2000. Swimming as an Endurance Sport. Teoksessa R. J. Shephard, P. –O. Åstrand. 2000. *Endurance in Sport. 2. Painos.* Oxford: Blackwell Science Ltd, 824-835

- Heggelund, J., Fimland, M. S., Helgerud, J., Hoff, J. 2013. Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. *Eur J Appl Physiol* 113, 1565-1573
- Hennessy, L. C., Watson, A. W. S. 1994. The Interference Effects of Training for Strength and Endurance Simultaneously. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 8 (1), 12-19
- Hickson, R. C. 1980. Interference of Strength Development by Simultaneously Training for Strength and Endurance. *European Journal of Applied Physiology* 45, 255-263
- Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M, Kurowski, T. T., Foster, C. 1988. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology*. 65 (5), 2285-2290
- Hill, D. W., Cureton, K. J., Collins, M. A. 1989. Circadian specificity in exercise training. *Ergonomics* 32 (1), 79-92
- Hoff, J., Gran, A., Helgerud, J. 2002. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 12, 288-295
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology* 89, 42–52
- Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M. 2010. *Kuntotestauksen käsikirja*. Tammerprint Oy, Tampere
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., Newton, R. U., Triplett, N. T., Dziadis, J. E. 1995. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 78 (3), 976-989
- Laursen , P. B., Chiswell, S. E., Callaghan, J. A. 2005. Should Endurance Athletes Supplement Their Training Program With Resistance Training to Improve Performance? *Strength and Conditioning Journal* 27 (5), 50-55
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K., Logan, P. A. 1999. Concurrent Strength and Endurance Training: A Review. *Sports Medicine* 28 (6), 413-427
- Loveless, D. J., Weber, C. L., Haseler, L. J., Schneider, D. A. 2005. Maximal Leg-Strength Training Improves Cycling Economy in Previously Untrained Men. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37 (7), 1231–1236

- Maglischo, E. W. 2003. Swimming fastest. *Human Kinetics: USA*
- Marcora, S., Miller, M. K. 2000. The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *Journal of Sports Sciences* 18, 313-319
- McDermott, J. C., Bonen, A. 1993. Endurance training increases skeletal muscle lactate transport. *Acta Physiol Scand* 147, 323-327
- Mercer, T. H. Reproducibility of blood lactate – anchored ratings of perceived exertion. 2001. *European Journal of Applied Physiology* 85, 496-499
- Midgley, A. W., Bentley, D. J., Luttikholt, H., McNaughton, L. R., Millet, G. P. 2008. Challenging a Dogma of Exercise Physiology: Does an Incremental Exercise Test for Valid VO<sub>2</sub>max Determination Really Need to Last Between 8 and 12 Minutes? *Sports Medicine* 38 (6), 441-447
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K. & Nummela, A. 2011. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *Journal of Sports Sciences* 29 (13), 1359–1371
- Noordhof, D. A., de Koning, J. J., van Erp, T., van Keimpema, B., de Ridder, D., Otter, R., Foster, C. 2010. The between and within day variation in gross efficiency. *Eur J Appl Physiol* 109, 1209-1218
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A., Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology* 86 (5), 1527-1533
- Pfitzinger, P., Freedson, P. 1997. Blood Lactate Responses to Exercise in Children: Part 1. Peak Lactate Concentration. *Pediatric Exercise Science* 9, 210-222
- Popov, D. V., Missina, S. S., Lemesheva, Yu. S., Lyubaeva, E. V., Borovik, A. S., Vinogradova, O. L. 2010. Final Blood Lactate Concentration after Incremental Test and Aerobic Performance. *Human Physiology* 36 (3), 335-341
- Reilly, T., Atkinson, G., Waterhouse, J. 2000. *Chronobiology and Physical Performance*. Teoksessa W. E. Garret, Jr. & D. T. Kirkendall (toim) *Exercise and Sport Science*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins, 351-372
- Rivera-Brown, A. M., Rivera, M. A., Frontera, W. R. 1995. Reliability of V<sub>O</sub>2max in Adolescent Runners: A Comparison Between Plateau Achievers and Nonachievers. *Pediatric Exercise Science* 7, 203-210

- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., Raastad, T. 2012. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 112, 1457-1466
- Russ, D. W., Elliot, M. A., Vandenborne, K., Walter, G. A., Binder – Macleod, S. A. 2002. Metabolic costs of isometric force generation and maintenance of human skeletal muscle. *The American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* 282, E448–E457
- Sedliak, M., Finni, T., Cheng, S., Kraemer, W. J., Häkkinen, K. 2007. Effect of Time-of – Day-Specific Strength Training on Serum Hormone Concentrations and Isometric Strength in Men. *Chronobiology International* 24 (6), 1159-1177
- Sedliak, M., Finni, T., Peltonen, J., Häkkinen, K. 2008. Effect of time-of-day-specific strength training on maximum strength and EMG activity of the leg extensors in men. *Journal of Sports Sciences* 26 (10), 1005-1014
- Smekal, G., von Duvillard, S. P., Pokan, R., Hofman, P., Braun, B. A., Arciero, P. J., Tschan, H., Wonisch, M., Baron, R., Bacht, N. 2012. Blood lactate concentration at the maximal lactate steady state is not dependent on endurance capacity in healthy recreationally trained individuals. *European Journal of Applied Physiology* 112, 3079–3086
- Souissi, N., Bessot, N., Chamari, K., Gauthier, A., Sesboüé, B., Davenne, D. 2007. Effect of Time of Day Aerobic Contribution to the 30-s Wingate Test Performance. *Chronobiology International* 24 (4), 739-748
- Souissi, N., Gauthier, A., Sesboüé B., Larue, J., Davenne, D. 2002. Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. *Journal of Sports Sciences* 20, 929-937
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., Gitonga, D., Kraemer, W. J., Häkkinen, K. Strength Training in Endurance Runners. *International Journal of Sports Medicine* 31, 468 – 476
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Vesterinen, V., Nummela, A. & Häkkinen, K. 2013. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *European Journal of Applied Physiology* 113, 325–335
- Tanaka, H., Swensen, T. 1998. Impact of Resistance Training on Endurance Performance: A New Form of Cross-Training? *Sports Medicine* 25 (3), 191-200



Wilson, G. J. & Murphy, A. J. 1996. The Use of Isometric Tests of Muscular Function in Athletic Assessment. *Sports Medicine* 22 (1), 19-37