

**HIIHDON SPRINTTIVIESTITISUORITUKSEN AIKAINEN PALAUTUMINEN JA SEN NOPEUTTAMINEN KUNTOPYÖRÄILEMÄLLÄ LYHYEN PALAUTUKSEN AIKANA**

Juho Halonen

Valmennus- ja testausoppi

Kandidaatin tutkielma

VTEA005

Syksy 2011

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Antti Mero

# TIIVISTELMÄ

**Halonen Juho** 2011. Hiihdon sprinttaviestisuorituksen aikainen palautuminen ja sen nopeuttaminen kuntopyöräilemällä lyhyen palautuksen aikana. Valmennus- ja testausoppi, Kandidaatin tutkielma VTEA005, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 43 s.

**Tausta.** Sprinttihiihdon kilpailusuorituksen palautusten aikana, ahtaiden ”varikkotilojen” takia, on kuntopyöräilemällä mahdollista tehostaa palautuksen aikaista aerobista aineenvaihduntaa. Tätä menetelmää ei ole aiemmin tutkittu, mutta huippuhihtäjät ovat kuitenkin käyttäneet sitä käytännössä paljon maailmancupin kilpailuissa sekä arvokisoissa. Sprinttaviestin vaatimuksissa korostuvat happamuuden sietokyvyn lisäksi aerobiset ominaisuudet. Lyhyen palautumisajan vuoksi aerobisilla ominaisuuksilla on tärkeä pystyä välttämään liiallista pH:n laskua. Luonnollisesti kovan hiihtovauhdin ja kirkampailujen takia sprinttaviestissä on nopeus- ja voimaominaisuuksilla suuri merkitys. Energiantuotollisesti sprinttaviestit sijoittuu lähemmäksi 5 km:n kilpahiihtoa kuin sprinttihiihtoa. Aiempien tutkimusten perusteella 80 - 100 %:n palautumisteholla anaerobisesta kynnyksestä on päästy parhaimpiin tuloksiin palautuksessa.

**Tarkoitus.** Tämän tutkielman tarkoituksena oli tutkia hiihdon sprinttaviestisuorituksen palautumista, sekä sen mahdollista nopeuttamista ja tehostamista kuntopyöräilemällä lyhyen palautuksen aikana

**Menetelmät.** Tutkimuksessa oli koehenkilöinä 10 kansainvälisen tai kansallisen tason mieshiihtäjää (ikä  $24 \pm 2$  vuotta, pituus  $183 \pm 4$  cm, paino  $79 \pm 5$  kg,  $VO_{2max}$   $77 \pm 5$  ml/kg/min ja Hb  $152 \pm 8$  g/l). Koehenkilöt suorittivat noin viikon välein yksin hiihtäen sisähallissa (Hipposhallin 200 m:n rata) simuloidun sprinttaviestikilpailun 3 x 1000m neljän minuutin palautuksella. Toinen mittauksista suoritettiin normaaleilla palautumismenetelmällä ja toinen mittauksista käyttämällä palautuksen ajan kuntopyörää kolmen minuutin ajan 140-160 W:n teholla. Suoritusjärjestys menetelmien välillä satunnaistettiin. Verinäytteitä otettiin sormenpäältä ennen suoritusta, suoritusten aikana ja niiden jälkeen laktaatin, pH:n, bikarbonaatin sekä muiden verikaasumuuttujien määrittämiseksi. Sykettä mitattiin Polarin S610 sykemittarilla (Polar Electro OY, Kempele, Suomi) ja sykätiedot tallennettiin viiden sekunnin välein.

**Tulokset.** Sprinttaviestisuorituksessa aika pyrittiin pitämään ensimmäisessä vedossa samana kuin ensimmäisellä mittauskerralla, sillä tämän jälkeen palautusmenetelmä vasta alkaa vaikuttaa. Myös toiset ajat olivat samoissa (ero 0,2 s), mutta pyörämenetelmä oli viimeisessä 1000 m:n vedossa keskimäärin 3,8 sekuntia nopeampi (ajat 163,6 s ja 167,4 s), tämä oli tilastollisesti suuntaa antava ero ( $p=0,085$ ). Ero vielä korostui kirivaiheesta lasketuissa ajoissa, viimeinen 400 m kesti pyörämenetelmällä  $66,7 \pm 6,1$  s ja juoksumenetelmällä  $68,5 \pm 5,6$  s. Palautuksen aikaisten sykkeiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero kahden menetelmän välillä. Pyörämenetelmässä sykkeet pidettiin korkeammalla koko palautuksen ajan kuin normaalilla palautusmenetelmällä. Pyörämenetelmän palautussykkeet olivat erien väliltä 138 sekä 143, ja juoksumenetelmän 129 ja 131. Nämä olivat tilastollisesti merkitseviä eroja  $p=0,046$  ja  $p=0,008$ . Laktaatti- ja pH-käyrissä ei ollut merkitseviä eroja. Kuitenkin pieni ei-merkitsevä ero oli havaittavissa viimeisen vedon jälkeisessä laktaatissa (pyörämenetelmä 13,2 mmol/L ja juoksumenetelmä 14,1 mmol/L)

**Johtopäätös.** Pyöräilymenetelmällä ei saatu selviä fysiologisia näyttöjä menetelmän paremmuudesta, mutta kuitenkin viimeisessä vedossa pystytään hiihtämään kovempaa tällä menetelmällä. Tämä 3,8 sekunnin ero menetelmien välillä viimeisessä 1000 m:n vedossa on ratkaisevaa huipputasolla, jossa kilpailu on todella tiukkaa.

**Avainsanat:** *Hiihdon sprinttiviesti, happo-emästasapaino, palautuminen, aktiivinen palautuminen, intervalliharjoittelu.*

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO .....	6
2 SPRINTTIVIESTITISUORITUKSEN FYSIOLOGISET TEKIJÄT.....	7
2.1 Sprinttihiihto ja sprinttiviesti kilpailumuotona .....	7
2.2 Energiantuotto sprinttivistissä.....	8
2.3 Voimantuotto kilpailusuorituksen aikana.....	10
2.4 Happamuuden, sykkeen ja $VO_{2max}$ :n yhteydet suoritukseen.....	12
2.5 Taloudellisuus ja taktiikka sprinttivistissä.....	15
3 VÄSYMINEN JA PALAUTUMINEN SPRINTTIVIESTITISUORITUKSESSA .....	16
3.1 Palautuminen intervallisuorituksesta .....	16
3.2 Aktiivisen palautuksen kuorma.....	17
3.3 Aktiivinen vs. passiivinen palautus .....	18
3.4 Aineenvaihdunnalliset muutokset väsymyksessä.....	19
3.5 Hermolihasjärjestelmän toimiminen väsymyksessä .....	20
4 TUTKIMUKSEN ONGELMAT JA HYPOTEESEIT .....	22
5 MENETELMÄT .....	23
5.1 Koehenkilöt .....	23
5.2 Koeasetelma .....	23
5.3 Aineiston keräys ja analysointi .....	24
5.4 Tilastolliset menetelmät .....	25
6 TULOKSET .....	26

6.1 Aika muuttujana eri testikerroilla .....	26
6.2 Fysiologiset muuttujat suorituksen aikana .....	27
6.3 Lepotiedot .....	31
6.4 Vertailua sprintti- ja kestävyyspainotteisilla hiihtäjillä .....	31
6.5 Vertailua testin nopeampien ja hitaampien ryhmien välillä.....	33
7 POHDINTA .....	35
8 LÄHTEET .....	41

# 1 JOHDANTO

Sprinttihiihto tuli maastohiihdon kilpailuohjelmaan 1990-luvun lopulla. Sprinttaviestissä ensimmäiset MM-mitalit jaettiin 2005 Saksan Oberstdorfissa. Sprinttiviesti hiihdetään pareittain, siten että kumpikin hiihtäjä hiihtää vuorotellen kolme osuutta. Tässä kilpailumuodossa hiihdetään ensiksi alkuerät, joiden perusteella nopeimmat joukkueet selviytyvät pari tuntia myöhemmin käytävään finaaliin. (FIS 2011a.)

Hiihtäjien kestävyyskunnan mittaamisessa on historiallisesti käytetty juoksumatolla juostavaa kestävyyskapasiteetin testiä, missä maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi määritetään eri harjoitustasoja. (esim. Mahood ym. 2001). Kehon rasvaprosentti, reisilihaksiston voima ja sydämen koko ovat ne muuttujat, joita on pidetty maastohiihtoa varten tärkeimpinä jo 1980-luvun tutkimuksissa (Larsson ym. 2002). 1990-luvulta on testattu ylävartalon sekä koko kehon aerobista kapasiteettia, jolla on todettu olevan paremmat yhteydet menestykseen maastohiihdossa (Bilodeau ym. 1995; Rusko 2003). Useimmissa tutkimuksissa maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi on todettu ratkaisevaa olevan, millä tavoin pystytään työskentelemään 85 - 90 %:n teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Tämä osoittaa aerobisen ja anaerobisen kynnyksen tärkeyttä maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi. Kynnysten määrittämisen lisäksi tärkeänä tasona pidetään kohtaa, missä hengityskaasujen suhde eli hengitysosamäärä ( $R$ ) pysyy alle 1,0. tällä tasolla on myös selvä korrelaatio hiihdon kilpailumenestykseen. (Larsson ym. 2002.) Ylävartalon aerobinen ja anaerobinen teho ergometrillä testattuna on paremmin yhteydessä menestykseen maastohiihdossa kuin juosten suoritettu maksimaalisen hapenottokyvyn testi (Rundell 1996). Mahoodin ym. mukaan (2002) yleensä hiihtovauhtia rajoittavat puutteellinen hiihtotaito, ylävartalon kestävyuden tai voiman heikkous. Sprinttihiihdossa menestymiseen päästään korkeaan hapenottokykyyn yhdistetyllä hyvällä kyvyllä tuottaa kovaa maksimaalista hiihtonopeutta ja sietää lihaksiston happamuutta (Stöggli ym. 2006). Tämän tutkielman tarkoituksena oli tutkia hiihdon sprinttaviestisuorituksen palautumista, sekä sen mahdollista nopeuttamista ja tehostamista kuntopyöräilemällä lyhyen palautuksen aikana.

## 2 SPRINTTIVIESTITISUORITUKSEN FYSIOLOGISET TEKIJÄT

### 2.1 Sprinttihiihto ja sprinttiviesti kilpailumuotona

Sprinttihiihto tuli maailmancupin ohjelmaan 1990-luvun lopulla. 2001 sprintti oli ensimmäistä kertaa maailmancupin ohjelmassa Lahden MM-hiihdoissa. Alkujaan sprinttimatkat oli noin 800 - 1000 metriä. Sprinttiviestit tulivat ohjelmaan hieman sprinttiä myöhemmin, ensimmäistä kertaa arvokisoihin 2005. (FIS 2011a.)

Sprinttihiihdon virallinen kilpailumatka kansainvälisen hiihtoliiton mukaan on nykyisin naisilla 800 – 1400 metriä ja miehillä 1000 – 1800 m. Korkeuseroa radalla saa olla 50 m ja kokonaisnousua 60 m. Perinteisen tyylin sprinttirataa suunniteltaessa tulee varmistaa, että radalla olisi vuorohiihtotekniikkaa vaativia nousuja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että radalla pitää olla tarpeeksi pitkiä tai jyrkkiä nousuja. Tarkalleen ottaen radalla tulee olla vähintään kaksi ylämäkeä, joiden kaltevuus on 12 – 18 %. Yhden mäen korkeuseron tulee olla vähintään 20 m ja yhden 15 m. Sprinttiviestissä käytetään sprinttikilpailuihin suunniteltuja ratoja. (FIS 2009.)

Ensiksi sprinttikilpailussa hiihdetään aika-ajot, joissa kolmekymmentä nopeinta pääsee jatsoon. Puolivälierissä sekä välierissä kuuden hiihtäjien eristä pääsee kaksi suoraan eteenpäin ja kaksi nopeinta erien kolmosta tai nelosta pääsee aikavertailun kautta jatsoon. Näin ollen lopulliseen A-finaaliin eli kaikkienensa urheilijoiden neljanteen sprinttierään on selvittänyt tiensä kuusi hiihtäjää. (FIS 2011b.)

Sprinttiviesti hiihdetään kahden urheilijan viestinä, jossa FIS:n säättöjen mukaan kumpikin urheilija hiihtää vuorotellen kolme osuutta, miehillä osuuden pituus 1 – 1,8 km ja naisilla 0,8 – 1,4 km. Ajallisesti tämä tarkoittaa sitä, että urheilijan pitää hiihtää kolme kertaa noin kolme minuuttia kolmen minuutin palautuksella yhden viestin aikana. Yleensä sprinttiviestissä käydään ensin alkuerät ja 1 - 2 tunnin tauon jälkeen finaali, eli hiihtäjälle tulee yhteensä kuusi yli kilometrin pituista osuutta noin parin tunnin aikana.

Myös sprinttaviestissä eristä pääsee jatkoon kilpailusta riippuen tietty määrä suoraan ja lisäksi muutama joukkue aikavertailun kautta. (FIS 2009.)

Rusko (2003) mittasi vapaan sprinttihiliihtoa 200 metrin sisäradalla. Tutkimuksen tuloksina sprinttihiliihto vaatii korkeaa anaerobista kapasiteettia, hyvää maksimaalista hapenottokykyä, hermolihasjärjestelmän nopeaa voimantuottoa ja hyvää hiihtotekniikkaa. Hiihdon taloudellisuus on jopa tärkein tekijä hyvälle sprinttihiliihtäjälle. (Rusko 2003.) Sen sijaan KIHUn (2006) ja Stögglin ym. (2006) tutkimuksissa ei ole havaittu yhteyttä aerobisen kapasiteetin korreloinniksi sprinttihiliihtosuorituskykyyn. Myös palautuminen suoritusten välillä ja taktinen osaaminen vaikuttavat lopputulokseen sprinttikilpailuissa (Mikkola 2008). Stöggl ym. (2006) esittävät perinteisen sprinttihiliihtoa varten tärkeimmiksi ominaisuuksiksi nopeuskapasiteettia, tekniikan käyttöä, uupumuksen sietoa ja anaerobista kapasiteettia.

Henkilökohtaiseen sprinttikilpailuun verrattuna parisprintissä korostuvat aerobiset ominaisuudet sekä toisaalta happamuuden sietokyky. Sprinttaviestissä on oleellista, että hiihtäjä pystyy hyvillä aerobisilla ominaisuuksilla ja elimistön puskurointikyvyllä välttämään liiallista lihasten pH:n laskua. Kun elimistön happamuus vetojen aikana nousee, hiihtäjän on kyettävä palautumaan lähtöjen välillä. Happamuuden neutralointi ja energiavarastojen täyttö vaativat hyviä lihastason aerobisia ominaisuuksia. Sprinttaviestissä hiihtäjän elimistön pitää osuoksien aikana kuitenkin pystyä toimimaan tehokkaasti, vaikka happamuus nouseekin. Luonnollisesti kovasta hiihtovauhdista ja kirikamppailuista johtuen nopeus- ja voimaominaisuuksilla on suuri merkitys myös sprinttaviestissä. (Mikkola 2008.)

## **2.2 Energiantuotto sprinttaviestissä**

Käytettäviä energiantuottomekanismeja sprinttaviestin aikana on hyvä verrata ajallisesti vastaavan mittaisilta juoksumatkoilta, joita on tutkittu selvästi enemmän. Gastinin review-artikkelin (2001) perusteella juoksua oli tutkittu energiantuotto-osuuksien suhteen selvästi eniten, myös pyöräilyä ja soudusta löytyi tutkimuksia (Gastin 2001). Sprinttaviestin yksi hiihtosuoritus on ajallisesti hieman yli kolme minuuttia keskiarvallisesti,



joka on siis 800 metrin (n. 2 min) ja 1500 metrin (n. 4 min) juoksuosoritusten välissä. Kuitenkin näitä lähtöjä tulee kolme hyvin lyhyellä palautuksella, jolloin varmasti energiantuottomekanismien osuudet siirtyvät näistä lähemmäksi 3000 metrin juoksuosoritusta, joka siis ajallisesti vastaa näiden kolmen hiihdon yhteisaikaa. Myös se, että yleensä pyritään ensimmäiset vedot pitämään submaksimaalisina nostaa aerobisen energiantuoton osuutta.

Rusko (2003) esittää, että sprintissä energiantuottomekanismien osuudet olisivat 50 / 50 aerobisen ja anaerobisen glykolyysin osalta kahden minuutin kestoisella radalla. Jo kolmen minuutin kestoisessa sprinttihiihtosuorituksessa sen sijaan aerobisen energiantuoton osuus nousee 70 - 80 %:iin. (Mikkola 2008.) Kuitenkin sprinttaviestin osuus varmasti olisi lähempänä viiden kilometrin kilpailusuoritusta, jolle esitetään suhdetta 90 / 10. Vastaavasti rasvojen ja hiilihydraattien suhteeksi Rusko esittelee sprintissä 1 / 99 ja viidellä kilometrillä 5 / 95. (Rusko 2003.) Myös Gastinin mukaan aerobisen osuuden merkitys on hyvin keskeistä yli 75 sekunnin suorituksissa (Gastin 2001).

Duffieldin ym. tutkimuksessa (2005) 800 metrin juoksun kisasuorituksessa saatiin laktatin ja kreatiinfostaattimenetelmän avulla määritettyä aerobisen ja anaerobisen glykolyysin suhteeksi miehille 63 / 37 ja naisille 69 / 31. Vastaavasti hapen tarpeen perusteella lasketut suhteet olivat miehille 60 / 40 ja naisille 70 / 30. (Duffield ym. 2005a.) Hillin tutkimuksen (1999) mukaan anaerobisen energiantuoton osuus on 800 metrin juoksu kilpailussa 27 ja 42 %:n välillä ja 400 metrillä anaerobisen glykolyysin osuus on 36-72 % kokonaisenergiantuotosta (Hill 1999). Duffieldin ym. tutkimuksessa molemmilla menetelmillä päästiin lähelle samaa tulosta, mikä antaa uskottavuutta saaduille arvoille, kun myös Hillin tutkimuksen tulokset ovat linjassa näihin. Duffieldin ym. (2005) tutkimuksessa 1500 metrin kilpajuoksun energiantuottomekanismien osuudet ovat miehille 81 / 19 ja 77 / 23 samoilla menetelmillä kuin Duffieldin ym. toisessa tutkimuksessa. Vastavat arvot naisille oli tutkimuksessa 86 / 14 ja 82 / 18. Tarkasteluun on hyvä ottaa vielä 3000 metrin tutkimuksen tulokset, mitkä saatiin tässä samassa Duffieldin ym. pitempien juoksumatkojen tutkimuksessa. Miehille arvot olivat 86 / 14 ja 93 / 7 sekä naisille 94 / 6 ja 92 / 8. (Duffield ym. 2005b.)

Oletettavaa on, että aerobisen puolen merkitys on sprinttaviestissä noin 80 - 90 %, mikä kertoo että myös sprinttihilhdossa menestyvien urheilijoiden on harjoittelussaan kiinnitettävä suurta huomiota aerobiseen puoleen, mikäli haluavat saavuttaa menestystä myös sprinttaviestikilpailuissa. Ruskon (2003) esittämät sprintin ja 5 km:n tulokset näyttävät, että myös juoksun puolelta pystymme käyttämään tutkimustuloksia suorituksen energiantuoton arvioinnissa. Stögglin ym. (2006) tutkimuksessa kyky tuottaa toistuvasti anaerobisesti energiaa sprinttierästä seuraavaan on tärkeä sprintin lopputulokseen vaikuttava tekijä.

### **2.3 Voimantuotto kilpailusuorituksen aikana**

Hiihtovauhtien ollessa kovemmat sprinttikilpailuissa myös tuotetut voimat ovat suurempia sekä voimantuottoajat nopeampia kuin pitemmissä kilpailuissa. Tällöin hermolihasjärjestelmän voimantuottokyky korostuu sprinttihilhdossa. (Mikkola 2008.) Hoff ym. (2002) kertovat työssään, että käsistä tuotettava voima on vuorohiihdossa vain 10 - 20 % maksimivoimasta yksittäisessä suorituksessa 1980-luvulla suoritetuissa mittauksissa, nykyisin kuitenkin ylävartalon merkitys on kasvanut tästä. Sen sijaan luisteluhihdossa voimantuottoarvot ovat käsistä hieman korkeampia jo aiemmin ja myös tässä suhteellinen osuus noussut 2000-luvulle. Maksimivoiman ja nopean voimantuoton merkitys on suurempaa sprinttihilhdossa sekä hiihtovauhdin ollessa erittäin kova. Parannukset näissä tapahtuvat hermolihasjärjestelmän muutosten kautta. Näillä muutoksilla tarkoitetaan synergistilihasten hyvää aktivoitumista, antagonistilihasten relaksoitumista sekä motoristen yksiköiden aktivoitumisen synkronisaatiota. (Hoff ym. 2002.) Ylävartalon merkityksen lisääntymisestä on saatu myös tutkimustuloksia. Stöggl ym. (2006) totesivat 40 sekunnin tasatyöntötestin yhteyden sprinttihilhdosuoritukseen. Tämän tueksi KIHUn mittauksissa (2006) kahden kilometrin tasatyöntötestin todettiin vahvasti korreloivan sprinttisuorituskykyyn (Mikkola 2008.)

Vesterisen ym. (2009) tutkimuksessa suoritettiin ensin 30 metrin maksimaalinen nopeustesti, jota seurasi simuloitu sprinttikilpailusuoritus. Erien loppujen EMG-aktiivisuudet olivat latissimus dorsi- ja pectoralis major -lihaksissa yhtä suuria kuin maksimaalisessa nopeustestissä. Neljän erän välillä merkitseviä eroja ei ollut. Kuitenkin kolmanneksi

viimeisessä erässä sum-iEMG ja sum-iEMG<sub>max</sub> ovat matalimmat. Tästä voidaan päätellä väsymystä myös voimantuotossa, mutta viimeiseen vetoon varmasti psyykkiseltäkin puolelta on enemmän kapasiteettia aktivoida lihaksia. Sen sijaan triceps brachii- ja vastus lateralis -lihasten EMG -aktiivisuudet olivat erien lopulla selvästi matalampia kuin nopeustestissä, mikä kuvastaa väsymystä. (Vesterinen ym. 2009.) Lihasten maksimaalisen aktiivoinnin väheneminen väsymyksessä johtuu keskushermoston heikentyneestä kyvystä hermottaa lihaksia sekä happamuudesta johtuvasta lihasten supistumiskyvyn heikentymisestä (Mikkola 2008). Nämä erot eri lihasten välillä voivat johtua siitä, onko työskentelevän lihaksen rooli kovassa voimantuotossa vai enemmän asennon stabiloinnissa. Myös lihasten solurakenne voi vaikuttaa, niin että lihakset, joissa on paljon nopeita lihassoluja, väsyvät enemmän, kuin lihakset, joissa on vallitsevana hitaita lihassoluja. (Vesterinen ym. 2009.)

Eri lihasten välillä on eroja voimantuotossa väsyneenä. Esimerkiksi Johnsson ym. (1973) ovat raportoineet, että kestävyysurheilijoilla triceps brachiissa vallitseva lihassolutyyppi on 2a. Tämä teoria saattaa selittää triceps brachiin vähentynyttä EMG-aktiivisuutta suorituksen aikana. Esimerkiksi latissimus dorsi- ja pectoralis major -lihasten aktiivisuudet pysyivät myös väsyneenä lähellä maksimaalisen nopeusvedon aktiivisuuksia. Zoryn ym. (2009) tutkimuksen mukaan väsyneenä työntöaika sekä palautusaika pitenevät, jolloin sykli hidastuu. On siis perusteltua väittää, että uupumuksen keräytyminen on rajoittava tekijä maastohiihdon sprinttikilpailussa. (Zory ym. 2009.) Tätäkin tutkimusta täytyy huomioida, että simuloituna sprinttiviestiä rullasuksille hitaalle Novotan-radalle voivat tulokset olla hieman erilaisia kuin todellisessa kisatilanteessa.

Holmbergin ym. (2005) tutkimus osoitti, että nopeammat hiihtäjät kykenivät tuottamaan lyhyemmässä ajassa suurempia voimantuoton huippuja tasatyöntösuorituksessa kuin hitaammat hiihtäjät. Näin ollen heidän tasatyöntösyklissä vallitsee pitempi palautusaika (liukuvaihe) kuin hitaammilla hiihtäjillä, joilla voimantuotto on hidasta. Stögglin ym. (2006) tutkimuksessa kuusi nopeinta hiihtäjää tuottivat pitempää hiihtosykliä submaksimaalisilla ja maksimaalisella nopeuksilla molemmissa tekniikoissa (vuorohiihto, tasatyöntö) verrattuna hitaampaan ryhmään. Perusteltua tuloksista on, että sprintterin tulisi kyetä optimaalisen pitkään syklin pituuteen molemmilla tekniikoilla, ja vauhdin paran-

tamiseksi kyetä lisäämään frekvenssiä menettämättä syklin pituutta. (Stöggl ym. 2006.) Sama pääajatus pätee myös luisteluhiihdon tekniikoissa.

## 2.4 Happamuuden, sykkeen ja VO<sub>2</sub>max:n yhteydet suoritukseen

Duffield ym. (2005) raportoivat 800 metrin juoksusuoritukseen vaikuttavista tekijöistä: huippunopeus, lihasten puskuriominaisuudet sekä aerobinen kapasiteetti (Duffield ym. 2005b). Nämä ominaisuudet ovat myös keskeisiä sprinttaviestissä. Stögglin ym. (2007) tutkimuksessa on löydetty voimakas korrelaatio maksimaalisen nopeuden ja veren maksimilaktaattipitoisuudella sprinttisuoritukseen. Vesterisen ym. (2009) tutkimuksessa oli huomattava korrelaatio huippulaktaattiarvolla ja simuloidun sprinttikilpailun ensimmäisen vedon ajan nopeudella. Sen sijaan suoritusten huippuhapenkulutus korreloi kolmannen ja neljännen erän aikojen kanssa, eli hapenoton merkitys kasvaa kilpailun aikana. Tutkimuksessa saatiin huomattava korrelaatio hapenkulutusten keskiarvoille sekä erien aikojen muuttumiselle, niin että korkean aerobisen kapasiteetin omaava urheilija kärsii vähemmän uupumuksesta sprinttikilpailun edetessä. (Vesterinen ym. 2009.) KIHUn tutkimuksissa (2006) normaalimatkan hiihtäjät pääsivät vähän suuremmille hapenkulutuksille sprinttiihiihdon erissä ja sprintterit puolestaan korkeammille laktaattitasoille.

Kuten aiemmin on tuotu esille, on noin kolmen minuutin lähes maksimitehoisia suorituksia lyhyellä palautuksella kolme peräkkäin. Sprinttiviesti on siis suoritus, johon lihasten happamoituminen selvästi vaikuttaa. Useimmissa tutkimuksissa on arvioitu maksimilaktaattia tarkastelemalla elimistön happamuutta ja sitä kautta lihasten toiminnan heikkenemistä. Hillin tutkimuksessa (1999) mieskoehenkilöillä oli 400 metrin kilpajuoksun jälkeen mitattu laktaattipitoisuus  $14,7 \pm 2,2$  mmol/l, 800 metrin kilpajuoksun jälkeen  $18,1 \pm 2,2$  mmol/l ja 1500 metrin kilpajuoksun jälkeen  $15,6 \pm 4,3$  mmol/l. Yhteenvetona esitetään siinä tutkimuksessa, että veren laktaattipitoisuus on 14 - 18 mmol/l välillä 400 ja 800 metrin kilpajuoksusuorituksissa. (Hill 1999.) Huippujuoksijoilla on 400 m:n ja 800 m:n kilpailun jälkeinen laktaattipitoisuus 20 – 25 mmol/l (esim. Kindermann & Keul 1977, Mero ym. 1987)

Lihaksissa syntyvä maitohappo dissosioituu vetyioneiksi ja laktaatiksi. Vetyionit laskevat pH:ta, jolloin voimantuottokoneiston toiminta heikentyy ja vetyionipitoisuus onkin suurin lihasväsymyksen aiheuttaja. (Robergs ym. 2004.) Sekä laktaattia että pH:ta voidaan mitata verestä, mutta laktaatin mittaus on paljon helpompaa ja se korreloi erinomaisesti pH:n kanssa. Laktaatin mittaukseen sisältyy myös muutamia epävarmuustekijöitä, sillä laktaattiarvo on laktaatin muodostumisen ja käytön erotus. Laktaattia käytetään energiaksi sydämessä, maksassa sekä suorituksessa vähemmän käytössä olevien solujen mitokondrioissa. (McArdle ym. 2010.) Laktaatin ja vetyionien kasaantuminen on siis rinnakkaistapahtuma, josta yleisesti mitattu laktaatin arvo kertoo epäsuorasti happamuuden lisääntymisen ja anaerobisen glykolyysin voimakkuuden (Mero 2010).

Happamuuden lisääntyminen johtaa lihassupistuksen vaikeutumiseen tai jopa estymiseen. Harjoittelemattomilla veren laktaattipitoisuuden nousu tasolle 6 - 10 mmol/l ja samanaikaisesti lihaksiston happamuuden kasvu heikentää voimantuottoa. Esimerkiksi sprinttereillä happamuudensietokyky on selvästi parantunut, ja he pystyvät työskentelemään tehokkaasti korkeammillakin laktaattipitoisuuksilla. (Rusko 2003.) Kuten Hillin tutkimuksessa kerrottiin, että korkeat laktaattipitoisuudet ovat siis yhteydessä kovaan happamuuteen lihaksissa. Hyvää kokonaissuoritusta varten sprinttaviestin suoritusten välillä tapahtuva suurten lihasryhmien happamuuden poisto palautuksen aikana on hyvin keskeisessä roolissa. Happamuuden poisto ja energialähteiden korvaaminen ovat tärkeää sprinttierien välillä, jota hyvät lihastason aerobiset ominaisuudet auttavat (Mikkola 2008). Tästäkin huolimatta verestä mitatut laktaattipitoisuudet nousevat erien edetessä, todettiin Stögglin ym. (2006) sprinttihiihto tutkimuksessa. Myös Jyväskylän yliopiston Liikuntabiologian laitoksella tehdyssä vielä julkaisemattomassa Jarvan (2011) kandidityön tuloksissa laktaattipitoisuudet nousivat sprinttaviestiosuoksien edetessä, ja happamuus laski aina matalammaksi osuoksien edetessä ensimmäisestä toiseen ja kolmanteen.

Vesterisen ym. (2009) tutkimuksessa kymmenen hiihtäjää saavutti simuloidun sprinttihilhdon jälkeen korkeimman laktaattiarvon kolmen minuutin kohdalla palautuksesta ja kuusi hiihtäjää viiden minuutin kohdalla palautuksessa. Myös Stögglin ym. (2006) tutkimuksessa näillä laktaattiarvoilla kolmen ( $r = -0.51, -0.62$  ja  $-0.76$ ) ja viiden minuutin ( $r = -0.47, -0.62$  ja  $-0.81$ ) kohdalla oli selkeä korrelaatio suoritusajaan (suuri laktaat-

tiarvo ja pieni aika siksi negatiivinen korrelaatio), korkein korrelaatio oli kuitenkin laktaatin arvolla kymmenen minuutin kohdalla. Myös laktaatti kolmosen ja vitosen merkitys kasvoi suorituksen edetessä. (Stöggl ym. 2006.) Voidaan olettaa, että ne hiihtäjät, jotka pystyvät laittamaan itsensä tiukemmille, saavat paremman suoritusajan sekä korkeammat laktaattipitoisuudet suorituksen jälkeen. Tämä osoittaa sprinttiviestin palautuksen toiminnan tärkeyttä, sillä noin neljän minuutin välein on edessä aina uusi erälähtö kilpailuissa. Kuitenkin näytteet on mitattu verestä, ja hyvällä palautumisella lihaksessa laktaattipitoisuudet ovat voineet jo laskea. Kuitenkin vielä suurempi merkitys on sillä, miten pH-arvojen laskua palautuksen aikana kyetään parhaiten estämään.

Duffieldin ym. tutkimuksen (2005) mukaan 800 metrin kilpajuoksusuorituksessa syke nousee noin 96 prosenttiin maksimista. Syke oli naisilla  $96 \pm 4$  %, ja miehillä  $96 \pm 3$  % maksimista. Syke nousi yhtä korkealle myös 400 metrin juoksusuorituksessa. Suorituksen korkein puolen minuutin hapenoton keskiarvo nousee noin 90 prosenttiin maksimista. Hapenoton arvot olivat miehillä  $89.6 \pm 4.9$  % ja naisilla  $90.8 \pm 9.2$  % maksimista. Nämä 800 metrin juoksun korkeimmat hapenottoarvot olivat selvästi suurempia kuin 400 metrin juoksun. Tutkimuksen tuloksien uskottavuutta lisää se, että tutkimus oli tehty kovan tason kansallisilla juoksijoilla Australiassa. (Duffield ym. 2005a.) Larsson ym. kertovat työssään, että kolmen minuutin maksimitehoinen hiihtosuoritus nosti hapenoton 89 %:iin maksimihapenotosta (Larsson ym. 2002). Lisäksi Vesterisen ym. (2009) tutkimuksessahan tuotiin esille, että hapenoton merkitys kasvaa kilpailun edetessä.

Vastaavasti Duffieldin ym. tutkimuksen (2005) mukaan 1500 metrin kilpajuoksusuorituksessa syke nousi miehillä  $98 \pm 2$  % ja naisilla  $99 \pm 1$  %. Kuitenkin esimerkiksi Stögglin ym. (2006) tutkimuksessa todettiin, että sykkeet eivät korreloineet minkään kolmen hiihdetyn sprinttierän tulosten kanssa (Stöggl ym. 2006). Hapenoton huippuarvot oli mitattu korkeimpina minuutin keskiarvoina, jotka olivat naisille  $99 \pm 2$  % hapenottokykytestin maksimista ja miehille  $94 \pm 4$  %. Samassa tutkimuksessa tehtiin myös 3000 metrin kilpajuoksusuorituksesta vastaavat mittaukset. Tässä kohtaa tuodaan esille kuitenkin vain miesten keskiarvot siitä, koska naisia oli 3000 metrin testissä vain kaksi, ja tutkimuksen muissa ryhmissä koehenkilöryhmät olivat noin kymmenen luokkaa. 3000

metrin kilpajuoksusuorituksessa miehillä syke nousi noin  $98 \pm 2$  % ja vastaavasti korkein hapenottoarvo  $93 \pm 7$  % hapenottokyvyn testin maksimista. (Duffield ym. 2005b.)

## 2.5 Taloudellisuus ja taktiikka sprinttaviestissä

Palautuminen sprinttaviestissä erien välillä on keskeisessä roolissa. Jotta hyvä palautuminen on mahdollista, on harjoittelussa keskityttävä taloudellisuuteen kovissa kilpailuvauheissa. Sprinttaviestin taktiikka täytyy luoda joukkueen molempien hiihtäjien fyysiset ominaisuudet huomioiden, siten että yleensä pyritään aloittamaan ensimmäiset vedot submaksimaalisesti. Mikkolan (2008) mukaan lyhyissä kilpailusuorituksissa, kuten sprintissä, anaerobinen taloudellisuus on merkitykseltään suurempi kuin normaalimatkoilla. Anaerobisella taloudellisuudella tarkoitetaan, että mitä kovempi hiihtonopeus tietyllä laktaattipitoisuudella, sen parempi anaerobinen taloudellisuus. Syksyn (2006) KIHUn tutkimuksissa anaerobinen taloudellisuus oli yksi tärkeimpiä sprinttisuorituskykyä selittäviä tekijöistä. Anaerobisen taloudellisuuden taustalla ovat välittömien energialähteiden koko ja niiden käyttökyky, hapenkäyttökyky, suoritustekniikka suurilla nopeuksilla, laktaatin tuotto lihaksissa sekä sen poistokyky, myös aerobisilla ominaisuuksilla on merkitystä. (Mikkola 2008.)

Hoff ym. (2002) viittaavat työssään Paavolaisen ym. (1999) ja Hoffin ym. (1999) tutkimuksiin, joiden mukaan suorituksen taloudellisuuteen on enemmän vaikutusta voimantuoton nopeuden kehittymisellä kuin maksimivoiman parantamisella. (Hoff ym. 2002.) Leddyn ym. (2004) tutkimuksen mukaan myös kovissa anaerobisissa suorituksissa urheilijat hyötyvät hyvistä aerobisista ominaisuuksista, jolloin he pystyvät hyödyntämään rasvoja paremmin sekä käyttämään laktaattia hyödykseen hitaissa lihassoluissa. Harjoittelulla on pyrittävä aerobisen ja anaerobisen puolen hyvään yhdistämiseen. (Leddy ym. 2004.)

## 3 VÄSYMINEN JA PALAUTUMINEN SPRINTTIVIESTITSUORITUKSESSA

### 3.1 Palautuminen intervallisuorituksesta

Korkean aerobisen kapasiteetin omaava hiihtäjä pystyy hoitamaan palautuksen sprinttikisan edetessä niin, että kun jatkoon aina pääsee, niin on vahvoilla kisan edetessä (Vesterinen ym. 2009). Sprinttivistissä tilanne on hieman eri, mutta hyvän palautumisen merkitys vähintään yhtä tärkeä. Nummelan ym. (2008) tutkimuksessa intervalliharjoittelun kuormittavuudessa nähtiin ero, suorittiko sitä maileri- vai kestävyystyyppinen juoksija. Tämä on myös käännettävissä tärkeäksi asemaksi väsymyksen siedossa sprinttivistikilpailuun. Sprinttiä päämatkanaan hiihtävillä hiihtäjillä vaaditaan tarkempaa hiihdon kontrollia ensimmäisissä lähdöissä. Palautumiskykyyn vaikuttaa myös urheilijan lihassolusuhde harjoittelutaustan lisäksi (Mikkola 2008).

Vesterisen ym. simuloitussa sprinttitutkimuksessa (2009) palautuminen erien välillä oli tehokasta. Tähän saattoi vaikuttaa, että liian kova alkuvauhti kontrolloitiin pois käyttämällä valojänistä kaikkien vetojen puolimatkaan saakka. Tässä tutkimuksessa 20 min palautuksella kaikki neljä vetoaika olivat sekunnin sisällä, joten 20 min palautusaika riitti palautumiseen. Näin ollen väsymisen kumuloitumista tapahtui simuloitun sprinttihilpailun aikana yllättävän vähän. Verestä mitatut laktaattipitoisuudet nousivat hieman kuormien edetessä, ollen noin 12 - 14 mmol/l tasoilla. (Vesterinen ym. 2009.) Palautumisessa sprinttihiihdon erien välillä oli kuitenkin huomattavissa yksilöllisyyttä ja aerobisten ominaisuuksien katsottiin edesauttavan palautumista (Mikkola 2008). KIHUn (2006) mittauksissa havaittiin, että mitä korkeampi hapenottokyky, sitä vähemmän hiihtäjän vauhti heikkeni kilpailun eristä seuraaviin.

Leddyn ym. (2004) suoritetusta 25 erän juoksukuormituksesta, tarkastellaan tässä sprinttivistä ajatellen kuutta ensimmäistä vetoa kahdenkymmenen minuutin palautuksella. Sprinttivistin finaaliin suoritettavassa kilpailupäivässä tulee kolme vetoa lyhyellä palautuksella, jonka jälkeen pitkän palautuksen jälkeen uudet kolme vetoa. Suoritukset tehtiin tutkimuksessa 125 %:n teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä, josta ensim-



mäisessä vedossa tätä tehoa kyettiin ylläpitämään lähes kolme minuuttia ja kuudennessa vedossa enää noin kaksi minuuttia. Harjoitelleiden ryhmällä sykkeet nousivat ensimmäisissä vedoissa noin 185:een, ja viidennessä sekä kuudennessa vedossa enää noin 180:een, mihin voi vaikuttaa myös kestollisesti lyhyempi suoritus aika. Hapenkulutusarvoissa ei juuri ollut eroja ensimmäisten kuuden vedon aikana, hapenkulutusarvojen noustessa kuitenkin koviin lukemiin, jopa hieman yli 5,0 l/min:iin. Vetojen jälkeen mitatut laktaattiarvot pienenevät tasaisesti vetojen määrän edetessä. Ensimmäisen vedon jälkeen mitattu laktaattiarvo harjoitelleiden ryhmästä oli hieman yli 12,0 mmol/l ja kuudennessa vedossa laktaattiarvo oli hieman yli 11,0 mmol/l. (Leddy ym. 2004.) Tässä nähdään eroa laktaattiarvojen muuttumisessa intervallikuormituksen aikana eli saavutavatko laktaattiarvot huipun ensimmäisessä vedossa vai kasvaako laktaattipitoisuus vetomäärien lisääntyessä. Kuormitustyyppin lisäksi etenkin palautuksen kesto vaikuttaa tuloksiin. Myös psyykkisen puolen merkitystä ei sovi unohtaa. On eri asia tarkastella 25 vedosta kuutta ensimmäistä, vaikka täysillä olikin tarkoitus aina mennä, kuin että tietää kyseessä olevan viimeisen vedon, jossa ratkotaan esimerkiksi kilpailun kärkisijat. On tällöin jälkimmäisessä vaihtoehdossa varmasti psyykkisen puolen kautta lihaksiston käskytykseen kovempaa.

Nummelan ym. (2008) tutkimuksessa intervalliharjoituksesta mitatut laktaatit korreloivat hyvin rasi- ja kestävyyslajeissa. Nopeuslajeissa laktaattipitoisuus selittikin yli 50 % rasi- ja kestävyyslajeissa ja myös kestävyyslajeissa yli 30 %. Tämä selittää hyvin, laktaattien mittaamisen merkitystä intervalliharjoittelussa. (Nummela ym. 2008.)

### **3.2 Aktiivisen palautuksen kuorma**

Menziesin ym. (2010) tutkimuksessa suoritettiin viiden minuutin juoksusuoritus 90 %:n teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Tässä vedossa verestä mitattu laktaattitaso nousi  $1,0 \pm 0,1$  mmol/l tasolta  $3,9 \pm 0,3$  mmol/l tasolle. Tämän jälkeen suoritettiin aktiivista palautusta 40 - 100 %:n tehoilla anaerobisesta kynnyksestä sekä vertailuna passiivinen palautus. Kiinnostavinta tämän tutkimuksen tuloksista on laktaatin palautuma lyhyessä ajassa. Neljän minuutin kohdalla palautuma oli ollut hyvää anaerobisen kynnyksen teholla sekä 80 %:lla tästä suoritetuilla palautuksilla. Näillä palautusmenetelmillä

laktaattitasot oli saatu jo alle 3,0 mmol/l, sen sijaan matalammalla teholla suoritetuissa aktiivisen palautuksen kokeissa sekä passiivisella palautuksella laktaattitasot olivat vielä noin 3,5 mmol/l tasolla. Yhteenvetona tutkimuksesta olikin, että 90 %:n maksimaalisesta hapenottokyvystä suoritetusta kuormituksesta, parhaimpana aktiivisen palautuksen tehona olisi 80 - 100 % anaerobisesta kynnyksestä. (Menzies ym. 2010.)

Uinnissa 60 %:n nopeus maksimaalisesta 100 metrin uintinopeudesta vastaa hyvin harjoitelleilla uimareilla 40 – 45 % heidän  $VO_{2max}$ :sta, joka oli Toubekisin ym. (2005) tutkimuksessa liian kova teho palautukseen. Sillä 50 %:n uintinopeus vastasi hitainta nopeutta, jossa oli mahdollista pitää oikeaa uintitekniikkaa. (Toubekis ym. 2005.) Uintiharjoittelussa on todettu lyhytkestoisilla sprinteillä lähellä kisaa kovalla teholla olevan lisäävä vaikutus anaerobiseen tehoon. Uintitutkimuksissa on saatu hyviä tuloksia aktiivisesta palautumisesta 40 %:n teholla maksimaalisen hapenottokyvyn tehosta uudelleentoistettavassa sprinttiharjoittelussa. Kuitenkin myös toisensuuntaisia tuloksia on saatu pyöräilyn ja uinnin yhdistämisestä. (Toubekis ym. 2005.)

### 3.3 Aktiivinen vs. passiivinen palautus

Toubekisin ym. (2005) uintitesteissä 25 metrin vetosarjan keskiarvot olivat seuraavat: PAS 13.10 s, AKT50 13.43 s ja AKT60 13.47 s. 50 metrin ajat olivat seuraavat: PAS 27.29 s, ACT50 27.30 s ja ACT60 27.45s. Käytetyt palautusmenetelmät olivat passiivinen palautus ja aktiivinen palautus 50 % sekä 60 % teholla eli nopeudella 100m:n ennätyksestä. 6 minuutin palautuksen aikana laktaattitasot laskivat seuraavasti PAS  $6.1\% \pm 2.7\%$ , ACT50  $16.0\% \pm 2.5\%$  ja ACT60  $15.5\% \pm 3.7\%$ , vaikka laktaattitasot olivat jo lähtiessä korkeimmat passiivisen palautuksen mittauskerralla. Myös viimeisen 50 metrin kisavedon jälkeen oli laktaatit korkeimmat passiivista palautusta käyttämällä, eron pysyessä samana kuin Pre-50m näytteessä. (Toubekis ym. 2005.) Kuitenkin hieman kiinnostavampaa oli jo aiemmin esitelty Menziesin ym. (2010) tutkimus, jossa aktiivisella palautuksella päästiin hyviin tuloksiin viiden minuutin melko korkeatehoisten suoritus-ten jälkeen verrattuna passiiviseen palautukseen. Voi olla niin, että sprinttiviesti suoritettuna submaksimaalisella aloituksella tuottaa parhaimman tuloksen ja siinä tilanteessa myös aktiivinen palautus voi olla auttamassa enemmän.

Toubekisin ym. (2005) uintitutkimuksesta voidaan päätellä vielä, että erittäin lyhyessä palautuksessa aktiivisesta palautuksesta ei ole hyötyä, vaan päinvastoin. Sen sijaan 50 metrin aikoja tarkastelemalla nähdään 60 %:n maksimaalisesta 100 metrin uintinopeudesta olleen liian kova teho aktiiviseksi palautukseksi, ja suoritus aika on näin kärsinyt siitä, vaikka veren laktaattia onkin pystytty laskemaan tällä palautuksella suunnilleen yhtä hyvin kuin AKT50:llä. Puolestaan 50 metrin loppuaika oli yhtä kova kuin passiivisella palautuksella, joten tästä voidaan päätellä todellista kisaa varten suoritettavien lämmittelyn aikaisten vetojen sopivan yhdistämisen aktiiviseen ja passiiviseen palautumiseen tuottavan parhaan tuloksen. Syitä, miksi aktiivinen palautuminen ei etenkin parantanut suoritusta lyhyissä intervaleissa, voivat olla hapen tarpeen kasvu ja sitä kautta kreatiinifosfaatin uudelleensyntymisen hidastuminen. Uimarit kuitenkin raportoivat, että uinti tuntui paremmalle aktiivisen palautumisen jälkeen, vaikka tuloksena syntyi hitaampi aika. Todennäköisesti tähän vaikuttavat matalammat laktaattitasot. Aktiivisen palautumisen käyttö lyhyissä palautuksissa maksimaalisen intensiteetin toistoissa saattaa johtaa huonontuneeseen suoritukseen, mutta voi kehittää myös lihaksen kykyä hapettaa laktaattia. (Toubekis ym. 2005.)

### **3.4 Aineenvaihdunnalliset muutokset väsymyksessä**

Väsyminen sprinttihilidossa tapahtuu hermoston ja energiantuotannon kautta sekä lisäksi lihasten maksimaalinen aktivointi vähenee (Mikkola 2008). Väsymisen suurin aiheuttaja on happamuus työskentelevissä lihaksissa (Mero 2010). Holmbergin ym. tutkimuskin (2005) osoittaa, että nopeammat hiihtäjät kykenivät tuottamaan nopeammassa ajassa suurempia voimantuoton huippuja tasatyöntösuorituksessa, tätä kautta heidän tasatyöntösyklissä vallitsee pitempi palautusaika (liukuvaihe), kuin hitaammilla hiihtäjillä, joilla voimantuotto on hidasta ja todennäköisesti lihasten aktivointi huonompaa.

Leddyn ym. (2004) tutkimuksessa kahdenkymmenen minuutin palautuksella suorituksissa korkeatehoisissa noin kahden ja puolen minuutin juoksuvedoissa laktaattipitoisuus nousi korkeimmaksi ensimmäisellä vedolla, ja myöhemmissä vedoissa suoritukset heikkenivät jonkin verran ja samalla laktaattipitoisuuksia ei jaksettu nostaa yhtä korke-

alle. Vedot suoritettiin 125 %:n teholla mitatusta  $VO_{2max}$ :sta ja ensimmäisessä vedossa tehoa, jota jaksettiin ylläpitää lähes kolme minuuttia. Tällöin veren laktaattipitoisuuden nousussa hieman yli 12 mmol/l tasolle. (Leddy ym. 2004.) Myös toisensuuntaisia tuloksia on saatu, kuten aiemmin työssä tuotu esille.

Mikkola (2008) esittää, että aineenvaihdunnan osalta noin kahden ja puolen minuutin sprintissä olosuhteissa, jotka ovat verrattavissa vesikeliin, sekä rataan, missä ei ole palautuksia voidaan päästä eri ominaisuuksilla samaan lopputulokseen. Vertailu suoritettiin sprinttihilijäjen ja normaalimatkan hiihtäjien välillä. (Mikkola 2008.)

### **3.5 Hermolihasjärjestelmän toimiminen väsymyksessä**

Hermolihasjärjestelmän merkitys sprinttihiihdossa on todettu niin Ruskon (2003) kuin Stögglin ym. (2006) tutkimuksissa. Sprinttihiihdossa räjähtävä lähtö, rytminvaihdot sekä loppukiritaistelut määräävät hermolihasjärjestelmän tärkeyttä suorituksessa (Mikkola 2008). Myös juoksupuolelta on paljon näyttöä, että 20 - 30 metrin maksimaalisella nopeudella on vahva yhteys 400 - 1500 metrin suoriin. Stögglin ym. (2006) tutkimuksessa nopeampien ja hitaampien hiihtäjien eroja syklin pituuksissa perusteltiin mahdollisesti eroina voimakapasiteetissa tai teknisessä puolessa. Nopeammat hiihtäjät pystyivät pitämään yllä pitempää hiihtosykliä samalla syklinnopeudella kuin hitaammat hiihtäjät, paremmin myös väsyneenä. Myös juoksunkaltaisia lajinomaisen perusnopeuden yhteyksiä sprinttisuorituskykyyn todettiin tutkimuksessa. (Stöggl ym. 2006.) Sen sijaan KIHUn (2006) tutkimuksessa hitaalla alustalla simuloidussa sprinttihiihtosuorituksessa ei löydetty yhteyttä lajinomaisen nopeustestin tuloksiin. (Mikkola 2008)

Myös MAST-testillä (maximal anaerobic skiing test) löytyi korrelaatio sprinttihiihtosuorituskykyyn Mikkolan (2008) mukaan. MAST-testi kuvastaa myös hyvin hermolihasjärjestelmän suorituskykyä, jossa hiihdetään kahdenkymmenen sekunnin vetoa anaerobisilla nopeuksilla veto vedolta kiihtyen. Heikot nopeus- ja voimantuotto-ominaisuudet ovat yksi mahdollinen rajoittava tekijä sprintin kilpailusuorituksessa. Sprinttikilpailu ratkeaa yleensä aivan lopussa, ja tässä vaiheessa on hermolihasjärjes-

telmän toimittava tehokkaasti menestyäkseen, vaikka korkea hapenkulutus ja lihasten happamuus aiheuttavat toiminnalle mahdollista rajoitusta. (Mikkola 2008.)

Zory ym. (2009) totesivat simuloidussa sprinttihilhdossa uupumuksen vertailemalla erien alun ja lopun aikoja, joihin muodostui selvä ero. Tämän lisäksi uupumuksessa hiihtosyklin nopeus hidastui ja työntö sekä palautusvaiheiden ajat heikkenivät. (Zory ym. 2009.) Zory ym. (2006) tutkivat myös polven ekstension isometristä maksimivoimaa ennen ja jälkeen simuloitun sprinttihilhtosuorituksen. Muutoksia ei havaittu lihasaktiivisuuksissa, mutta isometrinen maksimivoima laski merkittävästi. Myös ylävartalon voima oli vähentynyt, tässä 11,6 mmol/l laktaattitasoilla suoritettussa jälkimmäisessä testissä. (Zory ym. 2006.)

## 4 TUTKIMUKSEN ONGELMAT JA HYPOTEESEIT

**Tutkimusongelma 1:** Pystytäänkö hiihdon sprinttaviestisuorituksessa erien välisen neljän minuutin palautuksen aikana polkemalla kuntopyörää tehokkaammin laskemaan laktaatti- ja vetyionikonsentraatioita?

**Hypoteesi 1:** Neljän minuutin palautuksen aikana ”varikkoalueella” kuntopyöräilemällä saadaan laktaatti- ja vetyionikonsentraatioita laskemaan nopeammin ja paremmin.

**Tutkimusongelma 2:** Mitä muita mahdollisia fysiologisia etuja pyöräilystä on? Saadaanko nämä mahdolliset edut myös näkymään parantuneena suorituksena kilpailusuorituksessa?

**Hypoteesi 2:** Näiden mahdollisten etujen pitäisi vaikuttaa suoritukseen parantavasti. Parantunut suoritus tarkoittaa nopeampaa kokonaisaikaa ja etenkin viimeisen vedon nopeampaa aikaa.

Tutkimuksen yleisiä taustatekijöitä oli, että palautus suoritettiin eri lajimuodolla. Vaikka veren laktaatti- ja vetyionitasoja saataisiin laskettua, voi olla, että lihastasolla palautuminen ei ole niin hyvää ja tulee ongelmia lajinvaihtamisen suhteen. Tämän ehkäisemiseksi käytettiin palautuksessa pienempiä kuormia, kuin mitä käytettäisiin, jos palautusajan lajimuoto pystyttäisiin pitämään samana kuin kilpailusuorituksessa.

Mikä on valmistautumisen ja oppimisen merkitys suorituksessa? Tämän ongelman poistamiseksi mittaukset järjestettiin siirtymäkaudella tai kilpailukauden loppupuolella pääkilpailujen jälkeen, jolloin valmistautumisviikot voitiin suorittaa juuri samanlaisina. Koehenkilöryhmä satunnaistettiin, jolloin toinen puoli koehenkilöistä suoritti tällä tutkittavalla menetelmällä ensin testin ja toinen osa vasta jälkimmäisellä viikolla.

## 5 MENETELMÄT

### 5.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä tutkimuksessa oli kymmenen kansallisen- tai kansainvälisen tason mies-hiihtäjää. Lisäksi yksi kansallisen tason hiihtäjä hiihti pilottimittauksessa, missä palautuksen kuormitusta haettiin. Osalla koehenkilöistä oli sprinttimatka ja osalla normaali- matkat päämatkoina, mutta kaikki kilpailivat molemmilla matkoilla. Koehenkilöiden taustatiedot olivat seuraavat: ikä  $24 \pm 2$  vuotta, pituus  $183 \pm 4$  cm, paino  $79 \pm 5$  kg,  $VO_{2max}$   $77 \pm 5$  ml/kg/min ja Hb  $152 \pm 8$  g/L. Koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen omasta halusta ja he saivat ennen tutkimusta tarkat tiedot tutkimuksen kulusta ja siihen valmistautumisesta. Lisäksi koehenkilöt allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta ennen tutkimuksen alkua.

### 5.2 Koeasetelma

Mittauksen koeasetelma oli, että koehenkilöt suorittaisivat kaksi kertaa simuloidun sprinttihiluokituksen Hipposhallin 200 m:n radalla 3 - 12 vuorokauden välein. Suoritettava simuloitava sprinttiviesti hiihdettiin luistelutekniikalla 3 x 1000 m neljän minuutin palautuksella. Vaikka palautusaika oli hieman suoritusaikaa pidempi, haluttiin se vakioida, jotta kaikilla voitaisiin varsinaisella mittauskerralla vakioida palautuksen aikainen toiminta. Suoritusajassa haettiin mahdollisimman hyvää kokonaistulosta.

Kaikki koehenkilöt suorittivat kaksi kertaa mittaukset, joista toinen oli koe- ja toinen kontrollimittaus. Koemittauksessa neljän minuutin palautuksesta kolme minuuttia poljettiin kuntopyörää aerobisella teholla (140 - 160 W). Kumpaankin testikertaan tultiin viimeisen viikon osalta samanlaisella vakioidulla valmistautumisella, jossa hiihtäjät suorittivat viimeiset kaksi päivää kevyttä harjoittelua. Koehenkilöt satunnaistettiin, ja puolet koehenkilöistä suoritti ensimmäisen testikerran polkemalla kuntopyörää suoritusten palautusten (4 min) välillä, toinen osa koehenkilöistä suoritti ensimmäisen mittauskerran käyttämällä palautusten välillä normaalia palauttelumenetelmää (tässä käyte-

tään nimitystä juoksumenetelmä), joka sisältää hieman kävelyä ja juoksua sekä raviste-  
luja. Noin viikkoa myöhemmin kukin koehenkilöistä suoritti samanlaisen simuloidun  
sprinttaviestisuorituksen käyttämällä palautuksen aikana eri menetelmää kuin ensimmäi-  
sellä mittauskerralla. Oppimisen vaikutuksen minimoimiseksi puolet porukasta käytti  
pyörämenetelmää ensimmäisellä ja puolet toisella mittauskerralla.

Kaikki koehenkilöt käyttivät samoja Vauhdin Skate -rullasuksia (Vauhti, Suomi). Pyö-  
räilypalautuksessa käytettiin tehoja 140 W, 150 W ja 160 W. Perusjakona oli 140 W ja  
150 W, missä rajakohta määritettiin aikaisemmin mitatun maksimaalisen hapenoton  
mukaan mukaan, ja raja asetettiin 75 ml/kg/min kohtaan eli alle 75 ml/kg/min käytti 140  
W ja yli 75 ml/kg/min käytti 150 W. Lisäksi, jos koehenkilöllä oli kilpapyöräilykoke-  
musta, palautustehoa nostettiin 10 Wattia.

### 5.3 Aineiston keräys ja analysointi

**Verinäytteet.** Verinäytteitä otetaan seitsemän kappaletta yhdeltä testikerralta: leponäyte,  
verryttelyn jälkeinen näyte, 1.vedon jälkeen, palautuksen jälkeen, 2.vedon jälkeen, pa-  
lautuksen jälkeen sekä kolme minuuttia viimeisen vedon jälkeen. Verinäytteistä määri-  
tettiin happoemästäsapainon tarkastelemiseksi pH, ja laktaatti-ionipitoisuudet ja lisäksi  
leponäytteen yhteydessä otettiin pieni verenkuvaa.

**Laktaatin** määrittämiseksi otettiin 20 µl suuruinen verinäyte kapillaariputkiin, jotka  
analysoitiin EKF Diagnosticin valmistamalla Biosen C-linella (EKF Diagnostic, Mag-  
deburg, Saksa). Verinäytteiden analysaattori oli kalibroitu ennen mittauksia käyttämällä  
LA standardia 12 mmol/L. Kalibroinnin tulokset oli hyväksytty  $\pm 0,1$  mmol/L tarkkuu-  
della. Laitevalmistajan ilmoittama Accuracy CV (variaatiokerroin) on alle 1,5 %. Omat  
mittaukset Day to Day analyysissä osoittivat CV:n olevan 5,1 % pitoisuudella 9,0  
mmol/l.

**cB-pH.** Määrittämisessä sormenpästä otettiin Li-heparinisoitu kapillaarinäyte (noin 200  
µl), joka analysoitiin välittömästi GEM Premier 3000 verikaaasuanalysointilaitteella (Inst-  
rumentation Laboratory, Lexington, MA, USA). Laitevalmistajan ilmoittama Precision  
sarjan sisäisessä analyysissä on SD 0,008 pH 7,15 ja Day to Day analyysissä SD 0,005



pH 7,15. Laitevalmistajan ilmoittama Precision sarjan sisäisessä analyysissä on SD 0,004 pH 7,46 ja Day to Day analyysissä SD 0,002 pH 7,46.

**cB-CO<sub>2</sub>** on mitattu suure, jota käytetään bikarbonaattipitoisuuden laskennassa. Laitevalmistajan ilmoittama Precision sarjan sisäisessä analyysissä on CV 2,69 % ja Day to Day analyysissä CV 0,48 % pitoisuudella 8,9 kPa. Precision sisäisessä analyysissä CV on 1,59 % ja Day to Day analyysissä CV on 0,21 % pitoisuudella 4,7 kPa. Bikarbonaattiarvot sekä emästaseet ovat laskennallisia suureita.

**B-PVK.** Perusveren kuvan näyte otettiin käsivarren laskimosta 2,5 ml EDTA- vakuumputkeen (Becton-Dickinson, Franklin Lakes, NJ, USA). PVK- näyte analysoitiin Sysmex KX-21N-laitteella (Sysmex, Kobe, Japan). Laitteen Precision omat mittaukset Day to Day: B-WBC CV 3,64 %, B-RBC CV 1,08 %, B-HB CV 1,45 % ja B-HKR CV 1,02 %.

**Aika.** Jokaiselta koehenkilöltä otettiin molemmista mittauskerroista kaikilta kolmelta vedolta sekuntikellolla loppuajat sekä 200 m:n kierrosajat. Suorituksen kokonaisaika oli näiden kolmen 1000 m vedon yhteisaika. Ajat kirjattiin sekunnin tarkkuudella käsiajanotolla, normaaleja pyöristyssääntöjä käyttäen.

**Syke.** Sykettä mitattiin Polarin S610 sykemittarilla (Polar Electro OY, Kempele, Suomi), jossa käytettiin viiden sekunnin tallennusväliä datan keräämiseen. Syketiedot purettiin Polar Pro Trainer 5 -ohjelmalle, jolla sykkeiden tarkastelu tehtiin. Vedoista tarkasteltiin maksimisykettä sekä sykkeen nousemista alussa. Palautuksen aikaista sykettä seurattiin vetojen väliltä sekä kaksi minuuttia suorituksen jälkeen.

## 5.4 Tilastolliset menetelmät

Kaikesta datasta laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Tilastollisen merkitsevyyden taso oli  $p < 0.05$  kaikissa analyyseissä. Kaikki tilastolliset testit oli syötetty käyttämällä PASW Statistics 18 ja Microsoft Office Excel 2003 ohjelmia. Normaalius testattiin Shapiro-Wilk testillä. Osa muuttujista ei ollut normaalisti jakautunut, mutta huipukkuus- ja vinousarvojen pienuuden vuoksi käytettiin parametrisiä testejä. Lisäksi varianssien yhtäsuuruus todettiin Levenen testillä. Aineisto analysoitiin parillisella t-testillä, sekä osa aineistosta varianssianalyysillä.

## 6 TULOKSET

### 6.1 Aika muuttujana eri testikerroilla

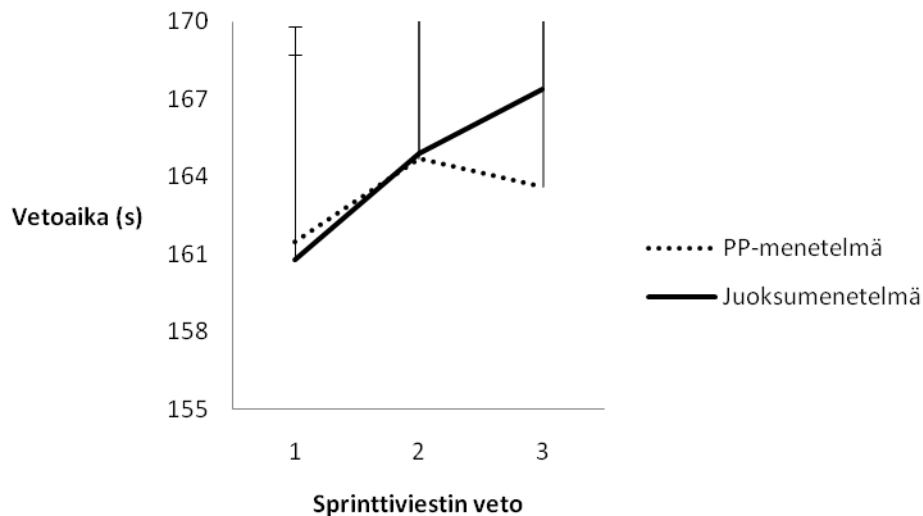
Varianssianalyysillä vetoaikojen välisten käyrien kokonaisuuksien ero ei ollut merkitsevä pyörä- ja juoksuryhmällä ( $p=0,821$ ). Pyörämenetelmä oli keskimäärin 3,2 s nopeampi kokonaisajassa, tämä ero tuli kokonaisuudessaan viimeisellä vedolla (taulukko 1). Tämän vuoksi pyöräryhmä oli suuntaa antavasti nopeampi kolmannessa vedossa ( $p=0,085$ ) ja merkitsevästi nopeampi kirivaiheessa (viimeinen 400m;  $p=0,045$ ).

Kirivaiheen ratkaisuhetkeä vielä tarkemmin analysoitaessa myös viimeiselle 200m:lle saadaan vahva merkitsevyys pyöräryhmän eduksi ( $p=0,004$ ). Viimeisen 200 m:n aika oli pyörämenetelmällä  $32,6 \pm 3,0$  s ja juoksumenetelmällä  $34,0 \pm 2,7$  s. Puolestaan viimeisen 400 m:n ajat olivat pyörämenetelmällä  $66,7 \pm 6,1$  s ja juoksumenetelmällä  $68,5 \pm 5,6$  s.

Toinen mittauspäivä oli keskimäärin 3,0 s nopeampi. Taulukosta nähdään, että pyöräryhmä on pystynyt jopa kiristämään viimeisen vedon aikaa toiseen vetoon nähden, kun taas toisella ryhmällä tulos on puolestaan tasaisesti heikkenevä.

**TAULUKKO 1.** Vetoajat ja kokonaisaika eri menetelmillä. Ajan erotus kuvattu muutoksena juoksumenetelmään. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

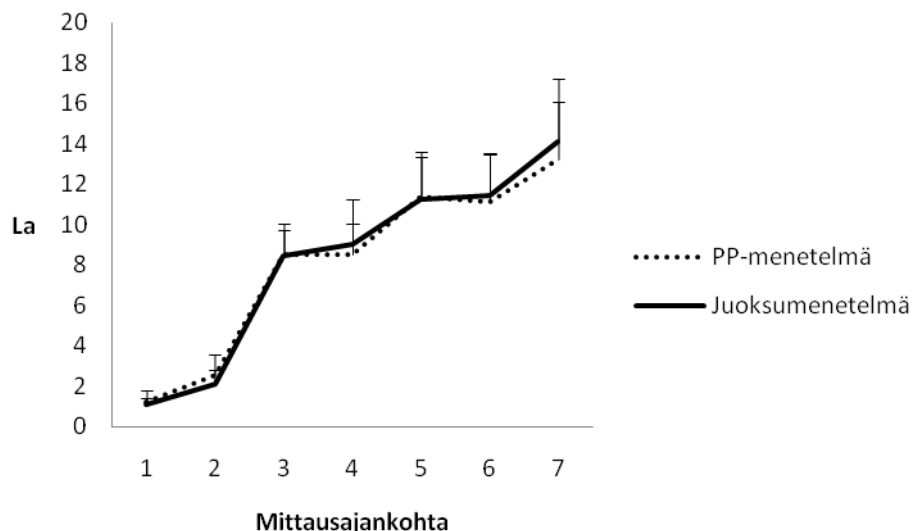
Veto/ryhmä	Pyöräryhmä	Juoksuryhmä	Erotus
Vetoaika 1. (s)	$161,5 \pm 8,3$	$160,8 \pm 7,9$	+0,7
Vetoaika 2. (s)	$164,7 \pm 12,6$	$164,9 \pm 11,6$	-0,2
Vetoaika 3. (s)	$163,6 \pm 13,9$	$167,4 \pm 14,0$	-3,8
Kokonaisaika (s)	$489,8 \pm 33,4$	$493,0 \pm 30,7$	-3,2



**KUVIO 1.** Ensimmäisen, toisen ja kolmannen vetojen ajat eri menetelmillä. Pyörämenetelmä (PP) on suuntaa antavasti ( $p=0,085$ ) nopeampi kuin juoksumenetelmä kolmannessa vedossa, missä sprinttiviesti yleensä ratkeaa. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

## 6.2 Fysiologiset muuttujat suorituksen aikana

Laktaattikäyrien eri menetelmien väline  $p$ -arvo oli 0,793. Laktaateissa ei ryhmien välillä siis ollut eroa (kuvio 2.). Suurin ero oli viimeisen vedon jälkeen n. 1 mmol/l ( $p=0,230$ ).

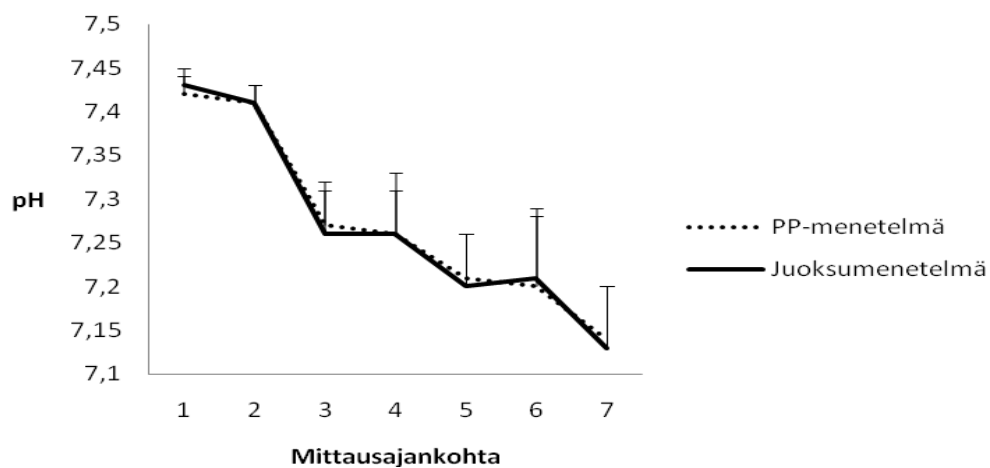


**KUVIO 2.** Laktaattikäyrät suorituksen ajalta sekä verryttelyvaiheesta molemmilla menetelmillä. Laktaattikäyrät kulkevat hyvin lähekkäin, pieni ei-merkitsevä ero ( $p=0,230$ ) huomataan viimeisen vedon jälkeen, niin päin, että pyörämenetelmässä laktaattitasot jäävät matalammaksi. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

pH-käyrien eri menetelmien välinen p-arvo oli 0,713 eli merkitsevää eroa ei ollut. pH oli viimeisen vedon jälkeen hieman matalampi juoksumenetelmää käyttäen (taulukko 2), kuten laktaatti selvästi korkeampi. pH-käyrät logaritmisella asteikolla kulkevat hyvin lähellä toisiaan ja vielä toisen vedon jälkeenkin mitatuissa näytteissä oli molemmat menetelmät samoissa (7,20 - 7,21) (kuvio 3).

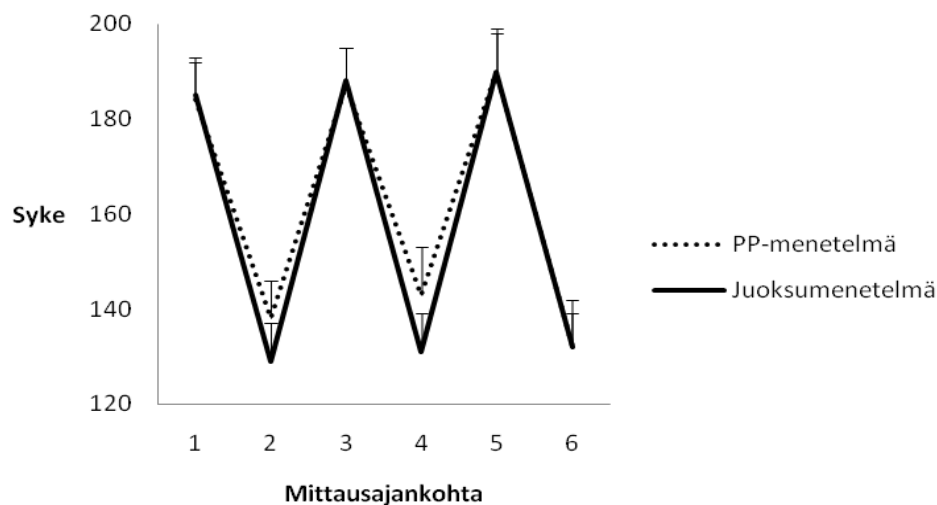
**TAULUKKO 2.** pH-arvot suorituksen eri vaiheista molemmilla menetelmillä. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

	Pyörämenetelmä	Juoksumenetelmä	Erotus
Lepo	7,42 $\pm$ 0,02	7,43 $\pm$ 0,02	- 0,01
Verryttely	7,41 $\pm$ 0,02	7,41 $\pm$ 0,02	0
1.veto	7,27 $\pm$ 0,05	7,26 $\pm$ 0,05	+ 0,01
1.palautus	7,26 $\pm$ 0,05	7,26 $\pm$ 0,07	0
2.veto	7,21 $\pm$ 0,05	7,20 $\pm$ 0,06	+ 0,01
2.palautus	7,20 $\pm$ 0,08	7,21 $\pm$ 0,08	- 0,01
3.veto	7,14 $\pm$ 0,06	7,13 $\pm$ 0,07	+ 0,01



**KUVIO 3.** pH-käyrä suorituksen aikaisista mittauksista eri palautusmenetelmiä käyttäen. pH-käyrät kulkevat eri menetelmien välillä hyvin samoissa läpi sprinttaviestisuorituksen. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

Sykekäyrien eri menetelmien välinen p-arvo oli 0,300 eli tilastollista merkitsevyyttä ei ollut. Kuitenkin palautussykkeissä oli ”paikallisia eroja” eroja, mikä oli merkitsevää pyörä- ja juoksuryhmän välillä. Ensimmäisessä palautusjaksossa p-arvo oli 0,046 ja toisessa palautusjaksossa ero vielä korostuu ( $p=0,008$ ), eli pyöräryhmällä palautussykkeet olivat merkitsevästi juoksuryhmää korkeampia. Erien maksimisykkeissä ei ollut eroja ( $p=0,290$ ; 0,647; 0,892) menetelmien välillä. Juoksumenetelmällä syke laski molemmissa palautusjaksoissa yli viisikymmentä pykälää noin kahdessa minuutissa, ja pyörämenetelmälläkin ensimmäisessä jaksossa lähes viisikymmentä pykälää ja myös toisessa palautusjaksossa yli neljäkymmentä pykälää (huomioitavaa kuitenkin, että toisen vedon jälkeinen palautuksen alkusyke on hieman korkeampi). (kuvio 4.)



**KUVIO 4.** Sykkeet vetojen lopusta ja palautuksesta 2.30 kohdalta lihastoiminnan aikana sekä viimeinen kuudes arvo kahden minuutin kohdalta koko sprinttiviestin palautussyke. Palautusjaksoilta menetelmien välille muodostui selvä yli kymmenen pykälän ero ( $p= 0,046$  ja  $p=0,008$ ). (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

**TAULUKKO 3.** Fysiologiset muuttujat pyörämenetelmässä suorituksen ajalta sekä ennen ja jälkeen verryttelyä. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

	pH	pCO <sub>2</sub> (kPa)	pO <sub>2</sub> (kPa)	Na (mmol/L)	K (mmol/L)	Ca (mmol/L)	Ca(7,4) (mmol/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	BE <sub>ecf</sub> (mmol/L)	BE(B) (mmol/L)	La (mmol/L)
Lepo	7,42	5,6	10,7	139,5	4,32	1,16	1,17	26,7	2,6	2,3	1,22
Ver.	7,41	5,1	10,7	140	4,51	1,15	1,15	24,8	-0,3	-0,1	2,56
1.veto	7,27	4,9	10,3	142,9	5,69	1,22	1,15	17,5	-10,1	-9,3	8,52
Pal.	7,26	4,7	11,4	141,6	4,22	1,18	1,11	17	-11	-10,1	8,51
2.veto	7,21	4,3	11,3	144,8	5,47	1,22	1,13	14,1	-14,9	-13,6	11,4
Pal.	7,2	4,2	12,3	142,2	4,22	1,2	1,1	13	-15,6	-14,3	11,09
3.veto	7,14	3,9	13,3	143,5	4,04	1,2	1,08	11,2	-18,7	-17,3	13,21

**TAULUKKO 4.** Fysiologiset muuttujat juoksumenetelmässä suorituksen ajalta sekä ennen ja jälkeen verryttelyä. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

	pH	pCO <sub>2</sub> (kPa)	pO <sub>2</sub> (kPa)	Na (mmol/L)	K (mmol/L)	Ca (mmol/L)	Ca(7,4) (mmol/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	BE <sub>ecf</sub> (mmol/L)	BE(B) (mmol/L)	La (mmol/L)
Lepo	7,43	5,6	11	140,8	4,4	1,17	1,18	27	3,2	2,8	1,11
Ver.	7,41	5,2	10,6	140,2	4,4	1,14	1,14	25	0,1	0,3	2,1
1.veto	7,26	4,7	10,7	143,3	5,5	1,21	1,15	16,9	-11	-10,1	8,46
Pal.	7,26	4,5	12,4	147,3	4	1,19	1,12	16,3	-12	-10,9	9,02
2.veto	7,2	4,2	11,3	146,3	5,5	1,23	1,13	13,6	-15,6	-14,4	11,3
Pal.	7,21	4	13,2	143,8	4	1,18	1,09	13,6	-15,9	-14,5	11,43
3.veto	7,13	3,9	12,9	144,3	3,7	1,2	1,07	10,8	-19,4	-14,7	14,13

### 6.3 Lepotiedot

Oheisessa taulukossa on esitetty ennen ensimmäistä mittauspäivää otetun pienen veren kuvan muuttujat. Hemoglobiiniarvo koehenkilöryhmällä oli  $152 \pm 8$  g/L ja hematokriittiarvo  $0,44 \pm 0,03$ . Valkosolujen määrässä (WBC), punasolujen tilavuuksia (MCV) ja hemoglobiinin määrää (MCH ja MCHC) kuvaavissa muuttujissa ei ollut suuria keskihajontoja. (taulukko 5.)

**TAULUKKO 5.** Taulukossa on pienessä verenkuvassa mitattujen muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat lepotilanteesta. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

Muuttuja	WBC	RBC	HGB	HCT	MCV	MCH	MCHC	PLT
Keskiarvo	6,8	5,0	152	0,44	88	30	345	246
Keskihajonta	1,4	0,4	8	0,03	4	2	13	52

### 6.4 Vertailua sprintti- ja kestävyyspainotteisilla hiihtäjillä

Koehenkilöryhmää tarkemmin tarkasteltuna laskettiin erilliset keskiarvot vielä sprinttimatkoja ja kestävyysmatkoja päämatkoinaan pitävälle hiihtäjille (taulukko 6 ja 7). Ryhmät ovat hapenottokyvyltään yhtä kovat. Sprintterit (n=4)  $VO_{2max}$ : 77,8 ml/kg/min ja distanssihiihtäjät (n=6)  $VO_{2max}$ : 77,8 ml/kg/min. Pyörämenetelmässä ryhmien välillä eroja ei ollut varianssianalyysillä tarkasteltuna aikojen suhteen  $p=0,955$ , paitsi laktaattikäyrän suhteen  $p=0,04$ . Myös veren pH-käyrästä saatiin ryhmien välille merkitsevä ero  $p=0,031$ . Nämä merkitsevyydet saatiin siis varianssianalyysillä koko käyriä tarkastelemalla. Tarkemmin vielä t-testillä suorituksen jälkeisiä arvoja tarkasteltuna saatiin tilastolliseksi eroksi laktaatissa  $p=0,02$  ja pH:ssa  $p=0,01$ , mitkä kuvaavat vielä vahvempaa merkitsevyyttä ryhmien eroista. Sykekäyrissä maksimisykkeitä ja palautussykkeitä tarkastelemalla ero on suuntaa antava  $p=0,08$ , niin päin, että kestävyyspainotteisella ryhmällä on sykkeet matalampana niin rasituksessa kuin aktiivisessa palautuksessa (taulukko 6.).

**TAULUKKO 6.** Taulukossa on verrattu sprintteri (n=4) ja distanssihiittäjien (n=6) kilpailun maksimisykettä sekä kisan aikaisista palautuspätkistä sykettä eri menetelmillä. (keskiarvo ± keskihajonta)

<u>Pyörämenetelmä</u>			
	Sprintterit	Distanssihiittäjät	Erotus
Syke 1.palautus	141 ± 10	135 ± 6	+ 6
Syke 2.palautus	150 ± 11	139 ± 5	+ 11
Maksimisyke	196 ± 6	187 ± 9	+ 9
<u>Juoksumenetelmä</u>			
	Sprintterit	Distanssihiittäjät	
Syke 1.palautus	132 ± 11	127 ± 4	+ 5
Syke 2.palautus	133 ± 5	129 ± 9	+ 4
Maksimisyke	194 ± 6	187 ± 8	+ 7

**TAULUKKO 7.** Taulukossa on vertailtu neljää eri ryhmää. Sekä sprintti- että distanssihiittäjiä sekä pyörä- että juoksumenetelmällä. (keskiarvo ± keskihajonta)

Muuttuja/menetelmä	Pyörämenetelmä	Juoksumenetelmä	Erotus
<b>RYHMÄ</b>	<u>Sprintterit</u>	<u>Sprintterit</u>	
Kokonaisaika (s)	489 ± 26	493 ± 32	- 4
3.veto (s)	163,3 ± 12,1	167,3 ± 16,4	- 4,0
Kiri (s)	32,2 ± 2,1	34,5 ± 2,4	- 2,3
La 2.veto (mmol/l)	12,4 ± 2,6	12,6 ± 2,6	- 0,2
La 3.veto (mmol/l)	15,3 ± 2,1	16,9 ± 2,9	-1,6
pH 3.veto	7,09 ± 0,05	7,07 ± 0,07	+0,02
<b>RYHMÄ</b>	<u>Distanssihiittäjät</u>	<u>Distanssihiittäjät</u>	
Kokonaisaika (s)	490 ± 40,0	494 ± 33	- 4
3.veto (s)	163,8 ± 16,1	167,5 ± 13,9	- 3,7
Kiri (s)	32,8 ± 3,7	33,7 ± 3,1	- 0,9
La 2.veto (mmol/l)	10,7 ± 1,2	10,4 ± 1,8	+ 0,3
La 3.veto (mmol/l)	11,9 ± 2,5	11,4 ± 2,1	+ 0,5
pH 3.veto	7,18 ± 0,03	7,17 ± 0,04	+ 0,01



## 6.5 Vertailua testin nopeampien ja hitaampien ryhmien välillä

Vertailuja tehtäessä jaettiin ryhmä vielä nopeisiin (n=5) ja hitaisiin (n=5), koska kaikki kymmenen koehenkilöä olivat talvella kovassa kunnossa. Keväällä näyttää, että vain osalla vire oli hyvä, ja on tärkeämpää tutkia, miten menetelmien ero vaikuttaa hyvässä vireessä olevaan urheilijaan. Taulukossa 8 on esitetty testin nopeampien ja hitaampien ryhmän profiiliero.

**TAULUKKO 8.** Taulukossa on esitetty tuloksia viiden nopeimman ja viiden hitaamman hiihtäjän ryhmissä. (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta)

Ominaisuus/ryhmä	Nopeimmat (n=5)	Hitaammat (n=5)
Ikä (v)	25 $\pm$ 2	24 $\pm$ 1
Hb (g/l)	149 $\pm$ 9	155 $\pm$ 7
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	81 $\pm$ 4	75 $\pm$ 4
Pituus (cm)	184 $\pm$ 4	184 $\pm$ 5
Paino (kg)	80 $\pm$ 4	77 $\pm$ 5
Rasvaprosentti (%)	10 $\pm$ 3	9 $\pm$ 2

Vertailussa nopeimpien ryhmä oli pyörämenetelmällä keskimäärin 6,4 sekuntia nopeampia kokonaissuorituksessa (p=0,218). Tästä suurin osa tuli tärkeimmässä kolmannessa vedossa 4,4 sekuntia (69 % kokosuorituksen parannuksesta). Kirivaiheessa viimeisellä 400 m:llä pyöräryhmä oli 2,4 sekuntia nopeampi, josta suurin osa 1,8 sekuntia (75 %) tuli viimeisellä 200 m:llä. Palautuksen aikaiset sykkeet olivat noin kuusi pykälää korkeammat jatkuvasta pyöräilystä verrattuna juoksumenetelmään (p=0,259 ja p=0,395). Laktaattikäyrät kulkivat hyvin samankaltaisesti, mutta viimeisen vedon jälkeen laktaatti oli pyörämenetelmällä 0,6 mmol/l pienempi (p=0,630), mutta ero ei ole tilastollisesti merkitsevä. Varianssianalyysillä tutkittuna koko laktaattikäyrän suhteen palautusmenetelmällä ei ole merkitystä (p=0,653). Edellä mainituista nopeimpien hiihtäjien ryhmän eroista, merkitseviä oli viimeinen osuus (p=0,049), viimeinen 400 m (p=0,004) ja viimeinen 200 m (p=0,009).

Sen sijaan heikossa vireessä oleva (selvästi jäljessä talven tasoaan) hitaiden ryhmä ei parantanut kokonaisaikaa kuin 0,2 sekuntia, mutta tälläkin ryhmällä viimeisen vedon

aika oli pyörämenetelmällä kolme sekuntia nopeampi, tästä erosta noin puolet tuli kivi-  
vaiheessa. Tämän ryhmän aikojen muutokset eivät kuitenkaan olleet merkitseviä  
( $p=0,189 - 0,972$ ). Sen sijaan palautuksen aikaisissa sykkeissä oli suurempi ero (yli  
kymmenen pykälää) menetelmien välillä, ja nämä erot olivat merkitseviä ( $p=0,063$  ja  
 $p=0,014$ ). Kisan aikaisissa maksimisykkeissä ei kummallakaan ryhmällä ollut eroja kes-  
kiarvoissa menetelmien välillä.

Nopeimpien ryhmää tarkasteltuna varianssianalyysillä ei saatu palautusmenetelmien  
välille eroa bikarbonaatin suhteen  $p=0,638$ . Koko pH-käyrän suhteen palautusmenetel-  
mällä ei ole merkitystä ( $p=0,953$ ). Myös hapen osapaineessa ei ole eroa palautusmene-  
telmien suhteen ( $p=0,340$ ).

Ryhmiä keskenään verraten pyörämenetelmässä, syntyy tietenkin aikoihin vahva tilas-  
tollinen merkitsevyys, niin että nopeat ovat selvästi nopeampia ( $p=0,001$ ). Sen sijaan  
laktaatti- ( $p=0,649$ ), pH- ( $p=0,184$ ) ja syke- ( $p=0,490$ ) käyrissä ei ollut ryhmien välillä  
eroja.

## 7 POHDINTA

Sprintti- ja sprinttaviestikilpailuissa miehillä matkat ovat samat, yksi osuus ja yksi erä on 1000 - 1800 m. Simuloiduissa sprinttitutkimuksissa on käytetty seuraavia matkoja Vesterinen ym. (2009) 850m, Zory ym. (2006) 1200 m ja Stöggli ym. (2007) 1350m. Vesterisen tutkimus on myös suoritettu hitaalla Novotan -alustalla, jossa sprinttisuoritukseen ei tule palauttavia laskuja. Vesterinen ym. (2009) toteavat, että ratana tämä suosii korkeaa aerobista kapasiteettia omaavia hiihtäjiä enemmän kuin anaerobista tehoa ja nopeuskykyjä omaavia urheilijoita. Matka 1000 m vaikuttaa nykysuuntauksessa hyvälle muutokselle Vesterisen tutkimusasetelmaan, sillä useimmissa MC-kilpailuissa (2011) jo radat olivat yli 1,5 km. Lisäksi hidasta alustaa voi vaikuttaa myös väsymykseen muodostumiseen sekä fysiologisiin tuloksiin tutkimuksessa.

Laktaattikäyriä tarkastelemalla voidaan todeta laktaatissa kisan aikana ainoa selvä eron viimeisessä vedossa. Tästä voisi ehkä virheellisestikin todeta, että juoksumenetelmällä saatiin paremmin irti anaerobisesta kapasiteetista. Mutta täytyy ottaa huomioon, että juuri kolmannessa vedossa juoksumenetelmällä hyydytään verrattuna pyörämenetelmään. Tärkeintä näyttää olevan se, että pyörämenetelmällä aerobinen puoli pystytään pitämään paremmin toiminnassa palautuksen aikana, ja kumminkin mitatut näytteet aineenvaihdunnan ”hitauden” takia verestä mitattuna kertovat ”vanhaa tietoa”. Niin todellisuudessa viimeiseen vetoon lähtiessä laktaatit ovat laskeneet enemmän, ja elimistön pH noussut enemmän, mitä luvuissa vielä näkyy. Tämän takia hiihdetään viimeinen veto pyörämenetelmällä kovempaa, ja viimeisen vedon jälkeen laktaatti jää matalammalle ja pH korkeammalle, vaikka aika on nopeampi.

Edellinen johtopäätös on todennäköinen, sillä juoksumenetelmän hyytymisen lisäksi juuri pH ja bikarbonaattipitoisuudet laskevat matalammalle sekä laktaattiarvo nousee korkeammalle. Kolme edellä mainittua muuttujaa kulkevat lähekkäin tutkimuksen aikana, ja selvimmälle ero näyttää laktaatin osalta viimeisen vedon jälkeen. Myös juuri bikarbonaattipitoisuus ja pH, jotka laskevat suorituksen edetessä kaikilla, laskevat matalammalle viimeisen vedon jälkeen kuin juoksumenetelmällä. Hapen osapaineen muutoksista ei pysty tekemään johtopäätöstä menetelmien välille.

Sprintti- ja distanssiryhmät ovat lähtötasoltaan hapenotollisesti yhtä korkealla tasolla. Hieman erilainen harjoitustausta näkyy kuitenkin siinä, että suoritus rakennetaan eri ominaisuuksista. Sprinttiryhmällä anaerobisen irtioton merkitys korostuu enemmän, suorituksen jälkeen laktaatit ovat korkeammat ja pH:t matalammat. Sprinttiryhmä tekee viimeisen vedon aikaparannuksen pyörämenetelmällä lähinnä kirivaiheessa, kun distanssiryhmä tekee pyörästä saadun parannuksen viimeisessä vedossa tasaisesti matkan aikana. Eli molemmat ryhmät hyötyvät pyörämenetelmästä eniten omilla vahvuusalueillaan. Kuten Mikkolan (2008) tutkimuksessa, niin myös tässä tutkimuksessa eri ominaisuuksilla on mahdollista päästä juuri samaan lopputulokseen.

Kuitenkin sprinttiryhmäkin kilpailee normaalimatkoilla, ja sitä kautta harjoittelun päälinja on kestävyys kauden kautta. Hiihdon sprinttisuorituksessa verrattuna juoksun 400 m kilpailuun korostuu aerobinen puoli, vaikka hyytyminen tapahtuu samantapaisesti. Tässä simuloitussa sprinttaviestissä hidas alusta ja tasainen rataprofiili nostivat aerobisen puolen merkitystä edelleenkin, jolloin pH laski vain noin 7,1:een. 400 m juoksun erikoismiehillä pH laskee kisasuorituksessa noin 6,8 - 6,9:een (Mero 2010). Voi olla, että nopeammat ajat tuottaneessa pyörämenetelmässä viimeisen vedon energiantuotossakin on pystytty paremmin hyödyntämään aerobista kapasiteettia, sillä aerobista energiantuottoa on pidetty paremmin yllä palautuksen aikana. Sen sijaan anaerobisen glykolyysin merkityskään ei varmasti ole laskenut pyörämenetelmässä, sillä aktiivisemmalla palautuksella viimeisen vedon lähtötilanteeseen todennäköisesti lihasten todellista happamuutta on pystytty laskemaan, ja sitä kautta lopun hieman matalammat arvot johtuvat lähtötilanteen erosta, eikä huonommasta anaerobisen kapasiteetin hyödyntämisestä.

Yksi koehenkilöistä suoritti testistön jatkeeksi myös rinnakkaismittauksen juoksun 400 m kisasuoritukseen, tällä koehenkilöllä menestys on ollut parempaa sprinttihiihdossa. Simuloituissa sprinttaviestissä veren pH laski hänellä viimeisen vedon jälkeen 7,09:een ja 400 m juoksun kisasuorituksessa 7,12:een. Tämä edelleen kuvastaa päätelmää, mistä sprinttaviestin aikainen väsyminen ja vauhdin hiipuminen johtuu, todellakin kestävyysurheilustaustaiselle kovasta happamuudesta. Anaerobinen kapasiteetti ei kestävyysurheilijoilla ole yhtä kova kuin täysin anaerobiseen harjoitteluun keskittyvien lajien urheilijoilla. Sitä kautta jo tämä happamuus tuntuu kestävyystaustaisella urheilijalla erit-

täin kovalta happamuudelta. Sekä osoittaa, että sprinttaviestissä omassa lajimuodossaan pääsee jopa kovempaan happamuuteen, kuin perinteisesti erittäin anaerobisena lajina pidetyssä 400 m:n juoksussa.

Tutkimuksessa esille tulleet pH-arvot olivat kapillaariverestä mitattuja. Lopullisessa lihastoiminnassa kovassa happamuudessa juuri lihasten laskenut pH -pitoisuus (korkea vetyionipitoisuus eli voimakas happamuus) on tärkeimmässä roolissa, koska lihasten entsyymitoiminta ja voimantuotto heikkenevät vetyionien vaikutuksesta. Kuitenkin verinäytteistä päästään arvioimaan luotettavasti lihasten pH -pitoisuutta. Lihassolun normaali pH on noin 7,00, kun veressä normaaliarvo on noin 7,40. (Hermansen ja Osnes 1972, Mero 2010)

Erien maksimisykkeissä ja suorituksen jälkeisessä palautussykkeessä ei ollut eroa. Pyörämenetelmässä sykkeet pysyivät palautuksen aikana korkeammalla, ja sen takia vedon alkupuolella sykkeet nousivat hieman nopeammin. Tällä ei kuitenkaan näytä olevan vaikutusta suoritukseen. Hyytyminen sprinttaviestin kaltaisessa suorituksessa tapahtuu happamuuden nousun, ei sykkeen muutoksen takia.

Palautuksen aikana laktaateissa ja pH:ssa ei tapahtunut juuri muutoksia, mutta mikä osaltaan johtuu aineenvaihdunnan ”hitaudesta”. Parhaalla mahdollisellakaan palautustoiminnalla ei välttämättä saada tuloksia näkymään näin lyhyen välin mittauksissa. Syke laskee palautuksen aikana hyvin. Syke laskee paremmin juoksupalautusta käyttäneellä ryhmällä kuin pyöräryhmällä, tämä ero oli tilastollisesti merkitsevä. Voi olla jopa, että sykkeen päästäminen lyhyen palautusjakson aikana liian matalalle vaikeuttaa uuden vedon alkua.

Aiemmissä tutkimuksissa on huomattu eroja laktaattiarvojen muuttumisessa intervallikuormituksen aikana eli siinä, saavuttavatko laktaattiarvot huipun ensimmäisessä vedossa vai kasvaako laktaattipitoisuus vetomäärien lisääntyessä. Kuormitustyyppin lisäksi etenkin palautuksen kesto vaikuttaa tuloksiin. Tässä tutkimuksessa haettiin parasta kokonaissuoritusta, joten tehoa pyrittiin vielä nostamaan ensimmäisen vedon jälkeen. Ajat pysyivät suurin piirtein samoissa, mutta laktaatit nousivat selvästi kuormituksen edetessä.

Menziesin ym. (2010) tutkimuksessa 90 %:n teholla maksimaalisesta hapenotto kyvystä suoritettu kuormituksesta parhaimpana aktiivisen palautuksen tehona olisi 80 - 100 % anaerobisesta kynnyksestä. Voi olla, että sprinttiviesti suoritettuna submaksimaalisella aloituksella tuottaa parhaimman tuloksen, ja siinä tilanteessa myös aktiivinen palautus voi olla auttamassa enemmän. Käytetty palautusteho haettiin lähemmäksi 80 % aerobisesta kynnyksestä kuormituksen tapahtuessa eri lajia hyödyntäen.

Zory ym. (2009) totesivat simuloitussa sprinttihilidossa uupumuksen vertailemalla eri en alun ja lopun aikoja, joihin muodostui selvä ero. Tämän lisäksi uupumuksessa hiihtosyklin nopeus hidastui, ja työntö- sekä palautusvaiheiden ajat heikkenivät. (Zory ym. 2009.) Myös tässä tutkimuksessa 1000 metrin vetopätkissä nähtiin kierrosaikojen osalta hiipuva sarja etenkin tutkimuksen hitaampien ryhmässä.

Oppimisen vaikutus pyrittiin tutkimuksessa minimoimaan satunnaistamalla suoritusjärjestys sekä varaamalla ensimmäisellä kerralla radalla hiihtämiseen ennen testisuoritusta riittävästi verryttelyaika. Siltikin varmasti osa hyötyi oppimisesta enemmän kuin toiset. Kuitenkin pyörämenetelmä oli samaan tapaan nopeampi kokonaisajassa ja viimeisessä vedossa, vaikka tarkastelusta jätettäisiin pois suurimmat parantajat suuntaan ja toiseen.

Pyöräilyn lisääminen kisakaudella huoltavaan harjoitteluun voi auttaa tämän menetelmän hyötyihin. Jos pyöräily kuormituksena on outoa, niin se ei todennäköisesti sovi lihakselle kisatilanteessa. Riittävä pyöräilyharjoittelu taustalla voisi olla edellytys pyöräilystä palautusmenetelmänä saatuun hyötyyn. Ruotsalaishuippuhihtäjillä pyörää käytetään sprinttiviestin lisäksi myös sprinttikisojen aikaisessa palautumisessa sen nopeuttamiseen. Myös Tour De Skin kaltaisilla rankoilla kisakiertueilla kuntopyörät on mukana ja sitä käytetään palauttavana harjoittelumuotona.

Koehenkilöistä suurimman parannuksen pyörämenetelmälle tehnyt, samalla toiseksi nopeimman ajan hiihtänyt, pystyi hyödyntämään paremmin aerobista kapasiteettia, koska sitä pidettiin paremmin yllä palautuksen aikana. Anaerobisen merkityksen osuus ei korostunut parantuneessa suorituksessa, vaan juuri muiden energialähteiden merkitys. Eni-

ten menetelmästä ajallisesti hyötynen koehenkilön tulokset ovat linjassa tutkimuksen päätuloksien suunnassa.

Jatkotutkimukselle olisi tarvetta etenkin hitaiden ja nopeiden ryhmien vertailun kautta syntyneeseen kysymykseen. Oliko hitaiden ryhmälle palautuksessa käytetty pyöräilyteho liian suuri, vai onnistuiko nopeiden ryhmä paremmin aktiivisessa palautuksessa myös juoksumenetelmällä, jonka takia nopeiden ryhmässä syke-erot menetelmien välillä eivät nousseet merkitseviksi.

Johtopäätöksenä tutkimuksesta voidaan todeta, että sprinttaviestissä tarvitaan palautusjaksolle erittäin aktiivista toimintaa. Aerobisen liikunnan merkitys lyhyenä palautusajana ja sitä kautta suurten lihasryhmien laktaatin poisto sekä happamuuden puskurointi ovat keskeisessä asemassa suorituksessa. Aktiivisella palautuksen aikaisella toiminnalla pystytään varmistamaan viimeiseen vetoonkin hyvä lähtökohta ja mahdollisuus kirimiin. Usein varikkojen ahtaus ja pehmeä hanki tekevät juoksupalautuksen suorittamisen hankalaksi, joten kuntopyörä voi olla paras väline ”varikolle”. Tämän tutkimuksen mukaan pyöräily sopii palautukseen hyvin. Toteutetussa pyöräilyssä sykkeet pidettiin korkeammalla kuin normaalisti käytössä olleilla palautusmenetelmillä. Tämän aktiivisemmän palautuksen kautta viimeisessä vedossa aerobista puolta pystyttiin hyödyntämään paremmin, ja näin päästiin tilastollisesti merkitsevästi parempiin tuloksiin.

## 8 LÄHTEET

- Ansley, L., Schabort, E., St Clair Gibson, A., Lambert, M. I., ja Noakes T.D. 2004. Regulation of Pacing Strategies during Successive 4-km Time Trials. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004, 36, 1819-1825.
- Bilodeau, B., Roy, B. ja Boulay M. R. 1995. Upper-body testing of cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1995, 27, 1557-1562.
- Duffield, R., Dawson, B. ja Goodman, C. 2005a. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences*. 2005, 23, 299-307.
- Duffield, R., Dawson, B. ja Goodman, C. 2005b. Energy system contribution to 1500- and 3000-metre track running. *Journal of Sports Sciences*. 2005, 23, 993-1002.
- FIS. 2009. FIS Cross-Country homologation manual. 5<sup>th</sup> edition May 2009.
- FIS. 2011a. FIS Results.
- FIS. 2011b. FIS Sprint Diagram for 30 Athletes.
- Gastin, P. B. 2001. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine*. 2001, 31, 725-741.
- Hermansen, L. & Osnes, J-B. 1972. Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *Journal of Applied Physiology*. 1972, 32, 304-308.
- Hill, D. 1999. Energy system contributions in middle-distance running events. *Journal of Sports Sciences*. 1999, 17, 477-483.
- Hoff, J., Gran, A. ja Helgerud, J. 2002. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2002, 12, 288-295.
- Holmberg H-C., Lindinger S., Stoggl T., Eitzlmair E. ja Mueller E. 2005. Biomechanical Analysis of Double Poling in Elite Cross-Country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2005, 37, 807-818.
- Kindermann, W. & Keul, J. 1977. Lactate acidosis with different forms of sports activities. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 1977, 2, 177-182.
- Kuzty, G. 2008. Intensity training. *Cross Country Skier*. 2008, 28, 52.
- Larsson, P., Olofsson, P., Jakobsson, E., Burlin, L. ja Henriksson-Larsén, K. 2002. Physiological predictors of performance in cross-country skiing from treadmill



- tests in male and female subjects. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2002, 12, 347-353.
- Leddy, J. L., Fisher, N. M., ja Pendergast, D. R. 2004. Metabolic responses to multiple bouts of supra-maximal exercise in trained and untrained subjects. *International SportMed Journal*, 2004, 5, 155-166.
- Mahood, N.V., Kenefick, R. W., Kertzer, R. ja Quinn, T.J. 2001. Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2001, 33, 1379-1384.
- McArdle W. D., Katch, F. I. ja Katch V. L. 2010. *Exercise Physiology Energy, Nutrition, and Human Performance*. 163-164. Lippincott Williams & Wilkins. Baltimore.
- Menzies, P., Menzies, C., McIntyre, L., Paterson, P., Wilson J. ja Kemi O. J. 2010. Blood lactate clearance during active recovery after an intense running bout depends on the intensity of the active recovery. *Journal of Sports Sciences*. 2010, 28, 975-982.
- Mero, A., Peltola, E. ja Saarela, J. 1987. Nopeus- ja nopeuskestävyysharjoittelu. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.
- Mero, A. 2010. 400 m:n harjoittelun perusteet ja nykytila. *Huippu-urheilu -uutiset*, 3, 22-25.
- Mikkola, J. 2008. Hiihdon lajiansalyysi. KIHU.
- Nummela, A., Ekblom, T., Finni, J., Jouste, P., Kemppainen, J., Mikkola, J. ja Vääntinen S. 2008. Intervalliharjoittelun kuormitusseuranta. *Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHUn julkaisusarja*. 2008, 13, 1-32.
- 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.
- Rundell, K. W. 1996. Differences between treadmill running and treadmill roller skiing. *Journal of Strength & Conditioning Research*. 1996, 10, 167-172.
- Rusko H. 1987. The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. *Journal of Sports Science and Medicine*. 1987, 5, 273-286.
- Rusko, H. 2003. *Cross-country skiing*. 1-31. Blackwell Science, Ltd. Oxford, UK.

- Stöggl, T., Enqvist, J., Müller, E. ja Holmberg H-C. 2010. Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*. 2010, 28, 161-169.
- Stöggl, T., Lindinger, S. ja Müller, E. 2006. Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2007, 17, 362-372.
- Toubekis, A. G., Smilios, I., Bogdanis, G. C., Mavridis, G. ja Tokmakidis S. P. 2005. Effect of different intensities of active recovery on sprint swimming performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2006, 31, 709-716.
- Vesterinen, V., Mikkola, J., Nummela, A., Hynynen, E. ja Häkkinen, K. 2009. Fatigue in a simulated cross-country skiing sprint competition. *Journal of Sports Sciences*. 2009, 27, 1069-1077.
- Zory, R., Millet, G., Schena, F., Bortolan, L. ja Rouard, A. 2006. Fatigue induced by a cross-country skiing KO sprint. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2006, 38, 2144-2150.
- Zory, R., Vuillerme, N., Pellegrini, B., Schena, F. ja Rouard, A. 2009. Effect of fatigue on double pole kinematics in sprint cross-country skiing. *Human Movement Science*. 2009, 28, 85-98.