

**TASATYÖNNÖN BIOMEKANIIKAN VERTAILU LUMELLA
HIIHDON JA TASATYÖNTÖERGOMETRIN VÄLILLÄ:
YLÄVARTALON AEROBISEN KAPASITEETIN TESTIN KE-
HITTÄMINEN**

Juho Halonen

Valmennus- ja testausoppi

Pro Gradu työ

VTES008

Kevät 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat: Vesa Linnamo

Olli Ohtonen

TIIVISTELMÄ

Halonen Juho 2013. Tasatyönnön biomekaniikan vertailu lumella hiihdon ja tasatyöntöergometrin välillä: ylävartalon aerobisen kapasiteetin testin kehittäminen. Valmennus- ja testausoppi, Pro Gradu työ, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 79 s.

Tasatyöntöaiheisia tutkimuksia maastohiihdosta löytyy paljon (Holmberg ym. 2005, Lindinger ym. 2009), mutta käytössä olevia ylävartalon aerobisen kapasiteetin testejä ei ole. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli vertailla lumella tehtävää tasatyöntösuoritusta ergometrillä suoritettavaan tasatyöntöön. Lisäksi selvitettiin kehitetyn ergometrillä suoritettavan ylävartalon aerobisen testin toimivuutta. Tutkimuksessa verrattiin voima-
muuttujia, syklin rakennetta, lihasaktiivisuuksia sekä fysiologisia muuttujia lumella hiihdon ja ergometrillä suoritettavan tasatyönnön välillä.

Tutkimuksen koehenkilöt (n = 10) olivat kansallisen tai kansainvälisen tason hiihtäjiä, jotka osallistuivat mittauksiin kahtena päivänä (hiihtotesti ja ergometritesti) kolmen viikon välein. Molemmat päivät sisälsivät lyhyitä submaksimaalisia ja maksimaalisia suorituksia sekä kestävyystestin ergometrillä (Concept 2 Skiergo) tai 6 km:n kilpailusuorituksen tasatyöntöä hiihtämällä. Hiihtosuorituksessa käytettiin normaaleja sauvoja, joihin molempiin oli asennettu voiman mittaustaite (Velomat, Saksa). Lisäksi lihasaktiivisuudet mitattiin ylä- ja alavartalosta kahdeksasta eri lihasryhmästä EMG-puvulla (Myontec, Suomi).

Maksimaalisia nopeuksia vertailtaessa yhteen sykliin käytetty aika oli ergometrillä 17,1 % pidempi (P<0.05). Suurimmaksi osaksi tämä ero johtui 26,8 % pidemmästä työntöajasta (P<0.01). Syklin pituus oli ergometrillä 11,6 % lyhyempi (P<0.05). Maksiminopeudella ero voimantuotossa ergometrin ja hiihdon välillä oli pelkästään impulssivoimassa, ja siinä ergometrillä tuotettiin 28,5 % enemmän voimaa (P<0.05). Lihasaktiivisuudet olivat ergometrillä pääosin pienempiä, mutta aktivoitumisjärjestys, väsyminen ja aktiivisuuksien kestot olivat hyvin lähellä toisiaan.

Tutkimuksen päälöydöksiä olivat, että 1) ergometrillä absoluuttiset työntöajat ovat pitempiä vastaavissa nopeuksissa kuin lumella hiihdettäessä, ja 2) ergometrillä vartalon lihasten parempi hyödyntäminen oli yhteydessä suurempiin maksiminopeuksiin.

Testissä käytössä ollut ergometrin kuormitusmalli todettiin käyttökelpoiseksi, mutta pieniä tarkennuksia muokattiin testin kokonaisuuteen. Ergometritestin hyvää soveltuvuutta lajiharjoitteluun osoittavat sekä lihasaktiivisuudet että testin väsytysvaikutus. Syklin rakenteessa, voimantuotoissa kuin lihasaktiivisuuksissa voidaan todeta nousevatehoisen ergometritestin aiheuttaneen hyvin samankaltaisen väsymyksen kuin tasatyöntökilpailun.

Avainsanat: maastohiihto, tasatyöntö, ergometri, tasatyönnön biomekaniikka, hiihdon ylävartaloharjoittelu, ylävartalon aerobinen kapasiteetti.

ABSTRACT

Halonen, Juho 2013. Biomechanical analysis of double poling on snow and in ergometer: Developing a new test protocol for testing upper body aerobic capacity. Master's Thesis in Science of Sports Coaching and Fitness Testing. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä. 79 pp.

Many studies exist about double poling in cross country skiing (Holmberg et. al. 2005, Lindinger et. al. 2009), but there is no upper body aerobic capacity test. The main idea of the current study was to compare double poling on snow with double poling using an ergometer. In addition, the usability of an experimentally developed upper body ergometer test was analyzed. Comparisons are made between power variables, muscle activities and physiological variables.

The subjects of the study were ten elite (national or international level) cross country skiers and all subjects took part in two measuring days (skiing measurements and ergometer measurements). The time between measurements was three weeks. Both days included short submaximal and maximal performances either done skiing on snow or with ergometer. The measurements also included either an endurance test done with an ergometer or a 6 km double poling competition in ski tunnel. Concept 2 Skiergo with force sensors (University of Jyväskylä, Finland) was used in the ergometer test. Normal poles with constructed force measurement systems (Velomat, Germany) were used during skiing. Muscle activities from upper and lower body were measured by an EMG shirt and tights. (Myontec, Finland).

When comparing maximal speeds between the ergometer and skiing, the cycle time was 17.1 % longer in ergometer ($p < 0.05$) and 26.8 % longer poling time explained this difference ($p < 0.01$). Cycle length was 11,6 % lower in the ergometer ($p < 0.05$). There was a significant difference only in impulse force between the ergometer and skiing when using maximal speeds. The impulse force was 28.5 % higher in the ergometer ($p < 0.05$). Muscle activities were lower with the ergometer, but muscle activation order, fatigue and muscle activation durations were quite similar.

The main findings of the current study were that 1) the poling times measured as its absolute values were longer in all speeds in the ergometer than in skiing on snow and 2) better using of torso muscles was in relation with higher maximal speeds when using the ergometer.

Based on the results the upper body capacity test used in the present study can be regarded suitable, but small changes were considered in the test. The quite similar muscle activities and fatigue loading between the ergometer and skiing suggest that the ergometer is a good method for sports specific cross country ski training. When comparing cycle characteristics, force production and muscle activities it can be suggested that the ergometer test led to very similar fatigue as on snow during double poling competition.

Keywords: cross-country skiing, ergometer, biomechanics of double poling, upper body training in cross-country skiing, upper body aerobic capacity.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	5
2 VOIMAN JA LIHASAKTIIVISUUDEN MITTAUS MAASTOHIHDOS- SASSA.....	7
2.1 VOIMAN MITTAAMINEN MAASTOHIHDOS- SASSA	7
2.1.1 Suksesta mitattavat voimat	7
2.1.2 Sauvavoimat	8
2.2 LIHASAKTIIVISUUKSIEN MITTAAMINEN HIIHTO- SUORITUKSEN AJALTA.....	9
2.2.1 Pinta-elektrodit.....	9
2.2.2 EMG-puku	10
2.2.3 Lihasaktiivisuuden mittaaminen tasatyöntö- suorituksen aikana	11
2.2.4 Lihasaktiivisuusdatan analysointi	12
3 TASATYÖNTÖSUORITUKSEN FYSIOLOGIA	14
3.1 VO2PEAK TASATYÖNTÖSUORITUKSEN AIKANA	14
3.2 LAKTAATTITASOT JA SYKKEET TASATYÖNTÖSUORITUKSEN AIKANA.....	15
3.3 ERILAISET TASATYÖNTÖERGOMETRIT JA TASATYÖNTÖÄ SIMULOIVAT LAITTEET	16
4 TASATYÖNTÖSUORITUKSEN BIOMEKANIikka	17
4.1 SYKLIN PITUUDEN JA FREKVENSsin VAIKUTUS TASATYÖNTÖ- NOPEUTEEN	17
4.2 NIVELKULMAT TASATYÖNTÖSUORITUKSEN ERI VAIHEISSA	18
4.3 VOIMANTUOTTO TASATYÖNTÖSUORITUKSESSA	19
4.4 ERILAISET TASATYÖNTÖSTRATEGIAT	21
4.5 LIHASAKTIIVISUUDET TASATYÖNTÖSUORITUKSEN AIKANA.....	22
5 TASATYÖNTÖSUORITUKSEN YDINKOHDAT	24
6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	26
7 MENETELMÄT	27
7.1 KOEHENKILÖT	27
7.2 MITTAUSPROTOKOLLA	27
7.2.1 Mittaukset hiihtotunnelissa.....	27
7.2.2 Mittaukset ergometrillä	28
7.2.3 Voimatestit.....	29
7.3 MITTAUSMENETELMÄT	30
7.3.1 Voima.....	30
7.3.2 EMG-mittaukset.....	31
7.3.3 Nopeusmittaus	32
7.4 MUUTTUJAT.....	32
7.4.1 Syklimuuttujat.....	32
7.4.2 Voimamuuttujat	34
7.4.3 EMG-muuttujat.....	34
7.4.4 Muut mitattavat muuttujat	34
7.5 DATAN KERÄYS JA ANALYSOINTI.....	35
7.6 TILASTOLLISET MUUTTUJAT	35

8 TULOKSET	36
8.1 MAKSIMINOPEUDET LUMELLA JA ERGOMETRILLÄ	36
8.2 TASATYÖNTÖSUORITUKSEN VERTAILU HIIHDON JA ERGOMETRIN VÄLILLÄ ENNEN KUORMITUSTA... 37	
8.2.1 Erot syklimuuttujissa	37
8.2.2 Erot voimamuuttujissa.....	39
8.2.3 Erot lihasaktiivisuuksissa	40
8.3 TASATYÖNTÖSUORITUKSEN VERTAILU HIIHDON JA ERGOMETRIN VÄLILLÄ KUORMITUKSEN JÄLKEEN	42
8.3.1 Erot syklimuuttujissa	42
8.3.2 Erot voimamuuttujissa.....	44
8.3.3 Erot lihasaktiivisuuksissa	44
8.4 VÄSYMYSPROSENTIT HIIHDOSSA JA ERGOMETRILLÄ	47
8.5 LIHASTEN AKTIVOITUMINEN JA KESTOT	48
8.5.1 Lihasten aktivoituminen tasatyöntösuorituksessa 6 m/s nopeudella.....	48
8.5.2 Lihasaktiivisuuksien kestot tasatyöntösuorituksessa 6 m/s nopeudella	49
8.6 FYSIOLOGISTEN MUUTTUIEN TULOKSET	50
8.7 KORRELAATIOT SUORITUKSEN LOPPUTULOSEEN	52
8.7.1 Korrelaatiot hiihdon maksiminopeuteen	52
8.7.2 Korrelaatiot ergometritestin lopputulokseen ja maksiminopeuteen	52
9 POHDINTA	54
9.1 MAKSIMINOPEUDET LUMELLA JA ERGOMETRILLÄ	54
9.2 TASATYÖNTÖSUORITUS HIIHTÄEN JA ERGOMETRILLÄ	56
9.2.1 Tasatyöntösuorituksen vertailu hiihdon ja ergometrin välillä syklin ja voimien osalta	58
9.2.2 Tasatyöntösuorituksen vertailu hiihdon ja ergometrin välillä lihasaktiivisuuksien osalta.....	60
9.3 TASATYÖNTÖSUORITUKSESSA VÄSYMINEEN	62
9.3.1 Väsymyksen vaikutukset tasatyönnön sykliin ja voimantuottoon.....	62
9.3.2 Väsymysprosentit hiihdossa ja ergometrillä.....	64
9.4 LIHASAKTIIVISUUKSIEN AJOITUKSET JA KESTOT.....	65
9.5 KUORMITUSMALLIN TOIMIVUUS JA ERGOMETRIHARJOITTELUN OHJEISTUS	67
9.6 KORRELAATIOT SUORITUKSEN LOPPUTULOSEEN	71
9.7 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	73
LÄHTEET	74
LIITTEET	79

1 JOHDANTO

Hiihto on muuttunut viime aikoina entistä enemmän ylävartalopainotteiseksi ja tämä on luonut tarpeen ylävartalon aerobisen kapasiteetin mittaamiselle. Jo pitkään hiihtäjät ovat paljon suorittaneet ylävartaloharjoittelua sisätiloissa käytettävillä hiihtoergometreilla, jotka simuloivat tasatyöntösuoritusta. Nyt tämän ergometriharjoittelun ohjeistukseen on syytä löytyä yleistä linjausta, jotta tasatyöntö siinä saadaan vastaamaan tarkemmin lumella tapahtuvaa tasatyöntöä. Myös ergometriharjoittelussa käytettäville tehoille olisi hyvä löytää vastaavuudet lumella hiihdettäviin nopeuksiin.

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia lumella tapahtuvan tasatyönnön ja ergometrillä suoritettavan tasatyöntöharjoittelun yhtäläisyydet ja eroavaisuudet. Lisäksi haluttiin luoda toimiva ergometrillä suoritettava testi ylävartalon aerobisen kapasiteetin mittaamiseen. Tavoitteena oli verrata testiä kilpahiihtosuoritukseen, jotta selviää, kuinka hyvin kehitetyn testin perusteella voidaan arvioida hiihtäjän tasatyöntökapasiteettia lumella. Testistä pyrittiin kehittämään fysiologisten vaatimusten lisäksi myös biomekaniikaltaan ja voimantuotoltaan lumella tapahtuvaa tasatyöntöä vastaava. Tässä apuna käytettiin EMG- ja voimadataa. Ergometrillä tapahtuva harjoittelu pyritään siis saamaan samanlaiseksi kuin lumella tehtävä tasatyöntöharjoittelu, jotta ominaisuudet kehittyisivät oikeaan suuntaan.

Tutkimuksessa ei pyritty luomaan kuormitusmalleja kaikille ryhmille, vaan testattiin huippumieshiihtäjille tarkoitetun kuormitusmallin toimivuutta. Kuormitusmallia ei ole vielä naisille ja nuorille eikä niitä ollut tarkoitus luoda tässä tutkimuksessa. Tutkimus keskittyi nimenomaan testin toimivuuteen ja tasatyönnön biomekaaniseen analyysiin. Tässä tutkimuksessa ei siis pyritty määrittämään teoreettisen työn arvoja eri kuormille, vaikka hapenottoa mitattiinkin kaikilta koehenkilöiltä.

2 VOIMAN JA LIHASAKTIIVISUUDEN MITTAUS MAASTO- HIIHDOS

2.1 Voiman mittaaminen maastohiihdossa

Iso osa tutkimuksista, joihin maastohiihdossa liittyy voimanmittausta, on tapahtunut hiihtäen rullasuksilla joko tartanalustalla sisäradalla tai juoksumatolla. Rullahiihdon ja hiihdon tekniset erot ovatkin hyvin pieniä. Rullahiihtomittauksiin on päädytty, koska on vaikea kontrolloida lumen lämpötilaa, ilman kosteutta sekä lumen koostumusta muualla kuin hiihtotunneliolosuhteissa. (Hoffman ym. 1995.)

Maastohiihdossa pyritään tuottamaan mahdollisimman suurta eteenpäin vievää voimaa yhdessä sauvojen ja suksien avulla. Jotta maastohiihtoa ymmärrettäisiin paremmin, on tärkeää pystyä mittaamaan ja erittelemään näitä voimia. Kummatkin voimat vaikuttavat eteenpäin menemiseen, mutta voimien toiminnallinen merkitys voi olla monimutkaisempi kuin juoksussa ja kävelyssä vaikuttavien reaktiovoimien. (Komi 1987).

2.1.1 Suksesta mitattavat voimat

Suksesta mitattavia reaktiovoimia on tutkittu kahdella eri menetelmällä. Kiinteässä paikassa sijaitsevilla ylihihdettävillä voimalevyillä (mm. Komi 1985, Vähäsöyrinki 1996 ja 2008, Mikkola ym. 2013) sekä suoraan suksen ja siteen välissä sijaitsevalla pienellä voimalevyllä (mm. Ekström 1981; Leppävuori 1989; Babel 2003). Tätä jälkimmäistä menetelmää Holmberg ym. (2005) käyttivät tutkimuksessa, jossa mitattiin suksesta vertikaalisuuntaiset pinnanvoimat, mitkä oli tallennettu Pedar mobile -järjestelmällä (100 Hz), ja data tallennettiin muistikortille. Pedar-järjestelmän avulla koko jalkapohjan alue oli jaettu puoliksi etuosaan (FF) sekä takaosaan (RF), jolloin pystyttiin tarkastelemaan voimia jalan eri osista syklin eri vaiheissa. Suoritetun kalibroinnin jälkeen virheen tarkistamiseksi oli vielä suoritettu 30 tasatyönnon simulointi AMTI voimalevyllä ja keskimääräiseksi virheeksi oli saatu 2,6 % järjestelmille. (Holmberg ym. 2005.)

2.1.2 Sauvavoimat

Sauvan reaktivoimia on tutkittu useammalla eri menetelmällä. Sauvavoimia voidaan mitata suoraan kahvan alta tai hihnasta (mm. Ekström 1981; Leppävuori 1989; Millet ym. 1999; Babel 2003; Stöggl ym. 2006a) sekä maassa sijaitsevilla voimalevyillä (mm. Komi 1985; Komi & Norman 1987; Vähäsöyrinki 1996; Nilsson ym. 2003; Vähäsöyrinki ym. 2008; Piirainen 2008). Ensimmäiset voimamittaukset hiihtosauvoista suoritti Ekström (1981). Ekström sijoitti hiihtosauvoihin kuusi venymäliuskaa, kolme akselin suuntaisesti ja kolme kohtisuorasti akselia vastaan, mittaamaan kiihdyttävää voimaa työnnössä ja toisaalta sauvan taipumista ja lämpötilaa (mittaustarkkuus $\pm 10\%$) (Ekström 1981).

Leppävuoren (1989) mittauksissa sauvoihin kiinnitettiin vastusvenymäliuska-anturit, jotka mittasivat sauvaan kohdistuvaa puristusta. Millet ym. (1998) mittasi tutkimukseensa sauvavoimia. Näissä mittauksissa kaikki koehenkilöt käyttivät alumiinisia hiihtosauvoja, joita sai erimittaisina. Sauvavoima kerättiin käyttämällä yksiakselistaa voimaanturia (paino 23 g), joka oli kiinnitetty 1 cm standardin kahvan alapuolelle. Piezoelektrisiä voima-antureita käytettiin, koska ne estävät hyvin cross-talk -efektiä taipumisen aikana. (Millet ym. 1998).

Babel (2003) mittasi myös sauvavoimia. Kaikkien kiihdyttävien voimien mittaamiseksi voima-anturit kiinnitettiin sauvoihin. Mm. Holmberg ym. (2005, 2006) sekä Stöggl ym. (2011) tekivät tasatyöntömittauksia ja mittasivat sauvavoimia. Kaikki osallistujat käyttivät hiilikuitusauvaa, jonka pituus oli säädettävissä. Sauvansuuntainen reaktivoima mitattiin venymäliuska-anturilla, joka painoi 60 g ja oli kiinnitetty kevyeen alumiinirunkoon (75 g). Nämä yhdessä olivat kiinnitetty suoraan kahvan alapuolelle. Sauvan hihnavoima tasatyönnön aikana mitattiin venymäliuska-anturilla, joka oli kiinnitetty hihnan yläosaan. Sauvavoimalaite oli kalibroitu käyttämällä erityistä kalibroitilaitetta, missä oli 10 erilaista standardia painoa (5-50 kg). Sen jälkeen suoritettiin 30 tasatyönnön simulointi AMTI voimalevyille (2000 Hz). Näiden järjestelmien virhe oli keskimäärin 3,8 %. (Holmberg ym. 2005.)

Lindingerin ym. (2009) mittauksissa kaikki koehenkilöt käyttivät teleskooppisesti säädettäviä hiilikuitu kilpasauvoja. Niistä oikeaan sauvaan oli asennettu 2000 Hz:llä toimiva voiman mittauslaite (vaihteluväli 0,5-50 kN, paino 15 g). Käytettäviä kilpasauvoja oli erimittaisia, ja niistä valittiin yksilöittäin sopivat. Laite oli kevytrakenteisessa alumiinirungossa (paino 65 g), joka sijoitettiin sauvan kädensijan alapuolelle. Laite oli kalibroitu käyttämällä kuormia 5-50 kg. Sauvasta saatavat arvot ovat aksiaalisia voimantuottoarvoja, siis sauvan suuntaisia voima-arvoja. Absoluuttiset ja suhteelliset sauva-voimat (PPF_{abs} ja PPF_{rel}), huippuvoiman aika (TPPF), absoluuttiset ja suhteelliset impulssit sauvavoimasta (IPF_{abs} ja IBF_{rel}) oli määritelty. Kaikki suhteelliset arvot oli suhteutettu kehon massaan (BW).

2.2 Lihasaktiivisuuksien mittaaminen hiihtosuorituksen ajalta

2.2.1 Pinta-elektrodit

Yleisimmin hiihtotutkimuksissa lihasaktiivisuutta mitataan pinta-elektrodeilla. Esimerkiksi Lindingerin ym. (2009) tutkimuksessa käytettiin bipolaarisia pinta-elektrodeja, joiden toinen pää oli AG (hopea) ja toinen AgCl (hopeakloridi). Nämä elektrodit olivat asetettu lihaksen pinnalle lihassolujen suuntaisesti kansainvälisen standardin mukaisesti (Hermens ym. 1999.). (Lindinger ym. 2009.)

Vesterisen ym. (2009) sprinttihiihdon väsymystutkimuksessa käytettiin EMG:n analysointia jokaiselta 200 metrin kierrokselta 30 metrin ajalta. EMG-signaali oli tallennettu neljästä lihasryhmästä: triceps brachii, latissimus dorsi, pectoralis major ja vastus lateralis. Nämä lihasryhmät oli valittu Holmbergin ym. (2005) mittausten perusteella lihasryhmiksi, joissa lihasaktiivisuus olisi korkeaa hiihtosuorituksen aikana. EMG:n mittaamisessa oli käytetty 2 cm:n levyisiä pinta-elektrodeja, jotka oli asetettu lihassolujen suuntaisesti. Elektrodien paikannus oli tapahtunut Hermensin ym. (1999) mukaan kuten Lindingerinkin ym. (2009) tutkimuksessa. EMG-signaalit oli kerätty talteen selässä sijainneeseen 0,7 kg painavaan Telemyonin tallennusjärjestelmään. (Vesterinen ym. 2009.)

Zory ym. (2011) mittasi EMG-signaalien tiheyttä sprinttihiihdon aikana. Näissä mittauksissa data filteröitiin Butterworthin kaistanpäästö filterillä alueen 35-350 Hz ulkopuolelta. (Zory ym. 2011.) Puolestaan Holmberg ym. (2005) käyttämä kaistanpäästö suodatin oli Butterworth menetelmällä 10-300 Hz. Myös Vähäsöyringin ym. (2008) mittauksissa käytettiin Butterworth filteröintiä, mutta se suoritettiin pelkästään matalataajuuksia filteröimällä, suodattimen ollessa 75 Hz kohdalla. Ensiksi mainitussa Zoryn ym. (2011) tutkimuksessa tulokseksi saatiin tasatyöntösyklin eri vaiheista eri lihasryhmien prosentuaalinen aktivoituminen. (Zory ym. 2011.)

Vähäsöyringin ym. (2008) mittauksissa mitattiin lihasaktiivisuudet erector spinae (ES), rectus abdominis (AB), vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF) ja medial gastrocnemius (MG) lihaksista oikealta puolelta. Tämä EMG-data oli tallennettu telemetrisellä TeleMyo2400T järjestelmällä. Myös Stöggli ym. (2009) käyttivät samaa TeleMyo-järjestelmää. Tietokoneelle siirrettävään muotoon tämä data muunnettiin AD-muuntimella. (Vähäsöyrinki ym. 2008.)

2.2.2 EMG-puku

Nykyisin pinta-elektrodien vaihtoehdoksi on noussut EMG-puku, joka mittaa lihasaktiivisuutta hieman laajemmalla alueella kerrallaan. Finnin ym. (2007) validointitutkimukset osoittavat hyvää luotettavuutta EMG-puvulla verrattuna perinteiseen pintaelektrodimentelmään. Sen sijaan Vähämetsän (2008) gradussa ei löydetty tilastollista yhteyttä näiden menetelmien välille hiihtosuorituksen aikana. Kuitenkin tutkimuksessa tuotiin esille Finnin ym. (2007) tulokset ja löydettiin myös epäkohtia oman tutkimuksen luotettavuudesta. Myontec on valmistanut esimerkiksi paidan sekä housut, joiden avulla voidaan mitata hartia- ja käsivarsilihasten sekä reisilihasten dynaamista sekä staattista kuormitusta lihasten sähköisen toiminnan eli elektromyografian (EMG) perusteella. Tekstiileihin sulautetut anturit mittaavat lihasten EMG:n sekä kuormituksen että palautumisen aikana. (Finni ym. 2007) EMG signaalia voidaan seurata reaaliaikaisesti ranne-tietokoneella tai kännykän avulla. Tulokset voidaan myös siirtää tietokoneelle jatkoanalyysyjä varten. (Myontec 2013.)

EMG-puvun etuina ovat sen helppokäyttöisyys ja käytännöllisyys kenttäolosuhteisiin (Vähämetsä 2008.) Myös toiminnallisen lihasryhmän aktiivisuuden ilmaiseminen yhtenä arvona yksinkertaistaa sopivasti koko vartalon lihaksiston tuottamaa liikettä. Tasatyöntötutkimuksessa on tärkeä saada mitattua lihasaktiivisuudet lihasryhmittäin seuraavista lihasryhmistä: vatsalihakset (rectus abdominis, obliquus abdominis), ojentajalihas (triceps brachii), leveä selkälihas (latissimus dorsi), rintalihas (pectoralis major, pectoralis minor), pakaralihakset (gluteus maximus, gluteus medius, gluteus minimus), etureidet (quadriceps femoris: rectus femoris, vastus medialis, vastus intermedius, vastus lateralis), takareidet (biceps femoris, semitendinosus, semimembranosus) ja pohkeet (soleus ja gastrocnemius). Käsivarsien osalta ojentajalihas on koukistajalihaksia tärkeämmässä asemassa hiihdossa ja etenkin tasatyönnössä jopa merkittävässä asemassa (Terzis ym. 2006).

EMG:stä tarkastellaan EMG-arvojen keskiarvoja aEMG. Lisäksi EMG:stä on syytä mitata ennen hiihtosuorituksia EMG:n maksimi-arvot, jotta voidaan tarkastella lihasaktiivisuuden suhteellisia arvoja, jotka kertovat selvästi enemmän tietoa hiihtosuorituksesta kuin pelkät absoluuttiset lihasaktiivisuusarvot. Yleisimmin EMG:n maksimi-arvot mitataan lihasryhmittäin isometrisenä maksimi-arvona (MVC). (Lindinger ym. 2009)

2.2.3 Lihasaktiivisuuden mittaaminen tasatyöntösuorituksen aikana

Lindinger ym. (2009) mittasivat lihasaktiivisuuksia triceps brachiista (caput longum), pectoralis majorista, latissimus dorsista ja teres majorista, joihin elektrodit oli asetettu lihassolun suuntaisesti lihaksen pinnalle. Holmbergin ym. (2005) mittauksissa puolestaan elektrodeja oli asetettu seuraaviin lihaksiin: pectoralis major (PMa), latissimus dorsi (LD), teres major (TMa), rectus abdominis (RA), obliquus externus abdominis (OBLe), erector spinae (ES-L4), triceps brachii (caput longum) (TRI), biceps brachii (BIC), flexor carpi ulnaris (FCU), gluteus maximus (GMa), tensor fasciae latae (TFL), rectus femoris (RF), vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), biceps femoris (caput longum) (BF), gastrocnemius (caput laterale) (GAS), soleus (SOL), tibialis anterior (TA) ja peroneus longus (PL). Lisäksi elektrodit kiinnitettiin myös patellaan (patella) ja rintalas-

taan (sternum). Ennen elektrodien kiinnitystä iholta oli poistettu ihokarvat siltä alueelta, sekä kuollutta ihoa oli poistettu siitä ja desifioitu alkoholilla. (Holmberg ym. 2005.)

Puolestaan Holmbergin ym. (2005) tutkimuksessa EMG-aktiivisuus oli mitattu käyttämällä 2000 Hz:n taajuutta. Raaka analoginen signaali oli digitoitu (DAQ 700 A/D card-12 bit) ja talletettu kahteen paikkaan tietokoneelle. Mittauksissa käytetyn jännitteen vaihteluväli oli -5 ja +5 Voltin välillä. EMG-signaalit oli suodatettu välille (10-500 Hz, 3dB) poistamalla signaalia matalilta ja korkeilta taajuuksilta. Elektrodit oli bipolaarisia Ag/AgCl pintaelektrodeja (18 mm geelialueen halkaisija, 10 mm rautanapin halkaisija) ja sisäelektrodit olivat 30 mm kokoisia, jotka olivat yhdistetty yksittäisiin erilaisiin vahvistimiin (vahvistus 5000). (Holmberg ym. 2005.)

Lihaskäyttöaktiivisuuksien tasoista työntövaiheesta huomataan Lindingerin ym. (2009) tutkimuksessa selvä yhteys nopeuteen. Hitaimmalla nopeudella (9 km/h) rintalihasten ja ojentajalihasten aktiivisuus on keskimääräisenä EMG:nä (aEMG) 20 % isometrisestä maksimista (MVC), leveällä selkälihakella puolestaan 40 %. Nämä arvot kuitenkin nousevat, niin, että maksiminopeudella aktivointi on jo suurempaa kuin isometrinen maksimiarvo: leveä selkälihas noin 160 %, Rintalihas noin 115 %. Sen sijaan ojentajalihaksessa jäädyään noin 70 %:iin maksimissakin. (Lindinger ym. 2009.)

2.2.4 Lihaskäyttöaktiivisuusdatan analysointi

Holmbergin ym. (2005) tutkimuksessa ennen kaikkia laskuja raaka EMG signaali esiprosessoitiin ja MVC normalisoitiin. EMG raaka data digitoitiin ensiksi band-pass suodattimella (10-300 Hz, Butterworthmenetelmällä), joka poisti täydellisesti matalan ja korkean taajuuksien kohinan, mitä analoginen suodatus ei olisi täydellisesti tehnyt. Sen sijaan Vähäsöyrinki ym. (2007) käyttivät pelkästään low-pass suodatinta (75Hz), joka suodatti matalat taajuudet. Holmbergillä ym. (2005) suodattimen rajataajuus perustui visuaaliseen tarkasteluun käyttäen Fourierin muutosta. Suodatetusta EMG-datasta tarkasteltiin maksimaaliset isometriset jännitykset (MVC) eri lihaksista. EMG-mittauksissa oli eri lihasten osalta käytetty muutamia erilaisia asentoja korkeimman mahdollisen EMG-aktiivisuuden löytämiseksi. MVC:tä varten paras raaka data oli valit-

tu suodatetuista tuloksista. Eri lihasten välillä korkein muutos 250 ms:n aikaikkunassa oli otettu vastaamaan 100 %:n amplitudia. (Holmberg ym. 2005.)

Holmbergin ym. (2005) tutkimuksessa EMG amplitudi oli määritetty kustakin lihaksesta laskemalla integroidun EMG:n (IEMG) ominaisuuksista jännitteen EMG_{peak} . IEMG laskettiin käsitellystä EMG-datasta, niin työntövaiheesta (PP), lepovaiheesta (RP) ja koko syklistä (C), yksikkönä tällä oli (% MVC/s). (Holmberg ym. 2005.) Myös aEMG on yleisesti käytössä EMG:n tarkastelussa, esimerkiksi Lindinger ym. (2009) sekä Vähsöyrinti ym. (2008) tutkimuksissaan käyttivät sitä. Maksimaaliset lihasaktiivisuudet tasatyönnöstä oli määritetty eri lihaksista (% MVC). Suodatuksen jälkeen todelliset EMG-piikit pystyttiin erottamaan. EMG_{peak} :t oli määritetty kustakin lihaksesta työnnön eri vaiheista, lisäksi näistä laskettiin tasot eri intensiteeteille. EMG_{peak} ja IEMG oli kategorioitu matalaan, kohtalaiseen ja korkeaan käyttämällä z-standardia. Molemmissa muuttujissa matala oli alle -0,5, kohtalainen -0,5 ja +0,5 välillä sekä korkea yli +0,5 z-luokituksessa. (Holmberg ym. 2005.)

Holmbergin ym. (2005) tutkimuksessa analysointi keskittyi tasatyöntösuorituksessa tapahtuvien liikkeiden, lihasten aktivoitumisjärjestykseen ja muutoksiin lihasaktiivisuustasoissa. Kynnys lihasaktiivisuuden alulle ja muutokselle oli määritetty tasolle ± 2 *keskihajonta kohdan yläpuolelle keskimääräisen levon perustason. 20 millisekunnin ajalta tiettyjen määritettyjen kynnysten ylittämistä tehtiin johtopäätökset lihaksen jännittymisestä. Myös lihasaktiivisuuksien kestoja tarkasteltiin tässä tutkimuksessa. (Holmberg ym. 2005.)

3 TASATYÖNTÖSUORITUKSEN FYSIOLOGIA

3.1 VO_{2peak} tasatyöntösuorituksen aikana

Vertailtaessa suorituksen taloudellisuutta maastohiihdon eri tekniikoiden kesken on tutkimuksissa pienimmät hapenkulutuksen arvot havaittu tasatyönnössä (Hoffman & Clifford 1990; Hoffman ym. 1990; Hoffman ym. 1998). Wisløff:n ja Helgerud:n (1998) tutkimuksessa huomattiin, että VO_{2peak} arvoissa ei ollut eroja ergometrillä sekä tasatyönnön kenttättestissä. VO_{2peak}:n merkityksen löysi Staib ym. (2000) tutkimuksessaan, sillä he totesivat korrelaation tasatyönnön VO_{2peak}:n ja ylävartalon testin maksimitohon välillä ($r = 0,53$; $p < 0,05$). Tässä tutkimuksessa myös huomattiin, että paremmin menestyneet hiihtäjät pystyivät myös tasatyöntösuorituksessa nostamaan VO_{2peak} arvon suhteellisesti korkeammalle. (Staib ym. 2000.)

VO_{2peak} tasatyöntösuorituksessa ja ylävartalosta hiihdossa tuotettavan tehon on osoitettu olevan tärkeitä hiihtosuoritukselle (Staib ym. 2000). Mygind ym. (1991) löysi korkean korrelaation maastohiihtotulosten ja tasatyönnön VO_{2peak} arvon välillä, muttei juoksun VO_{2peak} arvoon. Bilodeau ym. (1995) löysi, että hiihdonomaiset ylävartalotestit kertovat enemmän hiihtokunnosta kuin juokсутestit. Staibin ym. (2000) tutkimuksessa tasatyönnön VO_{2peak} arvot olivat 88-96 % juoksun VO_{2peak} arvoista, myös Mygind ym. (1991) saivat saman tuloksen.

Vertailtaessa VO_{2peak} arvoja tasatyönnön, vuorohiihdon ja juoksumattotestin välillä huomataan, että tasatyönnössä on maksimaalisessa työssä selvästi matalimmat VO_{2peak} arvot. Doyonin ym. (2001) tutkimuksessa VO_{2peak} oli juoksumatolla juostessa $62,4 \pm 2,9$ ml / kg / min, vuorohiihdossa $60,4 \pm 2,8$ ml / kg / min ja tasatyönnössä $53,3 \pm 2,6$ ml / kg / min. (Doyon ym. 2001.) Myös Nilsson ym. (2004) osoittivat samansuuntaiset tulokset, sillä VO_{2peak}:n suhde VO_{2max}:n oli alkutestissä 84-86 %. Puolestaan Mahoodin ym. (2001) tutkimuksessa tasatyöntösuorituksesta mitattu VO_{2peak} oli $52,0 \pm 1,1$ ml/kg/min, mikä oli 77,2 % VO_{2max} arvosta, löytyi myös muita tutkimuksia, joissa on raportoitu 76-78 % välille sijoittuvista arvoista, kuten Bilodeau ym. (1995) mukaan 77,8

% suhteesta. Mahoodin ym. (2001) tutkimuksessa nähdään, että ero VO₂peak:ssa johtuu hyvin pitkälle lähes samassa suhteessa pienemmäksi jääneestä ventilaatiosta.

3.2 Laktaattitasot ja sykkeet tasatyöntösuorituksen aikana

Stöggl ym. (2006b) tutkimuksessa 1000 metrin maksimaalisessa tasatyöntötestissä juoksumatolla rullahiihtäen laktaattiarvot vaihtelivat 9,2 ja 19,9 mmol/l arvojen välillä, keskiarvon ollessa $13,1 \pm 2,5$ mmol/l. Samassa testissä sykkeet nousivat keskimäärin 185 ± 7 :ään, vaihteluvälin ollessa 176 – 197. Huomioitavaa on, että tutkimuksessa ei löydetty korrelaatiota korkeimman laktaatin ja 1000 metrin suorituksen ajan välille, vaikka juoksumatollisissa tutkimuksissa on löytynyt vahvat negatiiviset korrelaatiot huippu laktaatin ja 400 metrin loppuajan välille. (Stöggl ym. 2006b.) Myös Doyonin ym. (2001) tutkimuksessa sykkeet olivat samankaltaiset, tasatyönnössä sykkeet nousivat 186 ± 2 :een ja juoksumatolla juostessa 194 ± 2 :een (Doyon ym. 2001). Myös Mahoodin ym. (2001) tulokset olivat juoksumatolla suoritettussa tasatyöntötestissä hyvin samankaltaiset niin sykkeiden kuin laktaattien osalta.

Staibin (2000) tutkimuksessa huomattiin, että sykkeet ja hapenotot olivat huomattavasti matalampia tasatyöntämällä kuin vastaavalla nopeudella vuorohiihdossa ($p < 0.05$). Korkein syke nousi tasatyönnössä $95 \pm 2,3$ % vuorohiihdon korkeimmasta sykkeestä. (Staib ym. 2000.) Myös Mahoodin ym. (2001) tutkimuksessa päästiin samankaltaisiin tuloksiin, sillä syke nousi tasatyöntötestissä $97,0 \pm 0,0$ % luisteluhiihdolla saavutetusta maksimisykkeestä. Laktaattitasot puolestaan nousivat tasatyönnössä jopa korkeammaksi, sillä tasatyönnön maksimilaktaatti oli $101,3 \pm 25,35$ % vuorohiihdon maksimilaktaatista. Kuitenkin tasatyönnössä laktaatin nousussa löytyi huomattava ero menestyneiden hiihtäjien ja huonommin menestyneempien välillä, sillä menestyneet hiihtäjät pystyivät nostamaan laktaattitasot suhteessa korkeammalle kuin vähemmät menestyneet hiihtäjät. (Staib ym. 2000.) Myös Mahoodin ym. (2001) tutkimuksissa maksimilaktaatit olivat luisteluhiihdossa ja tasatyöntösuorituksessa hyvin lähellä toisiaan ($13,5 \pm 0,9$ ja $13,2 \pm 0,5$ mmol/L).

Alsobrook ym. (2006) tutki hyvin lyhyt- (10 ja 60 sekunnin tehot) ja pitkäkestoisen ylävartalon tehon (4-11 minuutin nouseva kuormitus) testin yhteyttä kilpailusuoritukseen. Tämän tutkimuksen tuloksissa löydettiin vahva yhteys molemmista kilpailusuoritukseen, joten johtopäätöksenä pystyttiin toteamaan, että hiihtäjien on keskityttävä sekä lihasvoimaan että lihaskestävyyteen. (Alsobrook ym. 2006.)

3.3 Erilaiset tasatyöntöergometrit ja tasatyöntöä simuloivat laitteet

Bilodeau ym. (1995) totesivat laboratoriossa suoritettavien hiihdonomaisten ylävartalon ergometrillä suoritettavien testien ennustavan paremmin hiihtosuorituksen tulosta kuin juoksumattotestit. Wisløff ja Helgerud (1998) tutkivat norjassa valmistetun sähkömoottorisen Elektrin toimivuutta hiihtäjien ylävartalon kapasiteetin testaukseen. Hiihtoergossa tuotettu teho oli rekisteröity Tefka-laitteella (Tefka 250 kg, 1,8mV/V, Tanska). Teho laskettiin kaavalla, missä laitteen ja pinnan välisen kulman sinillä kerrottiin kehon massa, jota vastaan työtä tehtiin, sekä nopeus, millä edettiin. Tämän lisäksi laitteeseen oli yhdistetty Cosmedin hengityskaasuanalysointori, mistä saatiin hapenottoarvot sekä muut hengityskaasumuuttujat (Cosmed K2, Italia). (Wisløff & Helgerud 1998.)

Alsobrookin (2005) tutkimuksessa suoritettiin nouseva ergotesti 40 W:n aloituskuormalla, jonka jälkeen tehoa nostettiin minuutin välein 20 W. Esimerkiksi 12 min kohdalla testin kuorma oli 260 W. Tässä tutkimuksessa koehenkilöiden oli 5 W:n tarkkuudella pystyttävä pitämään määrättyä tehoa, ja mikäli teho laski yli 5 W alle tavoitellun tehon 5 sekunnin ajaksi, suoritus lopetettiin. (Alsobrook 2005.)

Holmberg ja Nilsson (2007) vertasivat hiihtoergolla suoritettavan tasatyöntön eroja fysiologiselta kuormitukseltaan lumella suoritettavaan tasatyöntöön. Käytetyssä hiihtoergossa suoritettiin tasatyöntöä soutuergometristä modifioidulla ergolla. Tässä löytyi vahva korrelaatio ($r = 0.86$ ja 0.89) absoluuttisen ja suhteellisen tehon välillä kuuden minuutin ergolla suoritettavan ja lumella suoritettavan testin osalta. Tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä kyseisen ergometrin olevan validi tasatyöntön tutkimiseen. (Holmberg & Nilsson 2007.)

4 TASATYÖNTÖSUORITUKSEN BIOMEKANIikka

Tasatyöntö on perinteisen hiihtotekniikoista nopein ja esim. Hoffmannin ym. (1995) tutkimuksen perusteella 7 % nopeampi kuin 1-potkuinen tasatyöntö. Sen sijaan luisteluhiihtotekniikoihin verrattuna tasatyöntö on 9 % hitaampi (Millet ym. 1998).

4.1 Syklin pituuden ja frekvenssin vaikutus tasatyöntönopeuteen

Tasatyöntönopeutta säädellään syklin pituuden ja frekvenssin avulla. Kineettiset ja kinemaattiset muuttujat ovat näyttäneet tasatyöntön syklin keston olevan 85 %:n nopeudessa maksimivauhdista $1,13 \pm 0,09$ s. Työntövaiheen kesto oli puolestaan $0,30 \pm 0,03$ s (0,25-0,34), joka oli $26,9 \pm 2,9$ % (22,1-30,1) syklin pituudesta. Lepovaiheen kesto oli $0,83 \pm 0,09$ s (0,72-1,01), mikä oli 2,8 kertaa pitempi kuin työntövaihe. Työntöfrekvenssi oli $0,89 \pm 0,07$ Hz, mikä vastasi 53 sykliä minuutissa (46-59). (Holmberg ym. 2005.) Myös Mikkolan ym. (2013) tutkimuksessa työntövaiheen kesto oli 0,30 sekuntia sprinttikisan matkavauhdista ja 0,25 sekuntia sprinttikisan lähtökiihdytyksestä. Hoffman ym. (1995) osoitti syklin nopeuden yhteyden maksiminopeuteen, sekä sen, että syklin nopeutta lisäämällä saavutetaan suurempi maksimaalinen nopeus myös tasatyöntössä. Ergolla tehtävässä harjoittelussa on varottava liian hidasta frekvenssiä, sillä jopa 6 minuutin maksimaalisessa alkutestissä kaikilla kolmella ryhmällä työntöfrekvenssi oli vain 48-49, jolloin työntösyklin kesto 1,21-1,25 s (Nilsson ym. 2004). Tässä ergolla suoritettussa tasatyöntössä työntöfrekvenssi oli siis hieman matalampi, kuin hiihtäen 85 %:n teholla tapahtuneessa suorituksessa.

Vielä 90-luvulla kovimmat tasatyöntönopeudet olivat hieman yli 6 m/s ja tällä nopeudella työntövaiheen kesto on lyhyempi kuin 0,30 sekuntia (Smith ym. 1996, Millet ym. 1998). Nilsson ym. (2004) mukaan keskimääräinen kisanopeus on 5,3 m/s ja tässä työntövaiheen kesto suunnilleen 0,40 sekuntia. Stögglin ym. (2010a) tutkimuksessa tasatyöntön maksiminopeus oli 1^o asteen ylämäkikulmaan suoritettuna juoksumatolla rullasuksilla $31,6 \pm 1,8$ km/h, mikä on lähes 9 m/s. Tämä nopeus oli 29-57 % suurempi verrattuna Holmbergin ym. (2005) ja Milletin ym. (1998) tutkimuksiin. (Stöggli ym.

2010a.) Myös Stögglin ym. (2010b) kertoi Maailman Cupin sprinttikilpailujen keskinopeuksien olevan parhaimmillaan perinteisellä jo 9,5 m/s ja luistellen 10 m/s.

Huippuhiitäjät pystyvät nostamaan nopeutta lisäämällä tasatyönnon frekvenssiä sekä syklin pituutta lisäämällä sauvavoimia huolimatta lyhentyneestä työntöajasta. Maksimaalisessa nopeudessa (8,2 m/s) hiihtäjien käyttämä syklin pituus oli 7,5 m ja syklin frekvenssi 1,08 Hz. (Lindinger ym. 2008.) Vielä Hoffmannin ym. (1995) tutkimuksessa maksimaalisessa nopeudessa (6,1 m/s) syklin pituus oli alle 6 m. Myös maksimaalinen nopeus oli tässä siis huomattavasti matalampi kuin Lindingerin ym. (2008) tutkimuksessa. Lindinger ym. (2009) tutkimuksessa työntöaika lyheni 702 ± 33 ms:sta 9 km/h nopeudesta 243 ± 9 ms:iin maksiminopeudelle, syklin keston lyhentyessä $1,66 \pm 0,21$ sekunnista $0,93 \pm 0,09$ sekuntiin. Stöggl ym. (2006b) tutkimuksessa juoksumatolla rullasuksilla tasatyönnon huippunopeudet olivat $7,45 \pm 0,63$ m/s, vaihteluvälin ollessa 5.99 – 8,55 m/s.

Lindinger ym. (2008) tutkimuksessa nopeuden osalta kontrolloitujen eri nopeuksien tasatyöntösuoritusten eroista voidaan huomata, että submaksimaalisen nopeuden kasvaessa myös sauvasta mitattu absoluuttinen huippuvoima kasvaa. Myös aika, joka kuluu tämän tuottamiseen, pienenee jokaiselta nopeudelta kovempaan siirryttäessä, myös viimeiseltä (27 km/h) nopeudelta maksimiin siirryttäessä. Eli voimantuottonopeus kasvaa kaikilta tasoilta seuraavalle siirryttäessä, myös maksimiin siirryttäessä tästä viimeisestä submaksimaalisesta nopeudesta. Vaikka ei siis tuoteta suurempaa voimaa, mutta tämä voima tuotetaan nopeammin. (Lindinger ym. 2008.)

4.2 Nivelkulmat tasatyöntösuorituksen eri vaiheissa

Holmbergin ym. (2005) tutkimuksessa koehenkilöiden suoritettaessa tasatyöntöä 85 %:n nopeudella maksiminopeudesta nivelkulmat olivat työntövaiheen alussa kyynärpään, lantion ja polven osalta seuraavat: $104 \pm 19^\circ$ (83-144), $136 \pm 14^\circ$ (111-146) ja $150 \pm 14^\circ$ (118-177). Kulmat olivat minimissään työntö- eli flexiovaiheen lopussa $69 \pm 21^\circ$ (39-105) kyynärpäässä, $101 \pm 16^\circ$ (73-121) lantiossa ja $138 \pm 14^\circ$ (116-165) polvessa. Näiden kulmien saavuttamiseen kului aikaa seuraavasti: kyynärpää $0,09 \pm 0,02$ s (0,07-

0,12), lantio $0,13 \pm 0,03$ s (0,09-0,19) ja polvi $0,15 \pm 0,06$ s (0,10-0,32). (Holmberg ym. 2005.)

Smith ym. (1996) osoittivat, että nopeammat hiihtäjät olivat työnnön alkuvaiheessa korkeammassa asennossa ja pitivät vartalon kulman pystympänä verrattuna hitaisiin hiihtäjiin. Millet ym. (1998) tutkivat tasatyönnön kineettisiä ja kinemaattisia muuttujia ja heidän tutkimuksessa osoitettiin nopeamman vauhdin johtuvan suuremmasta sauvatyönnön voimasta ja lyhentyneestä syklin pituudesta, josta voidaan lyhentää sekä työntö- että palautusvaihetta (Millet ym. 1998). Vaikka tasatyöntö on aiemmin mielletty pelkästään ylävartalotyöksi, myös jalkojen hyödyntäminen on mahdollista. Jalkojen hyödynnettäessä hiihtäjät pystyvät käyttämään kehon massaa ja painovoimaa lisätäkseen työnnön voimaa. (Holmberg ym. 2006.)

Nilsson ym. (2003) tutkimuksessa eri sauvanpituuksilla työnnettäessä huippuvoima saavutettiin sauvakulman ollessa 43° asteessa (normaalin mittaisella sauvalla) ja vaihteluvälin ollessa 42° - 45° sauvan pituudesta riippuen. Työnnön alkuvaiheessa normaali ja pitkä sauva oli 21° asteen kulmassa ja lyhyt sauva 22° asteen kulmassa. Työnnön loppuvaiheessa sauvakulma oli 72-73 sauvan pituudesta riippuen. Tässä tutkimuksessa käytetty normaali sauvan pituus oli 82 % hiihtäjän pituudesta. (Nilsson ym. 2003.)

4.3 Voimantuotto tasatyöntösuorituksessa

Uudet tekniikat, kuten myöhemmin esitelty Holmbergin ym. (2005) esille tuoma tasatyönnön strategia A, sekä luisteluhiihdossa käytettävä Double Push (missä voimantuotto on kaksivaiheinen, kun ensin tuotetaan ”hypyn” avulla voimaa suksen ollessa painopisteen alla suoraan eteenpäin, ennen kuin alkaa voimantuoton jälkimmäinen vaihe sivulle puristaen) ovat nostaneet teknistä taitavuutta esille. Nämä ovat myös mahdollistaneet kovemmat hiihtovauhdit, joiden eteen voimavaatimukset ovat korkeammat niin ylä- kuin alavartalon osalta verrattuna perinteisiin tekniikoihin. (Stöggl ym. 2009.)

Viimeisimmät tutkimukset ovat osoittaneet vahvaa yhteyttä maksimaalisen tasatyöntönopeuden ja ylävartalon voiman välillä ja yhteyttä perinteisen sprinttiin sekä pitempiin

matkoihin (Stöggl ym. 2007). Holmbergin ym. (2005) tutkimuksessa päälöydöksenä tuloksista voidaan pitää voimapiikin (PPF) positiivista korrelointia hiihtäjien 85 %:n nopeuden kanssa tasatyöntösuorituksessa. Eli kun pystyi tuottamaan isompia voimapiikkejä, pääsi helpommalla kovempaa. (Holmberg ym. 2005.)

Sauvavoiman huippupiikki saavutettiin tasatyönnössä 85 %:n nopeudella maksimista $0,10 \pm 0,02$ s ($0,07-0,13$) kohdalla, mikä oli 31,9 %:n vaiheessa työnnön kestosta (24-40 s) (Holmberg ym. 2005). Tämä huippuvoiman saavuttamisaika korreloi työntöajan kanssa tasatyönnön submaksimaalisilla nopeuksilla (Stöggl ym. 2009). Työnnön absoluuttinen piikkivoima oli 235 ± 63 N (162-346), mikä oli $32,1 \pm 7,5$ % (22-44) kehon painosta. Absoluuttinen impulssi oli $36,4 \pm 5,9$ N*s (27,2-47,5), mikä oli $4,9 \pm 0,5$ % (4,1-5,8) kehon painosta. (Holmberg ym. 2005.) Jo Lindinger ym. (2009) tutkimuksessa työntövoimat olivat kasvaneet 269 ± 16 N, mikä oli 37 ± 2 % kehon painosta. Myös sauvavoiman huippupiikki saavutettiin entistä nopeammin $0,070 \pm 4$ ms. (Lindinger ym. 2009.) Tasatyönnössä sauvavoiman huippupiikki korostuu submaksimaalisissa nopeuksissa luisteluhiihtoa enemmän, sillä näiden välillä on jopa merkittävä ero. Sen sijaan maksiminopeudessa tasatyönnön ja V2-luistelutekniikan (Wassberg) huippuvoimissa ei ollut eroja. (Millet ym. 1998.)

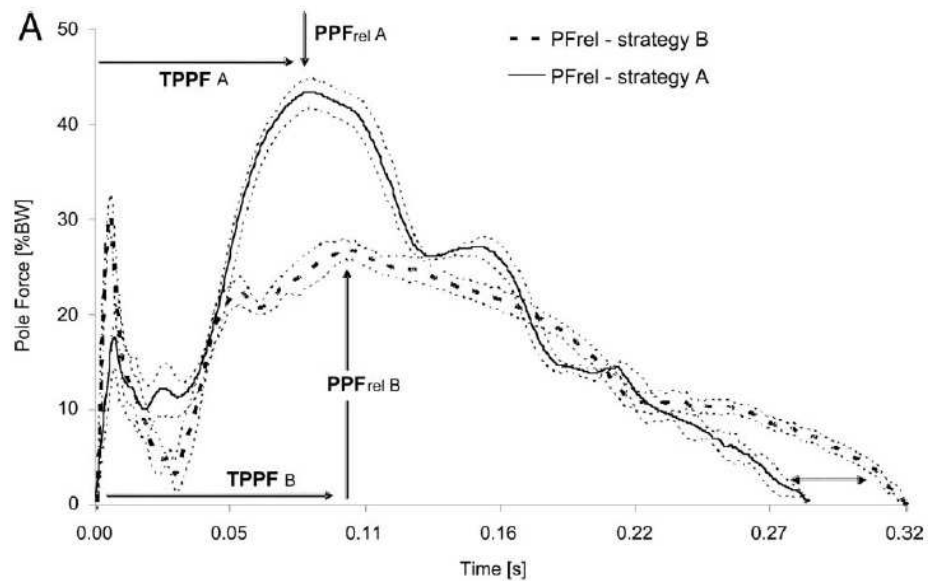
Huippuvoima ja kesto voimapiikin saavuttamiseen on 0,10 sekuntia sauvan maahan iskusta. Holmbergin ym. (2005) tutkimuksessa kuitenkin todettiin, että tämän piikin saavuttamisen aika ei korreloinut nopeuden $V_{85\%}$ kanssa. Edellisessä kappaleessa viitatus korkean lähtöasennon kautta myös kehon massa pystytään hyödyntämään paremmin huippuvoiman tuottamisessa. Huippusauvavoima korreloi negatiivisesti kyynärpään nivelkulman minimiin, kyynärpään ojentumisen aikaan työntövaiheessa, todelliseen työntöaikaan sekä positiivisesti suhteelliseen palautusaikaan. Myös nämä demonstroivat lyhyempää ja räjähtävämpää työntövaihetta. Sauvaniskun huippuvoima korreloi tasatyöntönopeuteen tasatyöntösuorituksessa. (Holmberg ym. 2005.)

4.4 Erilaiset tasatyöntöstrategiat

Holmberg ym. (2005) totesivat, että nopeimmat hiihtäjät käyttävät enemmän sprinttityylistä tasatyöntöstrategiaa, missä on korkeammat huippusauvavoimat ja korkeammat voimaimpulssit, mikä johtaa suhteellisesti lyhyempään työntöaikaan ja pitempään palautusvaiheeseen. Lyhyemmät ja korkeammat aktiivisuustasot lihaksissa saattavat vaikuttaa näillä hiihtäjillä positiivisesti suorituksen taloudellisuuteen, koska palautusvaihe pitee.

Kaksi erilaista tasatyöntö strategiaa olivat: strategia A leveät kyynärpäät ”wide elbow” (WE) ja strategia B kapeat kyynärpäät ”narrow elbow” (NE). Ensimmäiselle ominaista ovat ojennetut olkapäänivelet, pienemmät kyynärpään nivelkulmat, nopeampi, selkeämmin koukistetut kyynärpäät ja dynaamisempi työntövaihe. Tasatyöntöstrategiaa A käyttäneet hiihtäjät aktivoivat suorituksessa enemmän teres major ja latissimus dorsi lihaksia. Puolestaan B tasatyöntöstrategialle on ominaista näiden vastakkaiset kohdat. Nopeammat hiihtäjät käyttivät strategiaa A ja siinä oli suuremmat sauvavoiman huiput, lyhyemmät ajat huippuvoimien tuottamiseen ja korkeammat voimaimpulssit verrattuna strategiaan B (Kuva 1.). (Holmberg ym. 2005.) Myös Stöggl ym. (2010b) totesivat tätä strategiaa A käyttävien pääsevän kovempiin maksimaalisiin tasatyöntönopeuksiin.

Nopeat hiihtäjät pystyvät tuottamaan korkeamman voimapiikin myöhemmässä vaiheessa työntöä, mikä johtuu edellisessä kappaleessa esitellystä valmistautumisvaiheesta. Kohdassa, missä sauvojen kulma menee pieneksi, kasvaa sauvojen liikuttava komponentti ja nopeat hiihtäjät pystyvät tuottamaan tässä suurempia voimia. Kuitenkin Stöggl ja Holmbergin (2011) tutkimuksessa resultantti ja horisontaalinen huippuvoima paljastavat kohtalaisen korrelaation tasatyöntönopeuteen ja horisontaalinen huippuvoima oli liittynyt resultantti huippuvoimaan, mutta ei sauvakulmiin. On mielenkiintoista, että prosenttiosuus välillä sauvan huippuvoimasta suhteessa iskuvoimaan korreloi negatiivisesti maksimaaliseen nopeuteen. Nopeammat hiihtäjät kykenevät tuottamaan korkeampia huippu sauvavoimia suhteessa iskuvoimaan. (Stöggl & Holmberg 2011.)



KUVA 1. Tasatyöntöstrategian A ja B voimantuottokäyrät. PPF kuvaa huippuvoiman tasoa. TPPF aikaa huippuvoiman saavuttamiseen. (Holmberg ym. 2005.)

4.5 Lihasaktiivisuudet tasatyöntösuorituksen aikana

Holmbergin ym. (2005) tutkimus oli ensimmäinen, missä tasatyönnöstä yhdistettiin sekä kinemaattiset että kineettiset mittaukset lihasaktiivisuuksiin. Lindinger ym. (2009) tutkimuksessa mitattiin triceps brachiin, pectoralis majorin ja latissimus dorsin aktiivisuuksia työnnön eri vaiheissa. Maksimaalisella nopeudella työnnettäessä triceps brachiin aktiivisuus nousee työntövaiheessa 73 ± 7 % MVC:stä (maksimaalinen aktiivointi). Myös esiaktiivisuus on korkeinta maksimaalisella nopeudella työnnettäessä ja se on tässä noin 40 % MVC:stä. Esimerkiksi rintalihasten (pectoralis major) ja leveän selkälihakseen (latissimus dorsi) osalta aktiivisuudet jopa ylittivät maksimaalisen isometrisen aktivoinnin tason työntövaiheen osalta. (Lindinger ym. 2009.)

Jalkojen merkityksen tasatyöntösuorituksen aikana toi perusteellisesti esille Holmbergin ym. (2006) tutkimus, missä verrattiin tasatyöntösuoritusta jalat vapaana sekä jalat stabiloituna suoritettuna. Suorituksessa, jossa hiihtäjät hyödynsivät myös lantion kevennystä, oli suorituksessa 7,7 % korkeampi VO_2 peak, saavutettiin 9,4 % korkeampi maksimino-

peus ja kestävyystestin kestoja pystyttiin jatkamaan 11,7 % pitempään. (Holmberg ym. 2006.)

Holmbergin ym. (2005) tutkimuksen perusteella lihakset, joissa sekä EMGpeak että IEMG tasot oli määritetty kategorioinnissa korkeaksi, olivat vain vatsalihakset (rectus abdominis ja obliquus externus abdominis) sekä olkavarren koukistajalihakset (teres major) tasatyöntösuorituksen aikana. (Holmberg ym. 2005.) Nämä voidaankin katsoa näin tasatyöntösuoritukseen erittäin tärkeässä roolissa oleviksi lihaksiksi.

Lihaskäytön järjestys tasatyöntösuorituksessa alkaa vatsalihasten (rectus abdominis ja obliquus externus abdominis) aktivoitumisesta jo hieman ennen sauvan iskua, tätä seuraa teres majorin aktivoituminen, kolmantena aktivoituu lantion koukistajat, neljäntenä latissimus dorsi, viidentenä triceps brachii, kuudentena vastus lateralis ja vastus medialis, seitsemäntenä välittömästi sauvaiskun jälkeen biceps femoris ja kahdeksanteena vielä flexor carpi ulnaris. Ensimmäisenä aktivoituneiden rectus abdominis ja obliquus externus abdominis – lihasten työ loppui työntövaiheen puolivälissä. Myös jalkojen osuus tasatyönnössä on huomattavaa, sillä kaikki mitatut jalkalihakset olivat aktiivisia työntöajan aikana (soleus, gastrocnemius, peroneus longus ja tibialis anterior). (Holmberg ym. 2005.)

Holmbergin ym. (2005) tutkimuksen perusteella ennustetaan, että esiaktiivisuus lihaksissa johtaa korkeampaan lihasjäykkyyteen, valmistaa kehoa sauvan iskuun ja stabiloi niveliä työntöajan alkuvaiheessa. Lindinger ym. (2009) mukaan esiaktiivisuus lihaksissa on tärkeää, jotta hitaatkin lihassolut ehtivät aktivoitua maksimaalisesti. Lindinger ym. (2009) tulkitsee (Buchtal & Schmalbruch 1970, Eberstein & Goodgold 1968, Garnett ym. 1978) aiempia tutkimuksia, että tyypin 1- lihassoluilla kestää aktivoitua maksimaalisesti 100-140 ms ja tyypin 2a-lihassoluilla 55-85 ms. (Lindinger ym. 2009.) Koska täytyy huomioda, että esimerkiksi tasatyöntöajan työntövaihe kestää vain 300 ms (Holmberg ym. 2005.) ja tästä siis hitaiden lihassolujen aktivoituminen kestäisi jopa yli 40 % koko työntöajan ajasta.

5 TASATYÖNTÖSUORITUKSEN YDINKOHDAT

Jo vuonna 1997 Saltin totesi tasatyönnön tärkeyden perinteisen hiihdossa lisääntyneen viimeisten vuosikymmenien aikana välineiden kehittymisen myötä (Saltin 1997). Sukkien ja sauvojen kehittyminen on osaltaan ollut vaikuttamassa tähän. Tasatyöntö on tullut taloudellisimmaksi tekniikaksi helppoihin maastonkohtiin. (Hoffman & Clifford 1992.) 1980-luvulla luisteluhiihdon tulo sekä 1990-luvun lopulla sprinttihiihdon tulo ovat lisänneet ylävartalon voiman tarvetta, mikä osaltaan taas on mahdollistanut yhä enemmän tasatyönnön hyödyntämistä (Holmberg ym. 2005). Myös Stöggl ym. (2010b) osoittivat tasatyönnön maksimaalisen nopeuden yhteyden voimantarpeeseen.

Tutkimusten mukaan nopeimmat hiihtäjät aloittavat syklin valmistautumisvaiheen korkeammasta vertikaalisesta ja horisontaalisesta asemasta työnnön alkaessa Tämä mahdollistaa pidemmän työntövaiheen ja työntämisen pienemmillä nivelkulmilla verrattuna hitaampiin hiihtäjiin. Korkeampi vertikaalinen ja horisontaalinen lähtöasento tarkoittaa, että lantio on saatava eteen työnnön alkuasentoa varten, ja vartalon kulma kantapäästä päähän on hyökkäävä. (Stöggl, T. & Holmberg, H-C 2011.)

Nykyisin tärkeimmät ominaisuudet, mitkä tekevät kovista tasatyöntäjistä kovia tasatyöntäjiä ovat hyvät voimantuotto-ominaisuudet sekä uuden tyyppinen tasatyöntötekniikka. Lindinger ym. (2008) tutkimuksen johtopäätöksissä toteaa, että palautusvaiheen aikana on tärkeää onnistua nopeasti palauttamaan keho uudelleen työnnön alkuasentoon. Tähän auttaa suuremmat ja nopeammat lantion ja polvien fleksiot kohti uuden työnnön alkamiskohtaa. (Lindinger ym. 2008.) Vielä 90-luvulla, kun käytössä oli pidemmät työntöajat korostuivat hapenottomuuttajat myös enemmän tasatyöntösuorituksessa, esimerkiksi Nilsson ym. (2004) kertoi keskimääräisessä kisavauhdissa työnnön keston olevan 0,40 sekuntia, mikä on 2010-luvun taitteen tutkimuksiin verrattuna selvästi pidempi. Nykyisin voimatasojen muuttumisen seurauksena tasatyöntö kovimmissa nopeuksissa asettaa hyvin korkeat vaatimukset hermolihasarjestelmälle, ja lihasten hermostollisella toiminnalla korvataan osa aiemmin olleesta hapenotollisesta vaatimuksesta tasatyöntösuorituksessa. Lindinger ym. (2008) osoittivat, että kovasta submaksimaalisesta nopeudesta maksimaaliseen siirryttäessä tuotettavat voimat eivät enää kasva, mutta voima onnistutaan tuottamaan nopeammin, jolloin työntöaika edelleen lyhenee. Kuiten-

kin Staib ym. (2000) osoittivat, että paremmin tasatyöntöä tekevät pystyvät nostamaan hapenottotasot myös korkeammalle eli pystyvät ehkä myös paremmin hyödyntämään koko kehon lihaksistoa.

Alsobrookin ym. (2009) tutkimuksessa osoitettiin vahva korrelaatio jo 10 sekunnin ja 60 sekunnin tasatyöntöergotesteillä 10 km:n kilpailusuoritukseen, ja myös ylävartalon väsytykseen huipputeho korreloi vahvasti kilpailusuoritukseen. Samassa tutkimuksessa VO_{2peak} korrelaatio ei ollut suurta, mutta kuitenkin merkittävää tähän 10 km:n kilpailusuoritukseen. Tämä tarkoittaa sitä, että kun on potentiaalia mennä kovaa, antaa se myös suoritukseen taloudellisuutta (esimerkiksi prosentuaalisesti tarvitaan tiettyyn nopeuteen matalampia tasoja) ja sitä kautta parantaa myös kestävyysuoritusta. (Alsobrook ym. 2009.)

Myös Stögglin ym. (2006b) tutkimuksessa löydettiin korrelaatio tasatyöntön maksiminopeuden ja 1000 metrin suorituksen ajan välillä. Vielä tarkemmin eriteltynä voidaan todeta, että lyhytkestoisten nopeussuoritusten kuten 50 metrin aika, 50 metrin maksimaalinen nopeus sekä maksimaalinen nopeus on Stöggl ym. (2006b) tutkimuksessa todettu ennustavan 1000 metrin tasatyöntösuorituksen tulosta. Samansuuntaisia tuloksia on myös juoksun puolelta Ruskon ym. ja Nummelan ym. tutkimuksista, missä on todettu 20- ja 30 metrin juoksuopeuden ennustavan 400- ja 1500 metrin lopputuloksia. Myös maastohiihdon sprinttisuoritus on aika-ajon osalta kestollisesti tältä väliltä, noin kolme minuuttia. Tämä ennustaa, että maastohiihdon perinteisen sprinttisuoritusta kehitteäkseen olisi ratkaisevaa pystyä parantamaan tasatyöntön maksimaalista nopeutta. (Stöggl ym. 2006b)

6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Hiihdon muuttumisen myötä niin harjoittelun kuin testauksen on oltava mahdollistamassa menestyminen uudentyypisissä vaatimuksissa (Holmberg ym. 2005). Ylävartalon kestävyyskapasiteetin testauksessa ei ole käytössä vielä mitään tarkkaa fysiologista testiä, eikä tarkkaa tietoa kehityksestä saada mistään yleisesti käytetyistä testeistä. Harjoittelulla aikaan saatu kehitys sekä konkreettiset kehitysvaatimukset olisi pystyttävä testien avulla tarkastelemaan. Erilaisia kestävyystestejä on kuitenkin jo paljon olemassa myös ylävartalolle, kuitenkin näiden osalta ei ole biomekaanisesti pyritty tai päästy vielä lähellekään lajisuoritusta. Lajisuorituksen simulointi olisi tärkeää, jotta testillä olisi itseisarvoa kilpaurheilussa. (Holmberg & Nilsson 2007.)

Biomekaniikan osalta tarkastelu on ensisijaisen tärkeää lajiharjoittelua mallintavien laitteiden osalta. Kuitenkin fysiologia muuttujien tarkastelun tärkeys korostuu etenkin kestävyystestin osalta. Suoritettujen mittausten jälkeen onkin syytä pohtia kuormitusmallin toimivuutta, ja sitä, voidaanko ylipäänsä fysiologisesti saada ergolla suoritettavalla nousuvalla kuormitusmallilla parhaimmat tasatyöntäjät sekä heidän ominaisuutensa esille.

Tutkimusongelma 1: Onko tasatyöntösuoritus samanlainen suoritettuna lumella kuin ergometrillä?

Hypoteesi 1: Ergolla riittävän lyhyeksi kontrolloitu sekä sopivalta etäisyydeltä vedetty tasatyöntösuoritus olisi lihasaktivoitumisjärjestyksen sekä työnnön keston osalta vastaavaa kuin lumella tapahtuva tasatyöntösuoritus.

Tutkimusongelma 2: Osoittaako kokeellisesti kehitetty ylävartalon aerobinen testi tasatyöntäjän suorituskykyä?

Hypoteesi 2: Ergotesti nostaa esille ne hiihtäjät, jotka myös lumella suoritettavassa tasatyönnön kestävyysuorituksessa ovat vahvoja. Ergotestin lopputehon sekä VO_{2peak} :n ennustetaan korreloivan 6 km:n tasatyöntökisan tulokseen.

7 MENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä toimii 10 suomalaista mieshiihtäjää (ikä $22,1 \pm 5,9$ vuotta; pituus $182,5 \pm 4,7$ cm; paino $78,7 \pm 6,0$ kg; VO_{2max} $75,4 \pm 5,5$ ml/kg/min), joista osa on menestynyt kansainvälisesti ja osa kansallisella tasolla. Kaikki koehenkilöt olivat saavuttaneet SM-tason mitalin tai kansainvälisen arvokilpailu edustustehtävän. Osalla koehenkilöistä on kokemusta pelkästä tasatyönnöllä suoritettavasta kilpailusta, mutta kaikilla ei ole. Kaikki ovat suorittaneet paljon tasatyöntöharjoittelua myös ylämäkeen.

7.2 Mittausprotokolla

7.2.1 Mittaukset hiihtotunnelissa

Jokaisella koehenkilöllä on kaksi mittauspäivää, joista ensimmäinen oli hiihtotunnelissa ja jälkimmäinen testilaboratoriossa. Hiihtomittaukset suoritettiin Vuokatissa 2,5 km:n mittaisessa hiihtotunnelissa, missä ilman lämpötila oli $-7 \pm 0,5$ °C, ilman kosteus $84 \% \pm 4$ % ja tuulta ei ollut. Hiihtotunneliin päädyttiin, sillä siellä olosuhteet olivat varmemmin ja helpommin vakioitavissa kuin ulkoilmassa. Hiihdon ajalle selkään kiinnitetty mittauslaatikko painoi 2,1 kg, minne oli yhdistetty tiedonsiirto sauvavoimista ja EMG-puvusta.

Koehenkilöt suorittivat aluksi 15 minuutin alkuverryttelyn. Ensimmäisenä mittauspäivänä hiihtotunnelissa varsinaiset mittaukset alkoivat satunnaistetussa järjestyksessä 4 m/s, 5 m/s ja 6 m/s vakionopeuksilla (valojäniksen ohjaamana) lyhyillä pätkillä (noin 50 metriä kiihdytyksineen) tasaisella pohjalla suoritettuna. Nämä pätkät suoritettiin kaksi kertaa peräkkäin samalla nopeudella ennen kestävyystestiä ja kertaalleen välittömästi kestävyystestin jälkeen. Myös maksiminopeudella suoritettiin nämä lyhyet vedot, ennen kestävyystestiä seitsemäntenä ja kahdeksantena pätkänä ja kestävyystestin jälkeen heti ensimmäisenä. Kestävyystestinä suoritettiin 6 km:n (3 kierrosta) tasatyöntökilpailu, jos-

ta kerättiin syketiedot ja kierrosajat. Kestävyystestin jälkeen kaikki suorittivat pätkät järjestyksessä maksiminopeus, 6 m/s, 5 m/s ja 4 m/s. Nämä suoritettiin kolmen minuutin sisällä kestävyystestistä. Ennen kestävyystestiä vedot suoritettiin 1,5 minuutin välein, paitsi maksimisuoritusten välillä oli 3 minuutin palautus.

7.2.2 Mittaukset ergometrillä

Toinen päivä sisälsi ergolla neljällä eri nopeudella kahteen kertaan suoritettavat 10 sekunnin suoritukset (alkuverryttelyn yhteydessä) sekä ylävartalon aerobisen kapasiteetin testin. Lisäksi hiihtomittausten tapaan maksiminopeus sekä eri vakionopeudet suoritetaan vielä kertaalleen kestävyyskuormituksen jälkeen. Kestävyystestin jälkeiset vedot suoritetaan kovimmasta hitaimpaan sekä kolmen minuutin sisällä testin päättymisestä. Ensimmäisen maksimivedon (Post max) alkaen 30 sekuntia kestävyyskuormituksen päättymisestä. Ergolla käytettävät submaksimaaliset nopeudet olivat 3,5 m/s, 4 m/s ja 4,5 m/s, sekä neljäntenä oli maksimaalinen nopeus, joka suoritettiin seitsemäntenä ja kahdeksantena pätkänä. Esitesti oli suoritettu yhdelle koehenkilölle, ja näiden suoritusten maksiminopeuksista laskettiin prosentuaalisesti ryhmän keskimääräisestä nopeudesta suhteutetut vakionopeuspätkien nopeudet. Myös näistä käytetään samaa numerointia, eli jatkossa ergollakin näistä puhutaan nopeuksina 4 m/s (hitain vakionopeus), 5 m/s (keskimäinen vakionopeus) ja 6 m/s (kovin vakionopeus). Mittauspäivien väli oli noin kolme viikkoa ja se sisälsi enimmäkseen kevyttestoista kestävyysharjoittelua, sekä hieman voimaharjoittelua. Harjoituspäiväkirjat kerättiin tältä väliltä.

Tasatyöntötesti suoritettiin nousevana kuormitustestinä maksimiin asti Concept2 SkiErgolla. Käytetty ergometri (jatkossa puhutaan ergosta) oli Concept2 SkiErgo (Concept2 Inc, Morrisville, Vermont, USA). Urheilija sai itse valita haluamansa vetotiheyden, mutta hänen täytyi pitää kuorman tehomäärä ennalta määrättyinä vakiona. Ensimmäinen kuorma oli 100 W, ja kuormien kestot olivat kaksi minuuttia. Kuorman nosto oli 40 W. Ilmanvastusvipua nostettiin nolasta alkaen puolellatoista pykälällä joka kuorman välillä. (Taulukko 1.) Ilmanvastusvivulla on portaattomasti säädettävissä työnnön vastus 0-10 asteikolla. Testin lopetus tapahtuu, kun koehenkilö ei pysty ylläpitämään enää viiteen sekuntiin haluttua tehomäärää. Urheilijan etäisyys vetolaitteesta määritetään pro-

senttina pituudesta, mikä oli 45 %, eli noin 180 cm pitkä urheilija vetää noin 80 cm etäisyydellä seinästä, johon laite oli kiinnitetty. Viidenteen kuormaan saakka laktaattia mitattiin Lactate Pro – mittarilla (Arkray, Japani). Laktaatin mittaaminen kesti alle 10 sekuntia, jonka jälkeen oli 10 sekuntia aikaa kiihdyttää tavoiteltuun tehoon ja näin kuorman kestoksi tuli 1.50.

TAULUKKO 1. Tasatyöntöergotestin kuormitusmalli.

Aika (min)	Teho (W)	Ilmavastus
0-2	100	0
2-4	140	1,5
4-6	180	3
6-8	220	4,5
8-10	260	6
10-12	300	7,5
12-14	340	9
14-16	380	10

7.2.3 Voimatestit

Molempien testipäivien alussa suoritettiin kahdeksasta eri lihasryhmästä isometriset voimatestit. Kaikista testeistä saatiin isometrisen lihastyön (MVC) aikaiset maksimi EMG-arvot, ja osasta saatiin myös voima-arvot. Tästä saatiin EMG:n normalisointi suhteessa maksimiarvoon eri päivien välille, koska tutkimusten osien väli oli useamman viikon. Lisäksi laskettiin suhteellisen aktivoitumisen arvot. Testit suoritettiin kunkin lihasryhmän osalta kahtena kolmen sekunnin maksimaalisena suorituksena, joiden välissä käytettiin minuutin palautusta.

Ensimmäisenä suoritettiin pohjepenissä (Jyväskylän Yliopisto, Suomi) gastrocnemius -lihaksen testi, josta saatiin myös voima-arvot. Tämä testi suoritettiin yksi jalka kerrallaan. Pohjepenissä istuttiin selkä kiinni penkissä, jalka oli suorana kohti voimalevyä, josta gastrocnemius-lihaksilla suoritettiin voimalevyä vasten maksimaalinen jännitys 90° nilkkakulmassa. Toisena testinä oli pectoralis majorin voima- ja EMG-testi, joka suoritettiin pystyasennosta eteenpäin suoritettava punnerruksena. Käsi- ja olkavarren

kulma oli 90 astetta. Kolmantena testinä oli gluteus maximus lihaksen aktivointi, missä mahallaan maaten toinen jalka koukussa, pyrittiin gluteus maximus lihasta aktivoimalla työntää avustajan tukemaa kantapäätä kohti kattoa. Tästä testistä saatiin pelkästään lihasaktiivisuudet. Neljäntenä testinä oli istumisasennosta tapahtuva vatsalihasten puristus eteenpäin, tässä testissä koehenkilö oli turvavöillä kiinni penkissä. Viides testi oli myös pelkästään lihasaktiivisuutta mittaava testi, jossa mitattiin latissimus dorsi lihasten aktiivisuutta. Tämä tapahtui leuanvetosuuntaan kohdalta, missä kyynär- ja olkavarren kulman oli 90 astetta. Kuudentena testinä suoritettiin quadricpes femoriksen aktivointi ja voiman mittaus voimatuolissa (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Tässä voima-arvot saatiin molemmista jaloista erikseen, mutta mitattiin yhtä aikaa. Sama tilanne oli vastakkaiseen liikesuuntaan mitatusta biceps femoris, semitendinosus, semimembranosus – lihasryhmästä. Polven kulma oli näissä istumisasennossa tapahtuneissa liikkeissä 90 astetta. Jälkimmäisessä testissä liikettä pyrittiin saamaan kantapäitä kohti pakaralihaksia ja edeltävässä vastakkaiseen suuntaa. Näissä testeissä koehenkilö oli hyvin kiinnitetty voimapankkiin myös jaloista. Kahdeksantena ja viimeisimpinä isometrisenä voimatestiniä oli triceps brachii testi, missä istuma-asennossa käsi oli tiukasti kiinni voimaantureissa tukiremmeillä ja kyynär- ja olkavarren kulma oli 90 astetta. Tästä triceps brachii lihaksella pyrittiin tuottamaan isoa voimaa painamalla alla olevaa voimaanturia vasten.

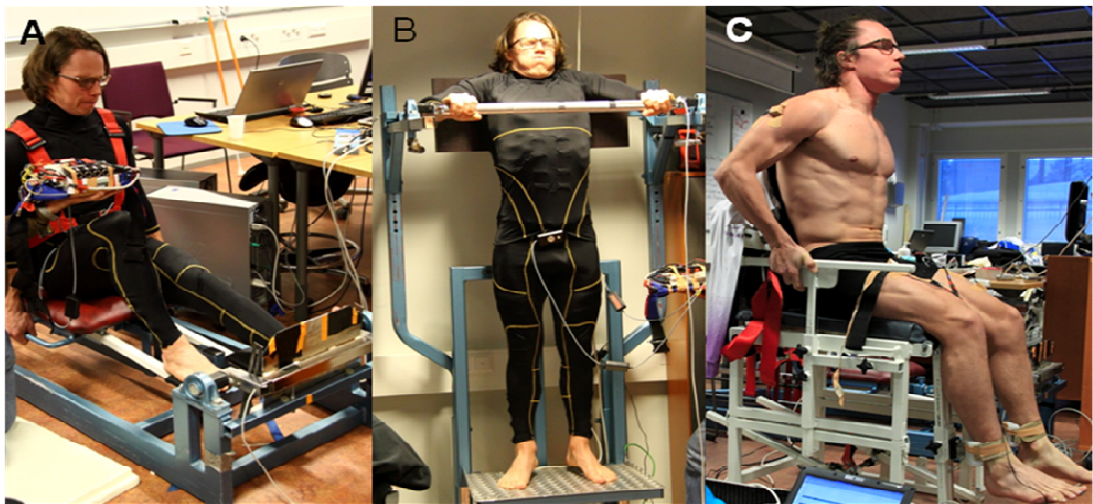
7.3 Mittausmenetelmät

7.3.1 Voima

Tutkimuksessa käytettävät sauvat olivat KV+ hiilikuitu kilpasauvoja (KV+, Dongio, Sveitsi), joista molempiin sauvoihin on asennettu voiman mittauslaite (VELOMAT, Saksa). Anturi painoi 120 g ja se oli kevytrakenteisessa alumiinikotelossa, joka oli sijoitettu sauvan kahvan sisäpuolelle. Käytettäviä KV+ sauvoja oli erimittaisia, joista valittiin yksilöittäin sopivat. Koehenkilöt käyttivät samanpituisia sauvoja kuin harjoittelussaankin. Sauvojen keskimääräinen pituus oli $155,4 \pm 4,3$ cm, mikä oli $85,2 \pm 0,8$ % koehenkilön pituudesta. Sauvasta saatavat arvot olivat aksiaalisia voimantuottoarvoja, siis sauvan suuntaisia voima-arvoja.

Käytettävässä Concept2 SkiErgossa vastuksen lisäys perustuu vaihteettomaan ilmanvastusvaihevipuun. Ergoon oli lisätty vetovoiman mittaamiseksi vastus-venymä –liuska voima-anturit (Jyväskylän Yliopisto, Suomi) vetonaruun suoraan kahvan yläpuolelle.

Esivoimatesteissä etureisien, takareisien ja ojentajien osalta oli käytössä erikoisvalmisteen voimapenkki (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Pohkeen osalta voimat mitattiin erikoisvalmisteisella pohjepenkillä (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Rintalihasten voiman osalta voimamittaus suoritettiin erikoisvalmisteisella pystypenkillä (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Kaikissa näissä voimamittaus perustui vastusvenymäliuskojen käyttöön. (Kuva 2.)



KUVA 2. Kuvassa 2A on käytössä erikoisvalmistein pohjepenkki (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Kuvassa 2B on käytössä erikoisvalmistein pystypenkki (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Kuvassa 2C on käytössä erikoisvalmistein voimapenkki (Jyväskylän Yliopisto, Suomi).

7.3.2 EMG-mittaukset

EMG:tä mitattiin erikoisvalmisteisella EMG-puvulla (Myontec Oy, Kuopio, Suomi), joka on todettu validiksi mm. Finnin ym. (2007) tutkimuksessa. EMG-arvot saadaan mitattua lihasryhmittäin seuraavista lihasryhmistä: vatsalihakset (rectus abdominis, ob-

liquus abdominis), ojentajalihas (triceps brachii), leveä selkälihas (latissimus dorsi), rintalihas (pectoralis major, pectoralis minor), pakaralihakset (gluteus maximus, gluteus medius, gluteus minimus), etureidet (quadriceps femoris: rectus femoris, vastus medialis, vastus intermedius, vastus lateralis), takareidet (biceps femoris, semitendinosus, semimembranosus) ja pohkeet (soleus ja gastrocnemius). EMG-puku koostuu EMG-paidasta ja EMG-housuista. Yhteensä siis saatiin EMG-arvot 15kanavasta. Paidasta EMG-arvo tulee seitsemästä eri lihasryhmästä ja housuista kahdeksasta (neljä oikealta ja neljä vasemmalta puolelta). Mittausmenetelmä oli valittu esitestien perusteella hyvän signaali-kohinasuhteen perusteella.

EMG:stä tarkasteltiin EMG-arvojen RMS-amplitudien keskiarvoja, koska tätä kautta signaali-kohinasuhde saatiin pienemmäksi. Lisäksi EMG_{max} mitattiin ennen hiihtosuorituksia EMG:n maksimi-arvot, jotta voitiin tarkastella lihasaktiivisuuden suhteellisia arvoja. Kaikki tarkastellut EMG-arvot ovat suhteellisia arvoina, joka on hiihtosuorituksen tietyistä vaiheesta saatu arvo suhteutettu vastaavan lihaksen isometrisen maksimi-voimatestin arvoon.

7.3.3 Nopeusmittaus

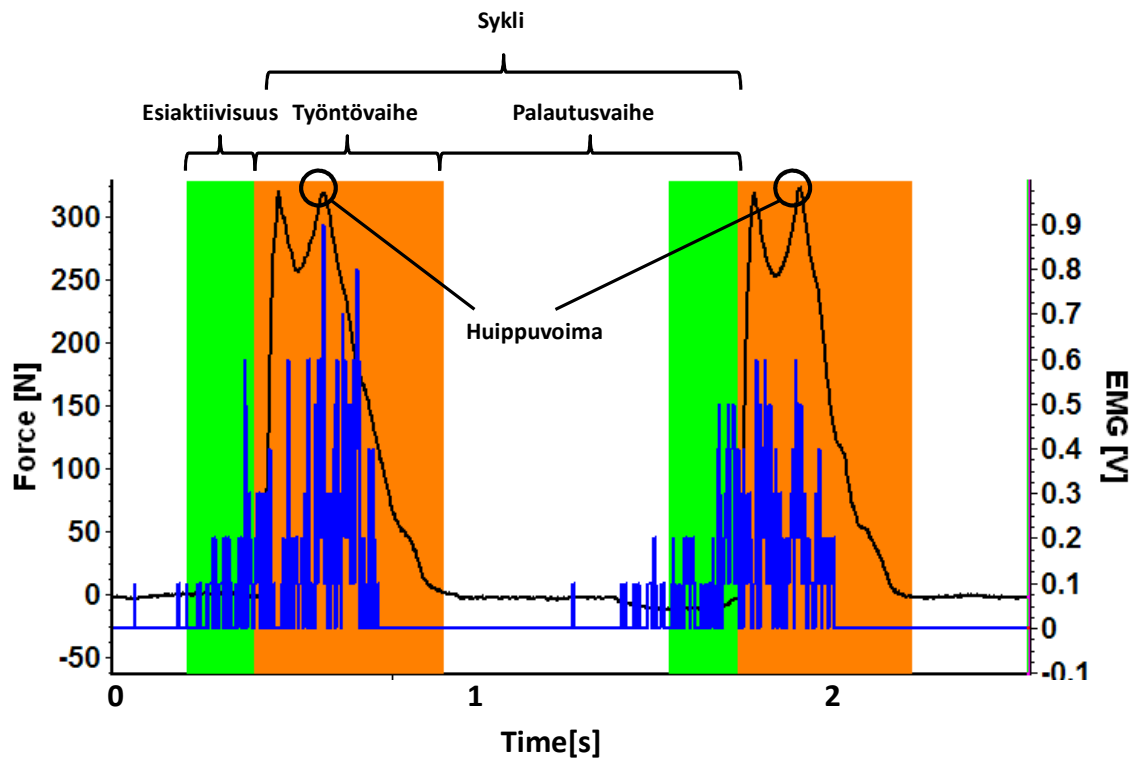
Kaikki lyhyet pätkät suoritettiin tutkan (Jenoptik LDM 300 C SPORT, Jena Saksa) avulla hiihtäjän aktiivisen nopeuden määrittämiseksi. Tutkan dataa oli käytetty tallentamaan maksiminopeuksia sekä suoritusten aikoja. Tutka sijaitsi mittausjärjestelyissä mittausalueen takana, mistä nopeudet tutkattiin.

7.4 Muuttujat

7.4.1 Syklimuuttujat

Yksi tasatyöntösykli määritettiin alkavaksi siitä, kun sauvat osuvat maahan ja loppuvaksi, kun sauvat seuraavan kerran osuvat maahan. Tämä tasatyöntösykli voidaan jakaa työntövaiheeseen, jossa sauvan piikki on maassa ja sauvavoimia tuotetaan, sekä palau-

tusvaiheeseen, missä sauva on ilmassa ja sauvavoimat on nolla. Myös ergolla sykli jaettiin samalla tavalla työntövaiheeseen (veto) ja palautusvaiheeseen. Kaikki saadut arvot oli määritelty ja laskettu keskiarvoina kahdeksasta tasatyöntösyklistä. Lisäksi syklistä oli laskettu myös työntö- ja palautusvaiheen suhteelliset kestot. (Kuva 3.)



KUVA 3. Kuvaajissa on kaksi tasatyöntösykliä. Kuvaajaan on eroteltu syklin eri vaiheet: työntö- ja palautusvaihe. Keltainen käyrä kuvaa tasasuunnattua EMG-aktiivisuutta (tässä tapauksessa ojentajalihaksen osalta), josta laskettiin vihreän alueen osalta esiaktiivisuusarvo (100ms:n ajalta) ja oranssin alueen osalta työntö-ajan aikainen aktiivisuusarvo. Huippuvoimapiikit on merkattu kuvaan molempien syklien osalta. Impulssivoima on oranssialueen punaisen raakakäyrän ja nollatason väliin jäävä pinta-ala. Keskivoima on oranssilta alueelta voiman keskimääräinen arvo.

7.4.2 Voimamuuttujat

Kaikki mitatut voimat ovat suhteessa kehonpainoon (% kehon painosta). Voimamuuttujia ovat: suhteellinen sauvojen huippuvoima (rPPF), suhteellinen sauvavoiman impulssi (i_PF_r) sekä suhteellinen keskivoima (av_PF_r). Keskivoima on työnnön ajalta keskimääräinen voima. Impulssivoima on voimakäyrän alle jäävä pinta-ala. Huippuvoima on sauvan maahanlyönti-iskun muodostaman piikin jälkeisen aktiivisen voimantuoton korkein hetkellinen arvo. (Kuva 3.)

7.4.3 EMG-muuttujat

EMG-aktiivisuudet oli ylävartalon lihaksista mitattu työnnön ajalta RMS-arvon keskiarvo (kuvassa 3 oranssialue). Lihasten esiaktiivisuudet oli mitattu ja laskettu 100 millisekunnin ajalta ennen voimantuoton alkua (kuvassa 3 vihreäalue). Jalkojen lihasten sekä vatsalihasten osalta EMG-aktiivisuus oli laskettu kahdeksan syklin aikaisena keskiarvona. Nämä kaikki arvot on suhteutettu isometristen maksimivoimatestien yhteydessä otettuihin isometrisen suorituksen maksimi EMG-arvoihin, ja kaikkien yksikkönä on %.

7.4.4 Muut mitattavat muuttujat

Ergolla suoritettavasta testistä mitataan seuraavat fysiologisesta kuormituksesta kertovat muuttujat: syke, laktaatti joka kuorman välillä, hengityskaasut hengityskaasuanalysaattorilla (Jaeger Oxygen Pro, VIASYS Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa) sekä SkiErgon antamat tulokset kirjataan ylös, jotka ovat vetotiheys, teho (watteina), matka ja nopeus, kuitenkin esimerkiksi vetotiheys (syklin frekvenssi) laskettiin myös voimamuuttujien perusteella. Myös hiihdon kestävyystestistä mitattiin syke ja laktaatti.

7.5 Datan keräys ja analysointi

Sauvavoimat ja EMG-muuttuja-arvot kerättiin datan keräysjärjestelmällä, joka koostui AD-muuntimesta (keräystaajuus 1 kHz, NI 9205, National Instruments, Austin Texas, USA) ja langattomasta lähettimestä (WLS-9163, National Instruments, Austin Texas, USA). Lähettimeltä data siirrettiin langattomasti PC tietokoneelle, jossa oli tehty datan keruu ohjelma (LabVIEW 8.5; National Instruments, Austin Texas, USA). Kaikki data oli kerätty samalla järjestelmällä ja täten synkronisaatiossa. Mukana ”juomavyössä” kulkeneiden laitteiden paino oli yhteensä 2,27 kg.

Kaikki data (voima, emg, syklin muuttujat) oli analysoitu ja keskiarvostettu 9 syklin ajalta käyttämällä IKE-master v. 1.34 ohjelmaa (IKE Software Solutions, Salzburg Itävalta) ja Microsoft Office Excel 2007 ohjelmaa (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA).

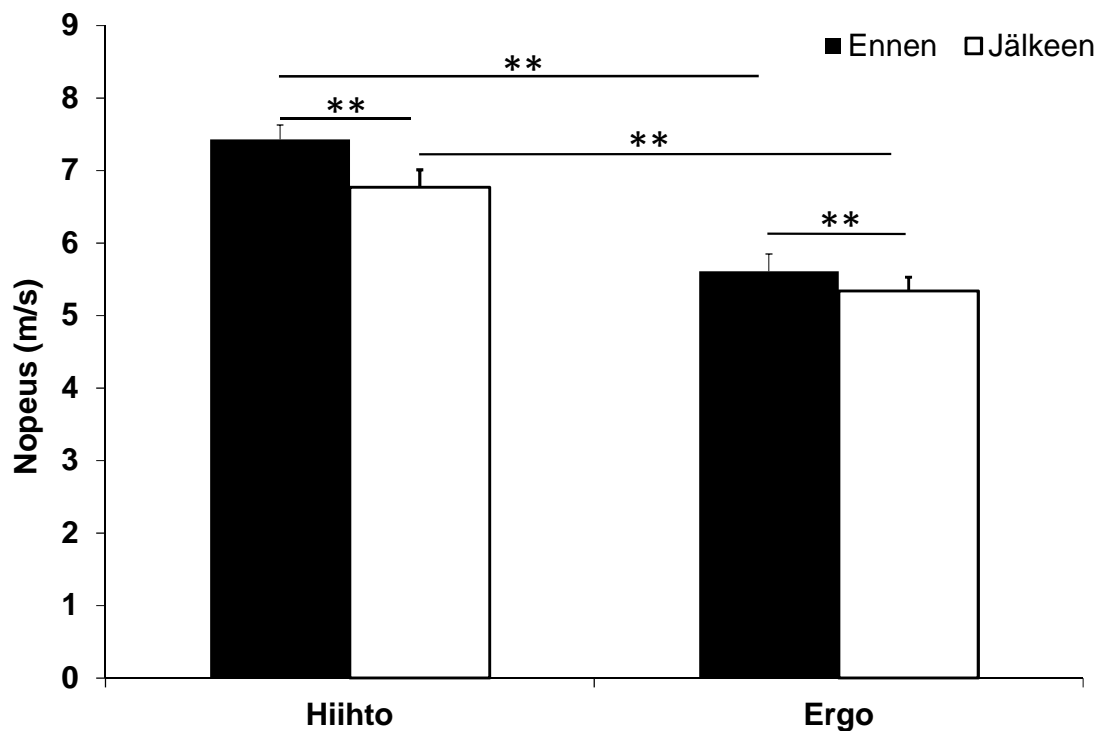
7.6 Tilastolliset muuttujat

Kaikista muuttujista tilastolliset ajot tehtiin käyttämällä SPSS 18.0 ohjelmaa (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Kaikesta datasta tarkastettiin aineiston normaalius. Mitatuista muuttujista laskettiin keskiarvot sekä keskihajonnat Excel 2010 ohjelmalla (Microsoft Corp. Redmond, USA). Myös kuvaajat piirrettiin Excel 2010 ohjelman avulla. Tilastollisen merkitsevyyden taso oli asetettu $P < 0.05$. Vertailtaessa testejä keskenään ja tehtäessä ennen jälkeen vertailuja käytettiin parillista t-testiä. Pearsonin korrelaatiotestiä käytettiin puolestaan haettaessa yhteyksiä lopputulokseen tai suoritukseen.

8 TULOKSET

8.1 Maksiminopeudet lumella ja ergometrillä

Lumella ”tuoreena” mitatussa maksiminopeuden mittauksessa saavutettiin $7,43 \pm 0,20$ m/s maksiminopeus. Vastaava nopeus oli kestävyyskuormituksen jälkeen $6,77 \pm 0,24$ m/s. Näiden kahden nopeuden välillä on tilastollisesti merkitsevä ero ($P < 0,01$). 6 km maksimaalisen tasatyöntötestin kestävyyskuormituksen kesto oli $17:37 \pm 1:02$. Ergolla saavutetut maksiminopeudet olivat puolestaan ”tuoreena” $5,61 \pm 0,24$ m/s ja väsyneenä $5,34 \pm 0,19$ m/s, ja myös näiden nopeuksien välillä on erittäin merkitsevä ero ($P < 0,01$). Myös ero ergon ja hiihdon välillä molemmissa tilanteissa on tilastollisesti merkitsevä ($P < 0,01$ molemmissa). (Kuva 4.)



KUVA 4. Kuvaajassa on esitetty hiihdon ja ergon maksiminopeudet ennen ja jälkeen kestävyyskuormitusta. Tulokset on esitetty muodossa koko ryhmän keskiarvo \pm keskihajonta. ** $P < 0,01$.

8.2 Tasatyöntösuorituksen vertailu hiihdon ja ergometrin välillä ennen kuormitusta

8.2.1 Erot syklimuuttujissa

Maksimaalisella nopeudella hiihdettyä ergolla yhteen sykliin käytetty aika oli 17,1 % pidempi ja ergolla syklin frekvenssi puolestaan on 12,2 % pienempi kuin lumella hiihdettyä ($P < 0.05$ molemmissa). Suurimmaksi osaksi tämä ero johtuu 26,8 % pidemmästä työntöajasta ($P < 0.01$) ergolla. Myös syklin suhteellisista osuuksista löytyi ero, sillä suhteellinen työntöaika oli ergolla 8,8 % pidempi ja vastaavasti sauvojen suhteellinen palautusaika 6,8 % lyhyempi ($P < 0.05$). (Taulukko 2.) Myös syklin pituus oli ergolla 11,6 % lyhyempi ($P < 0.05$). (Kuva 5.)

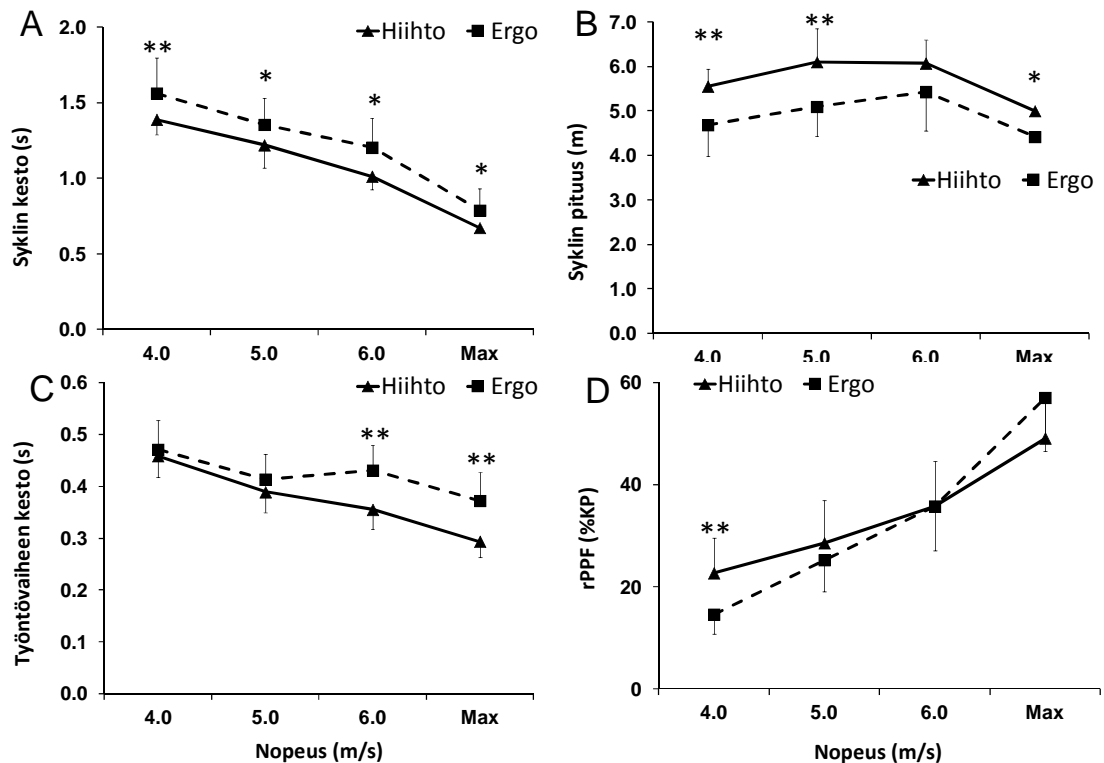
Submaksimaalisissa nopeuksissa eroja oli sykleissä ergon ja lumella hiihdon välillä. Nopeudella 6 m/s syklin kesto oli ergolla 19,0 % pidempi kuin lumella hiihdossa ($P < 0.05$). Tämä johtui 21,3 % pidemmästä työntöajasta ($P < 0.01$) ja 17,8 % pidemmästä sauvojen palautusajasta ($P < 0.05$). Nopeudella 5 m/s erot olivat pienempiä, sillä syklin aika oli ergolla 11,0 % pidempi ja tämä johtui lähinnä sauvojen palautusajasta. Sauvojen palautusaika oli 13,2 % pidempi ergometrillä (molemmissa $P < 0.05$), mutta sen sijaan työntöajassa ei ollut eroja. Myös nopeudella 4 m/s erot olivat pienempiä kuin nopeudella 6 m/s, sillä syklin ajassa ergo oli 12,5 % pidempi ($P < 0.01$). Tämä johtui jälleen sauvojen palautusajasta, jossa oli 17,4 % ero tilanteiden välillä ($P < 0.05$). Kuitenkin tässä nopeudessa myös työnnön suhteellisissa osuuksissa löytyi ero maksiminopeuden tapaan, sillä suhteellinen työntöaika oli 7,6 % lyhyempi ergolla ja vastaavasti palautusaika 3,7 % pidempi (molemmissa $P < 0.05$). (Taulukko 2.)

Syklin pituudet olivat submaksimaalisissakin nopeuksissa ergolla pienempiä. Kuitenkin kovimmalla vakionopeudella, jolla käytettiin suurimpia syklin pituuksia, ei tilastollista eroa ollut. Sen sijaan 5 m/s nopeudella ergolla käytettiin 16,6 % lyhyempää syklin pituutta ja 4 m/s nopeudella puolestaan 15,7 % lyhyempää (molemmissa $P < 0.01$) (Kuva 5.)

TAULUKKO 2. Sykli- ja voimamuuttujat ennen kestävyystestiä suoritetuista tasatyöntöpätkistä.

<i>Nopeus / Muuttujat</i>	CT (s)	PT (s)	rPT (%)	RT (s)	rRT (%)	rPPF	i_PF_r	av_PF_r
Hiihto								
4 m/s	1.41 ± 0.08	0.46 ± 0.04	33 ± 2	0.94 ± 0.06	67 ± 2	23.8 ± 6.3	6.2 ± 2.1	13.2 ± 4.0
5 m/s	1.22 ± 0.15	0.39 ± 0.04	32 ± 3	0.83 ± 0.13	68 ± 3	29.5 ± 8.3	6.3 ± 2.3	15.8 ± 4.5
6 m/s	1.01 ± 0.09	0.35 ± 0.04	35 ± 4	0.66 ± 0.08	65 ± 4	35.7 ± 8.8	6.9 ± 2.1	19.2 ± 5.4
Max	0.67 ± 0.03	0.29 ± 0.03	44 ± 5	0.38 ± 0.04	56 ± 5	49.1 ± 7.5	7.2 ± 1.4	24.3 ± 4.4
Ergo								
4 m/s	1.56 ± 0.24 **	0.47 ± 0.06	31 ± 4*	1.09 ± 0.23 *	69 ± 4*	14.6 ± 3.8 **	4.1 ± 0.8 *	8.8 ± 1.8 **
5 m/s	1.35 ± 0.18 *	0.41 ± 0.05	31 ± 4	0.94 ± 0.16 *	69 ± 4	25.3 ± 6.1	5.7 ± 1.0	13.7 ± 2.1
6 m/s	1.20 ± 0.19 *	0.43 ± 0.05 **	36 ± 3	0.77 ± 0.16 *	64 ± 3	35.7 ± 8.7	8.0 ± 1.6	18.5 ± 2.9
Max	0.79 ± 0.14 *	0.37 ± 0.05 **	48 ± 3*	0.42 ± 0.09	52 ± 3*	57.0 ± 10.4	9.3 ± 2.1 *	25.3 ± 4.1

Muuttujien arvot ovat kaikkien koehenkilöiden keskiarvo ± keskihajonta. Lyhenteiden selitykset ovat: CT on syklin aika (s); PT on syklin työntövaiheen aika (s) eli se vaihe, minkä ajan sauvat ovat lumessa ja voimaa tuotetaan; rPT on työntöajan suhteellinen osuus koko syklistä; RT on sauvojen palautusvaiheen kesto, eli se aika syklistä, kun sauvat ei koske lumeen; rRT on sauvojen palautusvaiheen suhteellinen osuus koko syklistä; rPPF on kehon painoon suhteutettu työnnön huippuvoima, i_PF_r on kehon painoon suhteutettu työnnön impulssivoima ja av_PF_r on kehon painoon suhteutettu työnnön keskivoima. * P < 0.05. ** P < 0.01. Erot kertovat hiihdon ja ergon vastaavien nopeuksien välillä olevaa eroa.



KUVA 5. A) Koko tasatyöntösyklin kesto eri nopeuksilla ergolla ja hiihtäen. B) Syklin pituus (m) eri nopeuksilla ergolla ja hiihtäen. C) Syklin työntövaiheen kesto eri nopeuksilla ergolla ja hiihtäen. D) Suhteellinen huippuvoima eri nopeuksilla ergolla ja hiihtäen. Kaikissa kuvaajissa tulokset on esitetty muodossa koko ryhmän keskiarvo \pm keskihajonta. * P < 0.05. ** P < 0.01. Erot kertovat hiihdon ja ergon vastaavien nopeuksien välillä olevaa eroa.

8.2.2 Erot voimamuuttujissa

Maksiminopeudella ero voimantuoton osalta ergon ja hiihdon välillä löytyi pelkästään impulssivoimassa, sillä siinä ergolla tuotettiin 28,5 % enemmän voimaa (P<0.05). Maksiminopeudella rPPF arvo oli hiihtäessä $49,1 \pm 7,5$ % kehon painosta ja ergolla puolestaan $57,0 \pm 10,4$ % kehon painosta, näiden välillä ei tosin ollut tilastollista eroa. Koviimmassa vakionopeuksissa 5 m/s ja 6 m/s ei voimantuoton osalta löytynyt eroa yhdestäkään voimamuuttujasta. Sen sijaan kevyimmällä nopeudella hiihdettäessä ergon voimantuotto oli selvästi suurempaa, sillä keskivoimassa ero 31,1 % ja huippuvoimassa 35,6 % tilanteiden välillä. Nämä erot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä (P<0.01) ja impulssivoimassa 30,2 %:n erolla tilastollisesti merkitseviä. (P<0.05). (Taulukko 2.)

8.2.3 Erot lihasaktiivisuuksissa

Hiihdon ja ergon lihastyön osalta maksiminopeuksista löytyi seuraavia eroja: leveää selkälihasta aktivoitiin ergolla 35,4 % vähemmän etenkin esiaktiivisuusvaiheessa ($P<0.05$). Myös takareisiä 48,9 % ($P<0.01$) ja pakaralihaksia 31,6 % ($P<0.05$) aktivoitiin vähemmän ergolla suoritettavassa tasatyönnössä. (Taulukko 3. ja 4.)

Puolestaan lihastyön osilta submaksimaalisista nopeuksista löydettiin seuraavia eroja: rintalihasta aktivoitiin työntövaiheessa 24,7 % (6 m/s nopeudella) ja takareisiä 41,8 % (6 m/s nopeudella) vähemmän ergolla kuin lumella suoritettavassa tasatyönnössä (molemmissa $P<0.05$). Hitaammalla nopeudella (5 m/s) eroja oli myös leveän selkälihaksen osalta, missä esiaktiivisuus oli ergolla 31,1 % korkeampi ja työntövaiheen osalta puolestaan 41,0 % matalampi ($P<0.05$). Tällä nopeudella puolestaan rintalihasten aktivointi oli suurempaa ergolla 62,4 % ($P<0.05$). (Taulukko 3. ja 4.)

Hitaimmalla submaksimaalisella nopeudella 4 m/s eroja lihasaktiivisuuksissa oli hiihdon ja ergon osalta eniten. Levää selkälihasta aktivoitiin tällä nopeudella ergolla 42,0 % vähemmän työntövaiheessa ($P<0.01$), mutta esiaktiivisuus oli puolestaan ergolla 54,1 % suurempaa ($P<0.05$). Rintalihasten osalta tilanne oli kuten edellisessä nopeudessa, eli ergolla aktivoitiin jopa 102,1 % enemmän esiaktiivisuusvaiheessa ($P<0.01$). Vatsalihasten osalta ergolla lihasaktiivisuudet olivat puolestaan 55,0 % pienempiä ($P<0.05$). Ojentajalihaksessa puolestaan esiaktiivisuuden osalta ergolla 56,3 % suurempi aktiivisuus ($P<0.05$), mutta työntövaiheessa 12,6 % pienempi aktiivisuus ($P<0.01$). (Taulukko 3. ja 4.)

TAULUKKO 3. EMG-muuttujat ylävartalon osalta ennen kestävyystestiä suoritetuista tasatyöntöpätkistä.

<i>Nopeus / Muuttujat</i>	Tric PreAct. (%/MVC)	Tric Poling (%/MVC)	Latis PreAct. (%/MVC)	Latis Poling (%/MVC)	Pect PreAct. (%/MVC)	Pect Poling (%/MVC)
Hiihto						
4 m/s	9.9 ± 3.9	52.0 ± 10.0	19.1 ± 10.3	84.6 ± 20.5	14.0 ± 7.3	34.7 ± 13.1
5 m/s	15.2 ± 6.0	64.0 ± 15.5	28.5 ± 12.8	101.8 ± 27.7	22.6 ± 12.6	58.5 ± 25.9
6 m/s	24.8 ± 7.2	78.0 ± 20.6	48.6 ± 27.1	110.2 ± 27.7	51.6 ± 31.9	91.2 ± 35.2
Max	52.4 ± 16.1	84.9 ± 21.3	114.5 ± 55.4	128.3 ± 34.2	147.4 ± 50.8	125.8 ± 58.7
Ergo						
4 m/s	15.5 ± 6.2*	45.5 ± 8.9**	29.5 ± 9.0*	49.1 ± 16.6**	28.4 ± 10.5**	33.9 ± 11.9
5 m/s	21.0 ± 9.3	70.4 ± 17.0	37.4 ± 13.9*	68.9 ± 26.7*	34.2 ± 7.2	47.8 ± 13.1*
6 m/s	24.1 ± 7.9	86.2 ± 20.9	49.1 ± 26.2	85.5 ± 32.0	59.3 ± 24.2	68.6 ± 17.7*
Max	46.3 ± 23.8	108.9 ± 30.8	74.0 ± 23.5*	100.9 ± 26.5	173.2 ± 95.8	117.5 ± 41.3

Muuttujien arvot ovat kaikkien koehenkilöiden keskiarvo ± keskihajonta. Lyhenteiden selitykset ovat: Tric PreAct. = Ojentalihasten esiaktiivisuus 100 ms:n ajalta ennen työnnön alkua, Tric Poling = Ojentalihasten aktiivisuus työnnön ajalta, Latis PreAct. = Leveän selkälihakseen esiaktiivisuus 100 ms:n ajalta ennen työnnön alkua, Latis Poling = Leveän selkälihakseen aktiivisuus työnnön ajalta, Pect PreAct. = Rintalihasten esiaktiivisuus 100 ms:n ajalta ennen työnnön alkua ja Pect Poling = Rintalihasten aktiivisuus työnnön ajalta. * P < 0.05. ** P < 0.01. Erot kertovat hiihdon ja ergon vastaavien nopeuksien välillä olevaa eroa.

TAULUKKO 4. EMG-muuttujat alavartalon ja vatsalihasten osalta ennen kestävyystestiä suoritetuista tasatyöntöpätkistä.

<i>Nopeus / Muuttujat</i>	Calf (%/MVC)	Quads (%/MVC)	Ham (%/MVC)	Gluteus (%/MVC)	Abdominis (%/MVC)
Hiihto					
4 m/s	19.2 ± 12.2	13.2 ± 5.1	18.1 ± 10.9	8.6 ± 3.0	96.1 ± 77.0
5 m/s	23.6 ± 14.1	17.4 ± 5.8	22.5 ± 12.5	10.4 ± 4.2	82.0 ± 47.9
6 m/s	38.9 ± 20.3	27.6 ± 8.1	37.5 ± 20.3	14.3 ± 5.4	119.3 ± 60.4
Max	48.2 ± 18.5	60.0 ± 16.7	99.1 ± 33.7	38.5 ± 16.4	140.0 ± 41.6
Ergo					
4 m/s	24.6 ± 9.6	9.0 ± 4.2	15.3 ± 5.7	10.6 ± 6.3	43.3 ± 18.0*
5 m/s	29.9 ± 8.3	11.1 ± 4.6	17.0 ± 7.0	11.9 ± 6.2	58.0 ± 26.2
6 m/s	36.7 ± 8.3	17.5 ± 6.8	22.2 ± 8.9*	17.0 ± 15.6	90.0 ± 36.5
Max	46.1 ± 9.2	54.1 ± 28.4	50.6 ± 12.8*	36.6 ± 31.2*	140.3 ± 62.8

Muuttujien arvot ovat kaikkien koehenkilöiden keskiarvo ± keskihajonta. Lyhenteiden selitykset ovat: Calf = pohjelihakset, Quads = etureidet, Hams = takareidet, Gluteus = pakaralihakset ja Abdominis = vatsalihakset. Kaikki taulukon arvot ovat esitetty lihasten isometriseen RMS-arvon maksimiin (mitattu esivoimatesteissä) suhteutettuja arvoja hiihtosuorituksesta (myöskin RMS). Kaikkien muuttujien arvot siis suhteellisesti prosentteina. * $P < 0.05$. Erot kertovat hiihdon ja ergon vastaavien nopeuksien välillä olevaa eroa.

8.3 Tasatyöntösuorituksen vertailu hiihdon ja ergometrin välillä kuormituksen jälkeen

8.3.1 Erot syklimuuttujissa

Kuormituksen jälkeen suoritetuissa maksiminopeusvedoissa ei ollut tilastollisia eroja ergon ja hiihdon välillä muuta kuin absoluuttisessa työntöajassa, missä ergolla työntönnön kesto oli 16,1 % pidempi ($P < 0.05$). Kovimmalla submaksimaalisella 6 m/s nopeudella hiihdettäessä syklistä löytyi enemmän eroja: ergolla syklin aika oli 21,7 % pidempi ($P < 0.01$), ja sitä vastoin syklin frekvenssi 17,3 % lyhyempi ($P < 0.01$). Syklin aika oli

pidempi ergolla, koska työntöaika oli 26,5 % pidempi ($P < 0.01$), ja sauvojen palautusaika oli 19,0 % pidempi ($P < 0.05$). (Taulukko 5.)

TAULUKKO 5. Syklin- ja voimanmuuttujat kestävyystestin jälkeen suoritetuista tasatyöntöpätkistä.

<i>Nopeus / Muuttujat</i>	CT (s)	PT (s)	rPT (%)	RT (s)	rRT (%)	rPPF	i_Pf_r	av_Pf_r
Hiihto								
4 m/s	1.36 ± 0.08	0.48 ± 0.08	36 ± 8	0.88 ± 0.14	64 ± 8	22.7 ± 5.9	6.0 ± 1.4	13.3 ± 3.1
5 m/s	1.13 ± 0.07	0.38 ± 0.03	34 ± 2	0.75 ± 0.05	66 ± 2	27.6 ± 6.4	5.9 ± 1.3	15.6 ± 3.3
6 m/s	0.92 ± 0.05	0.34 ± 0.03	37 ± 5	0.58 ± 0.07	63 ± 5	33.7 ± 7.7	6.5 ± 1.6	19.8 ± 4.7
Max	0.73 ± 0.04	0.31 ± 0.04	43 ± 6	0.41 ± 0.06	57 ± 6	42.4 ± 8.0	6.5 ± 1.4	20.9 ± 4.0
Ergo								
4 m/s	1.56 ± 0.21 **	0.47 ± 0.07	30 ± 3	1.09 ± 0.17 *	70 ± 3	16.2 ± 3.7 **	4.4 ± 0.9 *	9.3 ± 1.6 **
5 m/s	1.36 ± 0.15 **	0.43 ± 0.04 **	32 ± 3*	0.93 ± 0.14 **	68 ± 3*	25.5 ± 6.1	5.7 ± 1.0	13.4 ± 2.1*
6 m/s	1.12 ± 0.13 **	0.43 ± 0.05 **	38 ± 3	0.69 ± 0.10 *	62 ± 3	35.3 ± 6.8	7.4 ± 1.5	17.3 ± 2.5*
Max	0.78 ± 0.12	0.36 ± 0.07 *	46 ± 3	0.42 ± 0.07	54 ± 3	52.6 ± 9.1	8.8 ± 2.4 *	24.1 ± 3.5

Muuttujien arvot ovat kaikkien koehenkilöiden keskiarvo ± keskihajonta. Lyhenteiden selitykset ovat: CT on syklin aika (s); PT on syklin työntövaiheen aika (s) eli se vaihe, minkä ajan sauvat ovat lumessa ja voimaa tuotetaan; rPT on työntöajan suhteellinen osuus koko syklistä; RT on sauvojen palautusvaiheen kesto, eli se aika syklistä, kun sauvat ei koske lumeen; rRT on sauvojen palautusvaiheen suhteellinen osuus koko syklistä; rPPF on kehon painoon suhteutettu työntöön huippuvoima, i_Pf_r on kehon painoon suhteutettu työntöön impulssivoima ja av_Pf_r on kehon painoon suhteutettu työntöön keskivoima. * $P < 0.05$. ** $P < 0.01$. Erot kertovat hiihdon ja ergon vastaavien nopeuksien välillä olevaa eroa.

Hitaammilla submaksimaalisilla nopeuksilla puolestaan löytyi samansuuntaiset erot kuin maksiminopeudella. 5 m/s nopeudella syklin aika oli ergolla 20,0 % pidempi kuin lumella hiihdettäessä ($P < 0.01$), koska työntöaika oli 11,5 % pidempi ($P < 0.01$), ja sauvojen palautusaika oli 24,3 % pidempi ($P < 0.01$). Tällä nopeudella eroja löytyi myös syklin suhteellisista osuuksista, sillä ergolla suhteellinen työntöaika oli 3,6 % lyhyempi ja sauvojen suhteellinen palautusaika 7,1 % pidempi (molemmissa $P < 0.05$). Hitaimmassa no-

peudessa eroja oli vain syklin ajassa, syklin frekvenssissä ja sauvojen palautusajassa. Syklin aika oli ergolla 14,8 % pidempi ($P<0.01$) ja syklin frekvenssi puolestaan ergolla 12,4 % pienempi ($P<0.01$), sekä sauvojen palautusaika oli ergolla 23,3 % pidempi kuin lumella hiihtäessä ($P<0.05$). (Taulukko 5.)

8.3.2 Erot voimamuuttujissa

Kuten ennen kuormitustakin maksiminopeudella ero voimantuoton osalta ergon ja hiihdon välillä löytyi pelkästään impulssivoimassa, jossa ergolla tuotettiin 35,3 % enemmän voimaa ($P<0.05$). Rasituksen jälkeisissä maksimivedoissa rPPF arvo oli puolestaan hiihdettäessä $42,4 \pm 8,0$ % kehon painosta ja ergolla puolestaan $52,6 \pm 9,1$ % kehon painosta, mutta näiden välillä ei ollut tilastollista eroa.

Kovimmassa vakionopeudessa 6 m/s ero voimantuoton osalta oli keskivoimassa, missä ergolla tuotettiin 12,8 % vähemmän voimaa kuin lumella ($P<0.05$). Myös 5 m/s nopeudella keskivoimassa oli tilastollisesti merkitsevä ero ($P<0.05$), vaikka voimien ero olikin enää 14,1 %. Sen sijaan kevyimmällä nopeudella hiihdettäessä oli ergon voimantuotto selvästi suurempaa, sillä keskivoimassa ero oli 29,6 % ja huippuvoimassa 28,6 %. Nämä tulokset olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($P<0.01$). Impulssivoima oli myös 26,2 % suurempaa ja tämäkin tulos on tilastollisesti merkitsevä ($P<0.05$). (Taulukko 5.)

8.3.3 Erot lihasaktiivisuuksissa

Hiihdon ja ergon lihastyön osalta maksiminopeuksissa oli pelkästään seuraavia eroja: takareisiä aktivoitiin 48,9 % ($P<0.01$) ja leveää selkälihasta 40,2 % ($P<0.05$) vähemmän ergolla suoritettavassa tasatyönnössä. (Taulukko 6. ja 7.)

Puolestaan submaksimaalisten nopeuksien osalta löydettiin seuraavia eroja, 6 m/s nopeudella rintalihasta 37,9 % ($P<0.05$), leveää selkälihasta 46,3 % ($P<0.05$), etureittä 45,7 % ($P<0.01$), pakaralihaksia 49,2 % ($P<0.05$) ja takareittä 51,7 % ($P<0.01$) aktivoidaan työntövaiheessa ergolla vähemmän kuin lumella hiihtäessä. Hitaammalla nopeu-

della (5 m/s) eroja löytyi samaan tapaan leveän selkälihakseen työntövaiheen osalta, sillä sen aktivointi oli 39,7 % matalampaa ergolla ($P<0.05$). Myös rintalihasten 35,0 % ($P<0.05$), etureisien 47,9 % ($P<0.01$) ja takareisien 40,7 % ($P<0.01$) osalta lihasaktiivisuudet olivat ergolla matalampia. (Taulukko 6. ja 7.)

Hitaimmalla submaksimaalisella nopeudella 4 m/s eroja lihasaktiivisuuksissa oli hiihdon ja ergon osalta eniten. Levää selkälihasta aktivoitiin tällä nopeudella 55,0 % vähemmän työntövaiheessa ($P<0.01$), mutta esiaktiivisuus oli 81,5 % suurempaa ($P<0.05$). Rintalihaksia ergolla aktivoitiin 76,0 % enemmän ($P<0.05$). Ojentajalihaksessa puolestaan työntövaiheessa 22,7 % pienempi aktiivisuus ergolla ($P<0.01$). Takareisissä ja etureisissä oli edellisten nopeuksien tapaan ergolla 32,8 % ja 46,8 % pienemmät lihasaktiivisuudet ($P<0.05$, $P<0.01$) (Taulukko 6. ja 7.)

TAULUKKO 6. EMG-muuttujat ylävartalon osalta kestävyystestin jälkeen suoritetuista tasatyöntöpätkistä.

<i>Nopeus / Muuttujat</i>	Tric PreAct. (%/MVC)	Tric Poling (%/MVC)	Latis PreAct. (%/MVC)	Latis Poling (%/MVC)	Pect PreAct. (%/MVC)	Pect Poling (%/MVC)
Hiihto						
4 m/s	9.2 ± 2.4	53.1 ± 6.2	14.5 ± 11.2	86.4 ± 44.6	11.8 ± 6.1	39.7 ± 15.9
5 m/s	13.9 ± 3.9	59.7 ± 7.8	27.8 ± 19.6	80.0 ± 32.1	26.7 ± 20.9	62.8 ± 31.5
6 m/s	22.2 ± 7.4	66.9 ± 9.4	37.6 ± 19.6	102.0 ± 51.7	48.5 ± 26.4	88.4 ± 40.6
Max	33.8 ± 9.6	64.1 ± 9.9	74.7 ± 40.2	114.9 ± 59.7	85.2 ± 39.8	97.4 ± 58.1
Ergo						
4 m/s	12.6 ± 4.4	41.0 ± 10.7**	26.2 ± 8.7*	39.0 ± 14.2**	20.8 ± 4.3	29.5 ± 17.5*
5 m/s	16.4 ± 5.4	58.4 ± 16.5	30.6 ± 8.3	48.3 ± 15.6*	33.7 ± 16.2	40.8 ± 16.4*
6 m/s	20.4 ± 8.6	65.4 ± 18.4	35.8 ± 10.7	54.8 ± 19.2*	41.1 ± 11.9	54.9 ± 25.9*
Max	37.4 ± 23.5	86.1 ± 28.8	51.1 ± 13.9	68.7 ± 23.7*	94.1 ± 61.5	79.8 ± 29.6

Muuttujien arvot ovat kaikkien koehenkilöiden keskiarvo ± keskihajonta. Lyhenteiden selitykset ovat: Tric PreAct. = Ojentalihasten esiaktiivisuus 100 ms:n ajalta ennen työnnön alkua, Tric Poling = Ojentalihasten aktiivisuus työnnön ajalta, Latis PreAct. = Leveän selkälihakseen esiaktiivisuus 100 ms:n ajalta ennen työnnön alkua, Latis Poling = Leveän selkälihakseen aktiivisuus työnnön ajalta, Pect PreAct. = Rintalihasten esiaktiivisuus 100 ms:n ajalta ennen työnnön alkua ja Pect Poling = Rintalihasten aktiivisuus työnnön ajalta. * P < 0.05. ** P < 0.01. Erot kertovat hiihdon ja ergon vastaavien nopeuksien välillä olevaa eroa.

TAULUKKO 7. EMG-muuttujat alavartalon ja vatsalihasten osalta kestävyystestin jälkeen suoritetuista tasatyöntöpätkistä.

<i>Nopeus / Muuttujat</i>	Calf (%/MVC)	Quads (%/MVC)	Hams (%/MVC)	Gluteus (%/MVC)	Abdominis (%/MVC)
Hiihto					
4 m/s	16.2 ± 6.5	12.8 ± 5.2	21.8 ± 10.8	8.9 ± 3.1	58.8 ± 23.8
5 m/s	22.7 ± 11.5	18.2 ± 6.6	28.0 ± 13.8	11.2 ± 3.7	76.5 ± 28.4
6 m/s	31.2 ± 11.2	26.0 ± 9.0	43.1 ± 23.7	16.1 ± 5.8	93.7 ± 37.4
Max	39.0 ± 15.6	38.5 ± 8.4	74.5 ± 26.8	25.0 ± 11.6	125.0 ± 43.5
Ergo					
4 m/s	18.3 ± 7.9	6.8 ± 2.4**	14.7 ± 6.8*	8.7 ± 3.2	45.0 ± 30.4
5 m/s	22.8 ± 7.8	9.5 ± 3.5**	16.6 ± 6.7**	10.0 ± 4.7	54.0 ± 30.7
6 m/s	26.0 ± 8.2	14.1 ± 5.4**	20.8 ± 6.9**	11.2 ± 5.8 *	70.1 ± 34.0
Max	33.0 ± 9.7	33.3 ± 16.3	38.1 ± 13.2**	22.3 ± 15.6	114.5 ± 41.7

Muuttujien arvot ovat kaikkien koehenkilöiden keskiarvo ± keskihajonta. Lyhtenteiden selitykset ovat: Calf = pohjelihakset, Quads = etureidet, Hams = takareidet, Gluteus = pakaralihakset ja Abdominis = vatsalihakset. Kaikki taulukon arvot ovat esitetty lihasten isometriseen RMS-arvon maksimiin (mitattu esivoimatesteissä) suhteutettuja arvoja hiihtosuorituksesta (myöskin RMS). Kaikkien muuttujien arvot siis suhteellisesti prosentteina. * P < 0.05. ** P < 0.01. Erot kertovat hiihdon ja ergon vastaavien nopeuksien välillä olevaa eroa.

8.4 Väsymysprosentit hiihdossa ja ergometrillä

Voiman osalta ei löydetty eroja tasatyöntökilpailun ja ergolla suoritettujen nousevatehoisen kestävyyskuormituksen vaikutuksesta. Vertailtaessa muutosprosentteja näiden suoritettujen kuormitusten osalta huomataan väsymyksen aiheuttaneen yhtä suuret muutokset mitattuihin voima-arvoihin.

Väsymyksestä seurasi muutoksia syklin ominaisuuksiin, mutta nämä muutokset olivat kuitenkin lähes samanlaisia ergolla ja lumella suoritettujen tasatyöntönsä osalta. Tilastolli-

sesti ainoa merkitsevä ero löydettiin toiseksi kevyimmällä vakionopeudella (5 m/s) hiihdettyäessä. Tällä nopeudella ergolla syklin ominaisuudet pysyivät melko samoina väsymyksen johdosta, mutta lumella tapahtuvassa tasatyönnössä syklin nopeus oli kasvanut väsymyksen seurauksena, ja tämän myötä myös syklin aika ja sauvojen palautusaika olivat lyhentyneet (kaikissa $P < 0.05$).

Väsymysprosentteja vertailtaessa ergon ja lumella tapahtuvan tasatyönnön välillä lihasaktiivisuuksien osalta merkitseviä ja erittäin merkitseviä eroja löytyi submaksimaalisista nopeuksista melko paljon. Kuitenkin verrattaessa muutoksia maksiminopeudella hiihdettyäessä ei tilastollisia muutoksia löydetty ergon ja lumella tapahtuvan tasatyönnön välille. Vertailtaessa kahta kovinta submaksimaalista nopeutta löydettiin erittäin merkitsevät erot rintalihasten ja takareisien osalta ($P < 0.01$), sekä pohkeiden, pakaroiden, selän ja ojentajien aktiivisuuksissa ($P < 0.05$). Kaikissa näissä lihasaktiivisuus ergolla lihasaktiivisuus oli suhteessa pienentynyt enemmän.

8.5 Lihasten aktivoituminen ja kestot

8.5.1 Lihasten aktivoituminen tasatyöntösuorituksessa 6 m/s nopeudella

Lumella tapahtuvan tasatyöntösuorituksen nopeudella 6 m/s alkuvaihetta tutkittaessa huomattiin, että ylävartalossa aktiivisuus alkoi vatsalihaksissa $0,21 \pm 0,11$ sekuntia ennen työntövaiheen voimantuottoa. Lihasten syttyminen oli melko ”yhdenaikaista” välillä $0,07 - 0,04$ sekuntia ennen voimantuoton alkua, ja lihasten syttyminen tapahtui seuraavassa järjestyksessä: ojentajalihakset, leveä selkälihas, ja rintalihakset. Pohjelihasten lihasaktiivisuus ei ollut voimakasta voimantuoton aikana, ja pohkeet ovat aktiivisimmillaan jonkin verran ennen voimantuottoa (edestä korkealta hakiessa). Pohjelihasten syttyminen tapahtui tällä nopeudella hiihdettyäessä $0,44 \pm 0,05$ sekuntia ennen sauvojen voimantuoton alkua.

Väsymyksen seurauksena ajoitukset hieman muuttuivat. Vatsalihasten aktiivisuus alkoi nyt jo $0,25 \pm 0,05$ sekuntia ennen voimantuoton alkua, ja tämä on erittäin merkitsevä

ero väsymyksen ja ”tuoreena” tehdyn suorituksen välillä ($P < 0.01$). Sen sijaan muiden ylävartalolihashasten syttyminen oli melko yhdenaikaista, ja tapahtui hieman ennen voimantuoton alkua sijoittuen välillä 0,06 – 0,04 sekuntia ennen varsinaista voimantuottoa. Syttymisjärjestys oli rintalihakset, leveä selkälihas ja ojentajalihakset. Puolestaan pohjelihashasten syttyminen tapahtui väsyneenä hieman myöhemmin, $0,40 \pm 0,02$ sekuntia ennen suoritusta ($P < 0.01$).

Tasatyöntöä suoritettaessa ergolla nopeudella 6 m/s lihasten aktivoituminen voimantuottoon nähden meni järjestyksessä vatsalihakset ($0,09 \pm 0,04$ sekuntia ennen voimantuottoa), rintalihakset ($0,06 \pm 0,05$ s), leveä selkälihas ($0,05 \pm 0,03$ s) ja ojentajalihakset ($0,02 \pm 0,04$ sekuntia). Näitä verrattaessa lumella tapahtuvaan tasatyöntöön löydettiin vatsalihashasten osalta tilastollisesti erittäin merkitsevästi myöhempi syttyminen ($P < 0.01$). Myös pohkeiden osalta löydettiin ero, sillä ergolla tapahtuvassa tasatyöntösuorituksessa pohkeiden aktivoituminen alkaa jo $0,56 \pm 0,10$ sekuntia ennen voimantuoton alkua ($P < 0.05$).

Vertailtaessa ergolla ennen ja jälkeen kestävyysuoritusta tehtyjä suorituksia nopeudella 6 m/s huomattiin, että aktivoitumisajankohdissa ei ole tilastollisesti merkitseviä eroja. Suuntaa antavia ($P < 0.08$) eroja löytyi kuitenkin muun muassa pohkeiden osalta, missä aktivoituminen oli samalla tavalla kuin lumella siirtynyt myöhemmäksi. Myös vatsalihashasten osalta aktivoituminen oli siirtynyt aiemmaksi $0,08 \pm 0,04$ sekuntia, ja jälkeen tilanteessa $0,12 \pm 0,05$ sekuntia. Myös tämä muutos oli sama kuin hiihdettäessä, mutta pienempi. Muissa lihaksissa aktivoitumisen ajoittuminen oli pysynyt muuttumattomana kestävyyskuormituksen vaikutuksesta, kuten lumellakin hiihdettäessä.

8.5.2 Lihaskäyttöaikausten kestot tasatyöntösuorituksessa 6 m/s nopeudella

Vertailtaessa lumella tapahtuvan 6 m/s nopeudella suoritettavan tasatyöntön pre- ja post-tilanteessa lihaskäyttöaikausten kestoja ja suhteellisia kestoja suhteessa voimantuottoon löydettiin tilastollisesti merkitsevä ero ainoastaan pohjelihashasten käyttöaikausten kestossa ($P < 0.05$). Pohjelihashasten käyttöaikausten kesto päättyi voimantuottoon nähden samaan aikaan. Edellisessä kappaleessa esitettiin pohjelihashasten lihaskäyttöaikausten aiemmasta syt-

tymisestä ja sen myötä aktiivisuuden pidemmästä kehosta. Pohjelihasten aktiivisuuden kesto oli pre-tilanteessa $0,20 \pm 0,05$ sekuntia ja post-tilanteessa $0,14 \pm 0,02$ sekuntia. Voimantuottoon nähden suhteelliset kestot eri ylävartalonlihaksissa oli pre-tilanteessa ojentajalihasten osalta 79 ± 12 %, rintalihasten osalta 68 ± 11 %, vatsalihasten osalta 54 ± 20 % ja leveän selkälihakseen osalta 70 ± 5 %.

Ergolla tapahtuvassa tasatyönnössä ei ollut pre- ja post-tilanteessa tilastollisesti merkitseviä eroja lihasaktiivisuuksien kestojen ja suhteellisten kestojen osalta. Sen sijaan sekä pre- että post-tilanteessa ergolla tapahtuvassa tasatyönnössä lihasaktiivisuuksien absoluuttiset kestot olivat pidemmät pohjelihaksissa, ojentajalihaksissa, rintalihaksissa ja leveässä selkälihaksesta, sekä lyhyemmät vatsalihaksissa ($P < 0.05$ kaikissa). Kuitenkin tarkasteltaessa voimantuoton ajalta voimantuottoon suhteutetuissa (keskeisessä asemassa aktiivisuuden loppumisajankohta) aktiivisuuksissa tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi ero vain ojentajalihaksissa ($P < 0.05$) sekä leveän selkälihasten osalta pre-tilanteessa ($P < 0.05$) lumella tapahtuvan ja ergolla suoritettavan tasatyönnön välillä. Ergolla tapahtuvassa tasatyönnössä lihastyö kesti ojentajalihaksissa ja leveässä selkälihaksesta voimantuoton aikana pidempään.

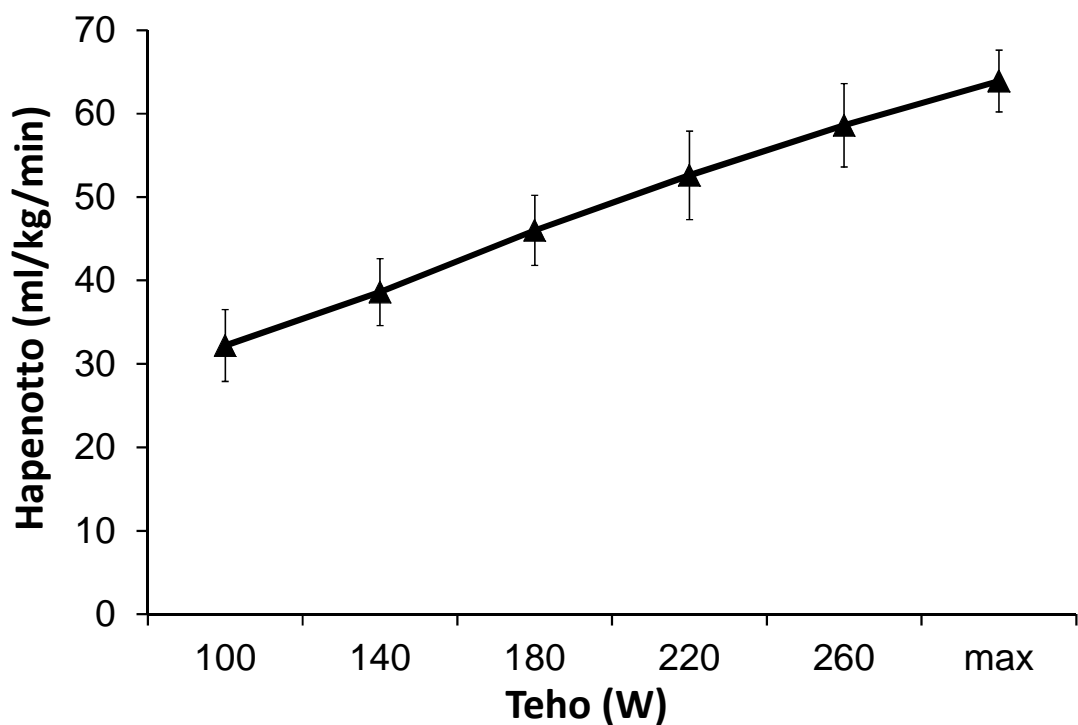
8.6 Fysiologisten muuttujien tulokset

6 km:n tasatyöntökilpailu hiihtotunnelissa kesti $17:37 \pm 1:02$ minuuttia. Nousevatehosen ergon kestävyystestin kesto oli $12:40 \pm 0:58$, joka oli siis selvästi lyhyempi kesto (P<0.01). Kuitenkin nousevatehoinen ergotesti nosti sekä sykkeet, että laktaatit selvästi korkeammalle (P<0.01 molemmissa). Hiihtotunnelissa suoritettun tasatyöntökilpailusuorituksen korkein syke oli 184 ± 10 1/min ja loppu laktaatti oli 6.4 ± 1.5 mmol/L. Sen sijaan ergotestin korkein syke oli 190 ± 9 1/min ja lopun laktaatti oli 10.9 ± 1.5 mmol/L. (Taulukko 8.)

TAULUKKO 8. Hengityskaasumuuttujat sekä laktaatti- ja sykearvot ergotestissä.

<i>Kuorma</i> (W)	HR (1/min)	VE (L/min)	VO ₂ (L/min)	VO ₂ (ml/kg/min)	VCO ₂ (L/min)	RER	TrO ₂	La (mmol/L)
0	132 ± 12	70 ± 10	2.5 ± 0.2	32.2 ± 4.3	2.3 ± 0.2	0.93 ± 0.05	4.7 ± 0.4	4.3 ± 1.1
140	146 ± 13	78 ± 7	3.0 ± 0.1	38.6 ± 4.0	2.7 ± 0.2	0.88 ± 0.05	4.8 ± 0.6	3.7 ± 1.1
180	159 ± 11	96 ± 13	3.6 ± 0.2	46.0 ± 4.2	3.3 ± 0.4	0.91 ± 0.07	4.6 ± 0.6	3.8 ± 0.9
220	172 ± 10	118 ± 16	4.1 ± 0.2	52.6 ± 5.3	4.0 ± 0.4	0.97 ± 0.06	4.4 ± 0.8	4.6 ± 1.2
260	181 ± 9	143 ± 14	4.6 ± 0.2	58.6 ± 5.0	4.7 ± 0.3	1.03 ± 0.06	4.0 ± 0.4	5.5 ± 1.0
300 / 340	190 ± 9	174 ± 13	5.0 ± 0.4	63.9 ± 3.7	5.5 ± 0.4	1.08 ± 0.05	3.5 ± 0.3	10.9 ± 1.5

Muuttujien arvot ovat kaikkien koehenkilöiden keskiarvo ± keskihajonta. Lyhenteiden selitykset ovat: HR on syke (1/min); VE on hengitysventilaatio (L/min); VO₂-arvot ovat kehon painoon suhteutettu hengitetty hapenmäärä minuutissa sekä absoluuttisena arvona, VCO₂ on poistetun hiilidioksidin määrä minuutissa kehon painoon suhteutettuna, RER on hiilidioksidin poiston ja hapenoton suhde, TrO₂ on happiprosentti eli kuinka monta prosenttiyksikköä happea pystytään käyttämään hengitetystä ilmasta, La on sormenpästä mitatulla pika-analysaattorilla mitattu laktaattipitoisuus (mmol/L).



KUVA 6. Kuvaajassa on esitetty ryhmän keskimääräinen hapenkulutus (ml/kg/min) eri tehoisten kahden minuutin kuormien viimeisen puolen minuutin keskiarvoina. Maksimi on laskettu kunkin koehenkilön viimeisestä kuormasta.

8.7 Korrelaatiot suorituksen lopputuloseen

8.7.1 Korrelaatiot hiihdon maksiminopeuteen

Vertailtaessa lihasaktiivisuuksien korrelointia maksiminopeuteen löydettiin yhteys pelkästään pohkeen (soleus) käytöstä. Sekä ”tuoreena” ($r=-0,667$), että väsyneenä ($r=-0,660$) soleuksen käytöllä löydettiin negatiivinen korrelaatio hiihdon maksiminopeuteen ($P<0.05$). Sen sijaan hiihdossa tuotetuista voima-arvoista ei löytynyt korrelaatioita maksimihiihtonopeuteen ennen tai jälkeen kestävyyskuormitusta. Puolestaan kestävyystestin lopputulokseen korrelaatioita ei ole etsitty, koska kelin muuttuminen 2 km:n radalla vaikutti niin selvästi lopputuloksiin.

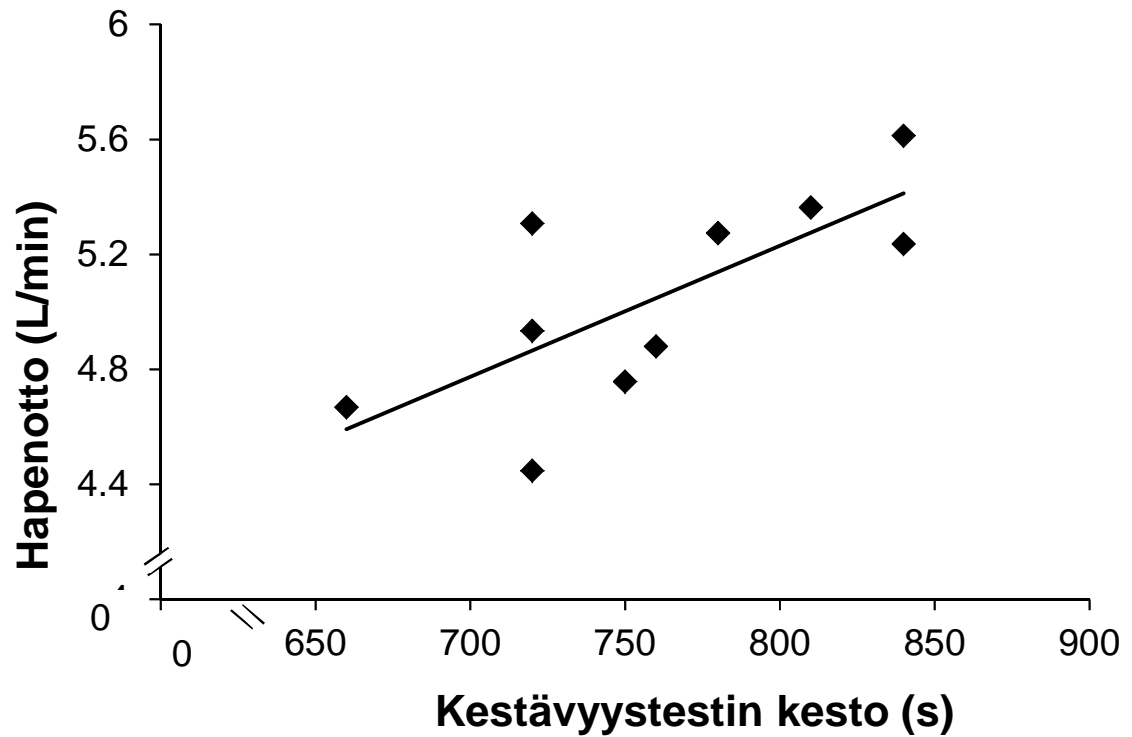
8.7.2 Korrelaatiot ergometritestin lopputulokseen ja maksiminopeuteen

Ergon kestävyystestin lopputulokseen (loppuaika) löydettiin yhteys seuraavista hapenottomuuttujista: hapenotto submaksimaalisilla kuormilla (2-10min, $r=-0,660$, $-0,723$, $-0,710$ ja $-0,643$), laktaatti submaksimaalisilla kuormilla testin loppupuolella (8-10min, $r=-0,665$), maksimiventilaatio ($r=0,678$), maksimihapenotto (L/min) ($r=0,727$), maksimi VCO_2 ($r=0,762$) ja paino ($r=0,733$). ($P<0.01$ VCO_2 , muissa $P<0.05$) (Kuva 7.)

Ergotestin maksiminopeuteen ”tuoreena” löytyi yhteys syklin suhteellisten osuuksien jakautuminen ($r=0,661$ ja $-0,661$), joskaan tämä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($P=0.053$). Eli lyhyempi suhteellinen työntöaika oli yhteydessä kovempaan hiihtonopeuteen ja vastaavasti suhteellisesti pidempi palautusaika. Voimien osalta yhdistävää tekijää ei ”tuoreena” löydetty, mutta väsyneenä kovempaan nopeuteen ergolla oli yhteys vedon huippuvoimalla ($r=0,696$) sekä keskivoimalla ($0,712$) (molemmissa $P<0.05$).

Lihasktiivisuuksien osalta yhteydet kovempiin ergolla saavutettuihin maksiminopeuksiin löytyivät ”tuoreena” ojentajalihasten suhteellisesti pienemmästä lihasaktiivisuudesta ($r=-0,688$), sen sijaan vartalon lihaksia käytettiin suhteellisesti enemmän esimerkiksi selkälihasten osalta ($r=0,654$). Näistä kuitenkin vain tilastollinen merkitsevyys ojentaja-

lihasten osalta ($P < 0.05$). ”Väsyneenä” ei löytynyt tilastollista eroa näiden osalta, mutta pakaralihasten suuremmalla aktivoinnilla oli erittäin merkitsevä ($P < 0.01$) positiivinen yhteys maksiminopeuteen ($r = 0,799$).



KUVA 7. Kuvaajassa on esitetty maksimaalisen hapenottoarvon VO_2 (L/min) korrelaatiota ergon kestävyystestissä jaksamiseen (pidempi aika parempi suoritus), jossa korrelaatioarvona oli $r = 0,72$ ($P < 0.05$).

9 POHDINTA

Tutkimuksen päätuloksia olivat 1) ergolla absoluuttiset työntöajat ovat hitaampia kuin vastaavissa nopeuksissa lumella hiihtäessä, 2) lihasaktiivisuuksien osalta ergolla löydettiin vartalotyönnön (vartalon lihasten parempi hyödyntäminen) yhteys parempiin maksiminopeuksiin, minkä oli jo Holmberg ym. (2005) löytänyt myös lumella tapahtuvaan tasatyöntöön, 3) ergotestin hyvää soveltuvuutta lajiharjoitteluun osoittaa niin lihasaktiivisuudet kuin testin samankaltainen väsytyksivaikutus, 4) lihasaktiivisuusjärjestys oli ergolla ja lumella hiihtäessä hyvin samankaltainen, kuitenkin absoluuttiset lihasaktiivisuusarvot jäivät ergolla hieman pienemmäksi kuin lumella hiihdettäessä, 5) kehitetty kuormitusmalli oli vaatimuksiltaan sopiva mutta kokonaisuuteen tarvitaan pieniä tarkennuksia.

Nousujohteinen ergotesti oli vaativuudeltaan hyvin toimiva kuormitusmalli. Optimaalinen kuormitusmalli olisi rakennettava kehon painoon nähden suhteellisina tehoina. Kehon massan merkitys lopputulokseen muutti myös hieman odotettua tulosta, että ergon lopputulokseen löytyisi korrelaatio VO_{2peak} arvolla, sillä niin löytyikin mutta ei VO_{2peak} (ml/kg/min) arvolla, vaan VO_{2peak} (L/min) arvolla.

Ergolla absoluuttiset työntöajat ovat hitaampia vastaavissa nopeuksissa kuin lumella hiihtäessä. Oletettavaa olisi, että ergolla harjoittelussa onkin painotettava pientä käytettävää ilmanvastusvaihdetta, sekä pyrittävä reippaisiin liikenopeuksiin. Ergotestin väsytyksivaikutusta vertailtaessa väsymysprosenttien kautta niin syklin rakenteessa, voimantuotoissa kuin lihasaktiivisuuksissa, voidaan todeta nousevatehoisen ergotestin aiheuttaneen hyvin tasatyöntökilpailun omaisen väsymyksen.

9.1 Maksiminopeudet lumella ja ergometrillä

Tässä mittauksessa saavutettiin lumella $7,43 \pm 0,20$ m/s maksiminopeus, joka oli kestävyyskuormituksen jälkeen $6,77 \pm 0,24$ m/s. Hiihdon maksiminopeutta alaspäin on tuomassa lyhyt kiihdytysmatka (20 m), jonka jälkeen nopeus on laskettu 50 metrin ajan perusteella eli keskimääräisenä nopeutena 50 metrin matkalta lyhyen kiihdytyksen jäl-

keen. Ergolla saavutetut maksiminopeudet olivat puolestaan ”tuoreena” $5,61 \pm 0,24$ m/s ja väsyneenä $5,34 \pm 0,19$ m/s. Voidaankin katsoa, että Concept2 SkiErgo soutuperusteinen ohjelmisto olisi nyt syytä skaalata hiihtoa vastaaviin nopeuksiin esimerkiksi tämän tutkimuksen tuloksiin pohjautuen. Vaikka mittausten välillä oli 3 viikkoa, niin sen välisen ajan harjoittelutietojen pohjalta voidaan harjoittelun katsoa olleen sen verran kevyehköä, ettei suoritusta oltu todennäköisesti onnistuttu rakentamaan eteenpäin ja mittauspäivät olivat näin hyvin vertailtavissa (Liite 1.).

Tässä tutkimuksessa mitattujen nopeuksien osalta huomataan, että päästään yli 90-luvun ja 2000-luvun alun arvojen, sillä esimerkiksi vielä 90-luvulla kovimmat tasatyöntönopeudet olivat hieman yli 6 m/s (Smith ym. 1996, Millet ym. 1998). Nilsson ym. (2004) tutkimuksessa keskimääräinen kisanopeus oli 5,3 m/s. Kuitenkin jo Stöggl ym. (2010a) mittasivat tutkimuksessaan tasatyöntön maksiminopeuden 1^o asteen ylämäkikulmaan suoritettuna juoksumatolla rullasuksilla hiihtäen, olleen $31,6 \pm 1,8$ km/h, mikä on lähes 9 m/s. Tämä nopeus oli 29-57 % suurempi verrattuna Holmbergin ym. (2005) ja Milleitin ym. (1998) tutkimuksiin. Myös Stöggl ym. (2010b) kertoi Maailman Cupin sprinttikilpailujen keskinopeuksien olevan parhaimmillaan perinteisellä jo 9,5 m/s ja luistellen 10 m/s. Maksimaalisen hiihdon aikana käytetyt korkeat voimantuottoarvot tukevat pohdintaa, että lyhyt kiihdytysmatka on aiheuttanut maksiminopeuden jäämisen odotettua pienemmäksi.

Nopeus hidastui lumella hiihdettyäessä kuormittumisen myötä maksiminopeuden osalta $8,8 \pm 2,2$ %. Osittain nopeuden hidastumisen voidaan katsoa johtuneen syklin sisällä tapahtuneista muutoksista, sillä esimerkiksi syklin aika on lumella tapahtuvassa ennen rasiusta $0,67 \pm 0,03$ sekuntia jakautuen työntövaiheen $0,29 \pm 0,03$ sekuntiin sekä palautusvaiheen $0,38 \pm 0,04$ sekuntiin. Puolestaan väsyneenä syklin aika oli $0,73 \pm 0,04$ sekuntia jakautuen työntövaiheen $0,31 \pm 0,04$ sekuntiin sekä palautusvaiheen $0,41 \pm 0,06$ sekuntiin. Kaikkien näiden kolmen muuttujan osalla väsymys oli tosiaan aiheuttanut tilastollisesti erittäin merkitsevän eron ($P < 0.01$). Tästä huomataan, että väsyneenä ei syklin osalta pystytä ylläpitämään yhtä tehokasta työntövaihetta ja tasatyöntösykliä. Näiden aikojen perusteella pystytään toteamaan, että ”tuoreena” hiihdettyäessä on voimantuotto tehokkaampaa, koska työntöaika on vieläpä lyhyempi ”tuoreena”. On tärkeää, että väsyneenä pystyisi pitämään hyvän työntön alkuasennon ja keskittymään edel-

leen tehokkaaseen nopeaan voimantuottoon. Sama havainto tehdään etenkin kovemmissa submaksimaalista nopeuksista, missä syklin osalta on vakionopeutta pitäen ”tuoreena” mahdollisuus kasvattaa palautusaikaa ja sitä kautta syklin aikaa, koska voimantuotto ollut tehokkaampaa. Jo Holmberg ym. (2005) tutkimuksessa toivat esille, että tuottamalla isompia voimapiikkejä pystyttiin etenemään taloudellisemmin kovempaa.

Mielenkiintoista on ergon osalta, että maksimaalisissa pätkissä ei syklin osalta löytynyt eroja. Ehkä ergon lyhyempi ja lihaksistolle mahdollisesti ”pehmeämpi” voimantuotto ei kestävyyskuormituksenaan (erilainen kuormitusmalli) aiheuttanut niin suurta väsymystä. Kuitenkin voimantuottoon oli tullut selkeä heikennys tullut, mikä varmasti johtuu lihaksiston pH:n selvästä laskusta (peilaten laktaattikonsentraation nousuun). Voimantuotossa huippuvoima oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi ($P < 0.05$) ja tämän seurauksena, vaikka sykli onnistuttiin pitämään kuormitusta edeltävällä tasolla, oli maksimaalinen nopeus laskenut erittäin merkitsevästi ($P < 0.01$).

Tässä tutkimuksessa hiihdon maksiminopeuspätkässä yritettiin selvästi kovemmallalla frekvenssillä (1,49 Hz) kuin Lindingerin ym. (2008) tutkimuksessa, missä syklin frekvenssillä 1,08 Hz ja 7,5 m syklin pituudella saavutettiin kovempi hiihtonopeus kuin tässä tutkimuksessa. Kuitenkin on huomattava, tämän tutkimuksen lyhyt kiihdytysalue maksiminopeuden mittaushetkellä, ja tämä voi osin muodostaa jopa hyödylliseksi kiihdyttää vauhtia edelleen kovan frekvenssin kautta. Ergolla käytetty syklin frekvenssi oli 1,27 Hz, mikä vaikuttaa hyvälle, mutta syklin pituus oli erittäin lyhyt ja tämän lyhyen syklin pituuden takia maksiminopeus jäi selvästi pienemmäksi kuin lumella hiihdettyäessä.

9.2 Tasatyöntösuoritus hiihtäen ja ergometrillä

Myös tämä tutkimus osoittaa, että ergolla tehtävässä harjoittelussa on varottava liian hidasta frekvenssiä. Kuten Nilsson ym. (2004) esittivät, että jopa 6 minuutin maksimaalisessa alkutestissä kaikilla kolmella ryhmällä työntöfrekvenssi oli vain 48-49 Hz, jolloin työntösyklin kesto 1,21-1,25 s. Sen sijaan nyt tehdyssä tutkimuksessa, työntöfrekvenssit ovat kyllä kovia lyhyissä maksimaalisissa pätkissä n. 77 Hz, mutta submaksima-

lisissa nopeuksissa pienenevät nopeasti. Esimerkiksi laskettaessa syklin ajasta (5 m / s nopeudella syklin aika 1,35 s) saadaan työntöfrekvenssiksi 44 Hz. Tämä vastaa tässä tutkimuksessa hyvin tarkalleen lumella suoritettavan 4 m/s nopeuden työntöfrekvenssiä. Samoin ergolta 6 m/s nopeus vastaa syklin keston osalta lumella tapahtuvaa 5 m/s nopeudella olevaa työntöä. Maksimin osalta ero oli pienimmillään. Nilsson ym. (2004) totesivat, että ergolla suoritettua lyhyehkössä (6 min) maksimaalisessa tasatyönnössä työntöfrekvenssi oli siis hieman matalampi, kuin hiihtäen 85 %:n teholla tapahtuneessa suorituksessa. Tämä pitää paikkansa hyvin myös tässä tutkimuksessa.

Holmberg ym. (2005 & 2006) esittivät tutkimuksessaan työnnön absoluuttinen piikkivoima olleen 85 %:n nopeudella maksimista 235 ± 63 N (162-346), joka oli $32,1 \pm 7,5$ % (22-44) kehon painosta. Tässä tutkimuksessa nopeudella 6 m/s saadut arvot tukevat siis aiempia tuloksia, sillä piikkivoima oli $253,5 \pm 46,4$ N, joka on $35,8 \pm 8,8$ % kehon painosta siis nopeudella 6 m/s. Myös Lindingerin ym. (2008) tulokset ovat samassa linjassa näiden kolmen tutkimuksen kanssa. Holmbergin ym. (2005) esittämä absoluuttinen impulssi oli puolestaan $36,4 \pm 5,9$ N*s (27,2-47,5), joka oli $4,9 \pm 0,5$ % (4,1-5,8) kehon painosta. Tämä Holmbergin ym. (2005) tulos eroaa impulssivoiman osalta tässä tutkimuksessa mitatuista arvoista $52,2 \pm 13,3$ N*s ja $6,9 \pm 2,1$ %.

Lindinger ym. (2009) tutkimuksessa huipputyöntövoimat (rPPF) olivat kasvaneet jo 269 ± 16 N:iin, mikä oli 37 ± 2 % kehon painosta. Puolestaan esimerkiksi Lindinger ym. (2008) tutkimuksissa jäätii 241 ± 72 N arvoon. Stöggl ym. (2010a) tutkimuksessa rPPF arvo oli jo 334 ± 70 N. Tässä tutkimuksessa päästiin jopa arvoihin 371 ± 41 N, joka oli 49 ± 8 % kehon painosta. Tämä kertoo tasatyönnön kehittymisestä ja tutkimuksen koehenkilöiden vahvuudesta. Tähän peilaten tutkimuksessa mitattuja pieniä maksiminopeuksia voidaanankin hieman ihmetellä, mutta osittain lyhyt kiihdytysmatka (20 m) oli varmasti vaikuttamassa maksiminopeuksiin. Maailmacupissa menestyneiden ryhmältä mitattiin Stögglin ja Holmbergin (2011) tutkimuksessa jopa yli 450 N arvoihin, joka myös kehon painoon suhteutettuna nousevat jopa lähelle 60 %. Tässä koehenkilöjoukossa tosin kahdeksasta hiihtäjistä viidellä oli ”podium” sija vähintäänkin MC-tason kilpailusta.

9.2.1 Tasatyöntösuorituksen vertailu hiihdon ja ergometrin välillä syklin ja voimien osalta

Ergolla suoritettaessa maksimaalista tasatyöntöä jää työntövaihe tilastollisesti erittäin merkitsevästi ($P < 0.01$) 26,8 % hitaammaksi kuin lumella suoritettavassa tasatyönnössä. Tämä on huomioitava ergolla suoritettavassa harjoittelussa. Tässä tutkimuksessa maksimaaliseen nopeuteen pyrittäessä käytettiin suurinta ilmapaineella säädettävää vastustasoja (vastus 10). Kuitenkin suuri vastus hidastaa ennen kaikkea työntövaihetta, ja vie suoritusta näin kauemmaksi lumella tehtävästä tasatyöntösuorituksesta. Erot syklin osalta olivat samanlaisia myös väsyneenä, tosin hieman pienempiä.

Myös reippaalla nopeudella 6 m/s hiihdettyäessä (vastustaso oli kuusi, eli kohtalaisen raskas) erot tasatyöntösuorituksen syklin sisältä olivat samansuuntaiset, sillä työntövaihe oli ergolla selvästi 21,3 % hitaampi. Olennaista vielä tässäkin nopeudessa on, että lumella suoritettu työntövaihe oli erittäin nopea tässä reippaassa nopeudessa. Sen sijaan ergolla kohtalaisen suurta vastusta vastaan työntövaihe jäi hieman hitaaksi. Erot olivat myös väsyneenä suoritetuista pätkistä hyvin samankaltaisia.

Hiihdettyäessä rauhallisempia nopeuksia 4 m/s ja 5 m/s, lumella työntövaihe oli jo jonkun verran hitaampi kovempiin nopeuksiin verraten. Kun ergolla käytettiin kevyempiä vastustasoja (vastustasot 0 ja 1,5) onnistuttiin työntövaihe saamaan samanpituisiksi absoluuttisena aikana mitattuna kuin lumella hiihdettyäessä vastaavalla nopeudella. Kovemmissa nopeuksissa, myös ergolla siirryttiin suurempiin vastustasoihin (6 ja 10) eikä enää pystytty yhtä nopeaan työntövaiheeseen kuin vastaavilla nopeuksilla lumella suoritettavassa tasatyönnössä. Nyt näillä hitailla nopeuksilla sen sijaan eroa syklin osalta löytyi ergolla olleesta pidemmästä sauvojen palautusvaiheesta. Kuitenkin työntövaiheen samankaltaisuutta voidaan pitää tärkeämpänä mentäessä submaksimaalisilla nopeuksilla, kun pyritään samankaltaisuuteen harjoitettavuudessa. Väsyneenä suoritetuissa pätkissä, vertailu osoittaa, että 5 m/s nopeudella työntövaihe on edelleen 11,5 % hitaampi ergolla kovempien nopeuksien tapaan. Kuitenkin 4 m/s nopeudella eroa ei ole työntövaiheessa ollut väsyneenkään, ja tässäkin ero oli vain palautusvaiheessa.

Syklin osalta absoluuttisen työntöajan kestoä täytyy pohtia sen samankaltaisuuden tai pikemminkin erilaisuuden vuoksi. Voimantuoton osalta kovemmissa submaksimaalisilla nopeuksilla (5 m/s, 6 m/s ja max) työntö on kuitenkin melko samanlainen, sillä niiden välillä ei löydy esimerkiksi keskivoimassa eroja. Väsymys reippailla vakionopeuksilla (5 m/s ja 6 m/s) näkyi keskivoimien osalta siten, että ergolla alettiin tuottaa noin 12 % vähemmän voimaa. Maksiminopeudella ero ergon ja hiihdon välillä oli niin ”tuoreena” kuin väsyneenä impulssivoimassa, jossa ergolla tuotetaan 28,5 % enemmän voimaa. Kevyimmällä vakionopeudella hiihdettyäessä (4 m/s) oli tasatyöntö melko erilaista voimantuoton osalta, sillä ergon voimantuotot olivat sekä keskivoimassa, impulssivoimassa että huippuvoimassa noin 30 % suurempia kuin ”tuoreena” kuin väsyneenä. Tässä voidaan pohtia, ovatko nopeudet tällä hetkellä täysin toisiaan vastaavat. Tämä oli nähtävissä myös lihasaktiivisuuksissa, joissa oli selvästi eniten eroavaisuuksia ergon ja hiihdon välillä. Eniten eroja löytyi juuri tällä hitaimmalla nopeudella (4 m/s). Voidaan pohtia, oliko eri menetelmillä käytetyt nopeudet tässä tutkimuksessa kevyimmän nopeuden osalta vastaavia. Mielenkiintoista on, että vaikka voimat ovat ergolla suurempia tällä kevyimmällä nopeudella, ovat lihasaktiivisuudet korostuneesti (eli lähes kaikki lihasryhmät) pienempiä. Ergolla pystytään seisten kovalla maalla todennäköisesti ylävartalonmassaa paremmin hyödyntämään paremmin ”tiputtautumalla”, koska ei tarvitse keskittyä eteenpäin suuntautuvaan liikkeeseen. Tämän seurauksena samantasoiseen voimantuottamiseen päästään varsinaisen lihasaktivoimisen osalta pienemmällä määrällä. Tämä heijastuu jonkun verran kovemmissakin nopeuksissa, sillä yleensä, jos eroja löytyi, olivat lihasaktiivisuudet ergolla pienempiä.

Hiihdon työntöajoista on hyvä huomata, että työntöajan kesto ajallisesti lyhenee koko ajan vauhdin kiristyessä. Eli esimerkiksi tässä tutkimuksessa ”tuoreena” työntöajat olivat nopeudella 4 m/s nopeudella $0,46 \pm 0,04$ sekuntia, 5 m/s nopeudella $0,39 \pm 0,04$ sekuntia, 6 m/s nopeudella $0,35 \pm 0,04$ sekuntia ja maksiminopeudella enää $0,29 \pm 0,03$ sekuntia. Tämä osoittaa nykyhiihdon nopean voimantuoton kovat vaatimukset, jotka korostuvat etenkin sprinttihiihdossa. Mitä kovemmat absoluuttiset nopeudet, sitä nopeammin riittävän tasoisen voimantuoton on onnistuttava.

Vertailtaessa syklin pituuksia keskenään tässä tutkimuksessa ergon ja lumella suoritettavan tasatyöntöajan välillä, huomataan, että oli hyvä ratkaisu käyttää maksiminopeuksista

suhteutettuja nopeuksia ergolla. Näillä päästiin esimerkiksi syklin pituuksissa päästään jo lähelle hiihtosuorituksessa käytettyjä. Tässä tutkimuksessa hiihdossa käytettyjä syklin pituuksia vertailtaessa Lindinger ym. (2008) tutkimukseen huomataan sama havainto kuin maksimaalisen nopeuden osalta. Kahdella alimmalla submaksimaalisella nopeudella (4 ja 5 m/s) syklin pituudet olivat samankaltaisia kuin Lindingerin ym. (2008) tutkimuksessa, mutta sen sijaan reippaalla submaksimaalisella nopeudella (mihin on enemmän kiihdytettävää) työntö perustui tässä tutkimuksessa Lindingerin ym. (2008) tutkimukseen verrattuna enemmän frekvenssin kautta vauhdin tekemiseen. Tämä onkin taloudellisempaa juuri kiihdytysvaiheeseen, missä on pyrittävä kohtalaisen nopeasti saavuttamaan reipas tavoitenopeus. Hoffmanin ym. (1995) tutkimukseen verrattuna, 4 ja 5 m/s nopeuksilla syklin pituudet ovat melko vastaavat, mutta vielä tuolloin huippunopeudet olivat pienempiä ja 6 m/s nopeus oli jo hyvin lähellä maksimivauhtia.

9.2.2 Tasatyöntösuorituksen vertailu hiihdon ja ergometrin välillä lihasaktiivisuuksien osalta

Verrattaessa eroja lumella hiihdon ja ergon välillä lihastasolla maksiminopeuden osalta löytyy ero etenkin leveän selkälihaksen ja takareisien lihasaktiivisuuksissa. Sekä leveää selkälihasta, että takareisiä käytetään ”tuoreena” ja väsyneenä yli 30 % vähemmän ergolla tehtävässä tasatyönnössä. Takareisien osalta tilanne johtuu todennäköisesti työntön lähtöasennosta, jossa lumella pystytään heittäytymään paremmin sauvojen varaan hyökkäävämpään kulmaan, sillä kokonaisliike suuntautuu eteenpäin. Myös pakaroiden osalta ero oli selvä ja samansuuntainen, vaikkei väsytyksen jälkeisessä tilanteessa ollutkaan tilastollisesti merkitsevä. Lihasaktiivisuuksista yhteenvetona niin submaksimaalisissa kuin maksimaalisessa nopeudessa lihasaktiivisuuksissa ergolla jääetään pienempiin aktiivisuuksiin, mikäli eroa löytyy. Lihasaktiivisuudet ovat melko samanlaisia, päälinjana kuitenkin ergolla jääden hieman matalammaksi, mikäli eroa oli. Tätä tilannetta voidaan hieman verrata Walkerin (2012) tutkimukseen, missä jalkojen osalta todettiin, että vakiovastuksessa on lihasaktiivisuudet pienempiä kuin liikkeen eri vaiheissa muuttuvassa vastuksessa. Tätä tilannetta voidaan verrata jonkin verran tämän tutkimuksen, missä ergolla vastus on vakio ja hiihdossa sitä voidaan pitää muuttuvana.

Puolestaan rintalihasten osalta erot ovat hieman ristiriitaisia, mutta eri submaksimaalisia nopeuksia yhdistelemällä voidaan tulla johtopäätökseen, että työntöön esiaktiivisuus vaiheessa lihasaktiivisuudet ovat ergolla korkeampia, mutta varsinaisessa työntövaiheessa lumella suoritettavassa tasatyönnössä puolestaan korkeampia. Maksiminopeuden tapaan takareisien käyttö on vähäisempää ergolla reippailla nopeuksilla (6 m/s) sekä väsyneenä kaikissa nopeuksissa. Ylipäänsä jalkojen lihasten (myös etureidet, pakarot) käytössä huomataan ero väsyneenä, jolloin lumella hiihtäessä jalkojen aktiivisuudet ovat selvästi korkeampia. Submaksimaalisissa nopeuksissa etenkin hitaammassa nopeuksissa korostuu leveän selkälihaksen käytössä ero ergon ja lumella suoritettavan tasatyöntö välillä, sillä esiaktiivisuus vaiheessa on lihasaktiivisuus ergolla korkeampaa ja työntövaiheessa puolestaan matalampaa. Myös ojentajalihaksissa erot olivat samansuuntaiset, mutta nämä erot olivat merkitseviä vain hitaimmalla nopeudella (4 m/s). Tässäkin huomataan, että erot korostuvat hitaimmalla nopeudella, mutta muuten ovat aika hyvin linjassa toisiinsa nähden myös lihasaktiivisuuksien osalta.

Kuten maksimaalisessa nopeudessaakin takareisien rooli korostui, myös submaksimaalisissa nopeuksissa takareisien rooli korostuu lumella suoritettavassa hiihdossa. Ylipäänsä erot korostuvat hitaimmalla nopeudella kuten voimantuotonkin osalta, joten tämän nopeuden osalle ylipäänsä voidaan laittaa kritiikkiä sen kohdallaan olemisesta tehojen osalta. Esimerkiksi vatsalihastenkin osalta ero ergon ja lumella suoritettavan tasatyöntö välille löytyi pelkästään tästä hiljaisimmasta (eli vähiten tärkeästä) hiihtämisestä. Myös vatsalihasten aktiivisuus oli ergolla pienempää. Kuitenkin 4 m/s nopeudella tutkiminen ja vertailu ei ole kovin mielekästä, sillä testitilanteessa vauhdit kiilautuvat erittäin helposti tähän nopeuteen ja sen jälkeen hiihtäminen jää ”passailuksi”, eikä siis ole enää luontevaa hiihtämistä.

Hieman yllättävää oli, kuinka monesta lihasryhmästä työntövaiheen aktiivisuudet nousivat suuremmiksi kuin isometrisessä lihastyössä (MVC). Isometrisen lihastyön maksimiaktiivisuuden käytössä on sekä hyvät, että huonot puolet. Hyvinä puolina voidaan pitää sen hyvää toistettavuutta, huonona puolena puolestaan, että on lihastyöltään staattista, mikä on urheilijoille vieraampaa, kun sitä ei perusharjoittelussa juuri tehdä. Kuitenkin Lindinger ym. (2009) tutkimustulokset tukevat näitä löydöksiä, sillä molemmissa tutkimuksissa leveän selkälihaksen ja rintalihasten osalta ylitettiin MVC-taso. Sen si-

jaan Lindinger ym. (2009) tutkimuksessa ojentajalihasten osalta ei maksiminopeudella tätä tasoa saavutettu. Sama tulos saatiin tässäkin tutkimuksessa lumella suoritettavan tasatyönnön osalta, ergolla sen sijaan arvo kohosi yli isometrisen maksimiarvon. Tässä tutkimuksessa myös vatsalihaksista päästiin yli 100 % arvoon. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat Lindinger ym. (2009) päätelmää, että toiminnallinen ja dynaaminen liike saavat aikaan korkeampia aktiivisuuksia kuin isometrinen tilanne. Myös Kyröläinen ym. (2005) ovat tehneet samaa havaintoa juoksun ja jalkojen osalta, hiihdossa tilanne on kuitenkin jaloille eri ja aktiivisuustasot jäivät selvästi isometrisistä tuloksista.

9.3 Tasatyöntösuorituksessa väsyminen

9.3.1 Väsymyksen vaikutukset tasatyönnön sykliin ja voimantuottoon

Mielenkiintoinen seikka vertailtaessa ergolla suoritettuja maksimipätkiä ennen ja jälkeen rasitusta on, että syklin aika on ergolla tapahtuvassa työnnössä ennen rasitusta jopa pidempi kuin rasituksen jälkeen. Kuitenkaan työntö- ja palautusajassa ei ollut merkittäviä muutoksia rasituksen jälkeen. Joka tapauksessa nopeus oli hitaampi testin jälkeen, koska voimantuotto ei ollut samassa ajassa niin tehokasta. Esimerkiksi huippuvoima oli tilastollisesti merkitsevästi pienempää ($P < 0.05$). Hiihdossa puolestaan työntöaika oli jopa pidentynyt ja siltikään voimantuotossa ei pystytty pitämään esimerkiksi impulssi-voiman ($P < 0.08$) osalta yhtä suurta tehoa. Väsymystä vertaillessa on kuitenkin syytä huomioida, että välissä tehty kestävyyskuormitus oli erimallinen. Hiihtomittauksissa suoritettiin tasavauhtinen tasatyöntökilpailu, joka oli kestollisesti useamman minuutin pidempi ($P < 0.01$), mutta nousevatehoisessa ergotestissä laktaatit ja sykkeet onnistuttiin nostamaan korkeammalle ($P < 0.01$), joten tämä tasoittaa hyvin keston tekemää vaikutusta. Hiihtosuorituksen laktaatti ja sykearvoja pohtiessa huomataan, että aiempaan kirjallisuuteen verrattuna sykkeet nousivat normaalisti, mutta laktaatit olivat yllättävän pieniä. Kuitenkin tutkimuksen asetelmassa pidettiin tärkeämpänä saada vietyä kestävyyskuormituksen jälkeiset lyhyet pätkät välittömästi läpi, joten laktaatti mitattiin noin neljä minuuttia kestävyystestin jälkeen ja tämän aikana on palautumista voinut tapahtua laktaatin osalta.

Väsymyksen vaikutusta hiihtosuorituksessa syklin sisältä submaksimaalisista nopeuksista voidaan tiivistää, että koska voimantuotto ei ole väsymyksen myötä enää niin tehokasta, on palautusvaiheessa kiirempi uuteen sykliin, jotta riittävä vauhti pysyy yllä. Toisin sanoen, syklin sisältä löydetään hiihdettäessä kohtalaisia nopeuksia (5-6 m/s), tilastollisesti merkitsevät erot syklin ajassa ja palautusvaiheen kestossa (kaikissa $P < 0.05$). Sen sijaan työntöajoissa ei ollut tilastollisia eroja. Vakionopeuksilla hiihdettäessä syy tehottomampaan voimantuottoon löytyy kestävyyskuormituksen vaikutuksesta hiihtovauhtia tuottavien lihasten aktiivisuuksien laskusta. Ojentajissa (triceps brachii) löytyi tilastollinen ero ($P < 0.05$) kovimmassa vakionopeudessa, jossa väsyneenä ojentajalihasten aktiivisuus oli pienempää. Esimerkiksi leveää selkälihasta (latissimus dorsi) aktivoitiin kaikilla vakionopeuksilla vähemmän väsyneenä ($P < 0.05$). Sen sijaan enemmän asentoa ylläpitävän takareisien aktiivisuudet olivat suurempia väsyneenä ($P < 0.05$). Tämä on mielenkiintoinen havainto, sillä esimerkiksi Holmberg ym. (2006) toivat kyllä esille jalkojen merkityksen nousun, mutta tässä tutkimuksessa pystyttiin havaitsemaan merkityksen kasvu väsymyksen myötä.

Yllä todettiin heikommasta voimantuotosta väsymyksen vaikutuksesta submaksimaalisissa nopeuksissa, sama pätee myös maksimaalisessa nopeudessa. Yhteys voimantuottoon löydetään tietenkin lihasaktiivisuuksista, jotka olivat rasituksen myötä selvästi laskeneet. Erot maksiminopeuksilla olivat hiihtokisan jälkeen selvät, sillä kaikissa kahdeksassa mitatussa lihasryhmässä oli lihasten aktivoiminen tilastollisesti merkitsevästi pienempää kuin ennen kisasuoritusta ($P < 0.05$).

Huomataan, että tasatyöntökilpailun seurauksena voimantuottoarvot ovat laskeneet mitattuna kaikilla eri mittareilla. Huippuvoima oli maksiminopeudella pre-tilanteessa 371 ± 42 N ja post-tilanteessa 321 ± 55 N, ja näiden välillä oli erittäin merkitsevä ero ($P < 0.01$). Myös impulssivoima ($P < 0.08$) ja keskivoima ($P < 0.05$) olivat laskeneet väsymyksen seurauksena. Mikkolan ym. (2013) tutkimuksessa tulokset olivat samanlaiset, että keskivoimassa oli selvä lasku väsymyksen myötä. Kuten jo aiemmin esitettiin, lihasaktiivisuudet olivat laskeneet väsymyksen seurauksena maksiminopeuspätkissä kaikkien lihasryhmien osalta ($P < 0.05$). Syklin osalta voidaan todeta, että syklin kesto oli erittäin merkitsevästi pidentynyt väsymystilanteessa ($P < 0.01$), mikä johtui sekä työntö-

että palautusvaiheen suurenemisesta ($P < 0.01$). Näistä syklin sekä voimantuoton muutoksista johtuen maksimaalinen hiihtonopeus oli selvästi hidastunut väsymyksen seurauksena ($P < 0.01$).

Maksimaalisella nopeudella hiihettäessä väsymyksen seurauksena työnnön suhteellinen huippuvoima laskee arvosta $49,1 \pm 7,5$ % kehonpainosta arvoon $42,4 \pm 8,0$ % kehonpainosta, ja näiden välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ($P < 0.01$). Myös suhteellinen keskivoima työnnön aikana laski väsymyksen seurauksena tilastollisesti merkitsevästi arvosta $24,3 \pm 4,4$ % kehon painosta arvoon $20,9 \pm 4,0$ % kehonpainosta ($P < 0.05$). Suhteellisessa voiman impulssissa havaittiin väsymyksen seurauksena suuntaa antavaa putoamista ($P < 0.08$) arvosta $7,2 \pm 1,4$ % kehonpainosta arvoon $6,5 \pm 1,4$ % kehonpainosta.

Hiihettäessä submaksimaalisilla nopeuksilla huomataan voimanlaskua huippuvoimissa ja impulsseissa. Erot ovat kuitenkin sen verran pieniä, että näiden välillä ei ole tilastollisesti merkitseviä eroavaisuuksia. Keskivoimat ovat hyvin lähellä toisiaan samalla submaksimaalisella nopeudella ennen ja jälkeen kestävyyskuormitusta. Voidaankin päätellä, että etenkin työnnön terävyys on jonkun verran kärsinyt, sillä huippuvoima oli laskenut, mutta keskivoima oli pystyttävä pitämään kuitenkin hyvin lähellä ennen raskautta olleessa tilanteessa. Mikäli syklissä ei tapahtuisi muutoksia, olisi saman nopeuden säilyttämiseksi onnistuttava työntö pitämään voimantuotoltaan juuri yhtä tehokkaana.

9.3.2 Väsymysprosentit hiihdossa ja ergometrillä

Kuten vertailtaessa ergon ja lumella suoritettavan tasatyönnön voimantuottoja ”tuoreena” sekä väsyneenä nähtiin melko pienet erot, joten väsymysprosentteissakaan ei silloin eroja löydy. Ylipäänsä voidaankin todeta matalinta (4 m/s) nopeutta lukuun ottamatta ergon ja lumella suoritettavan tasatyönnön vastaavan voimantuotollisesti hyvin toisiaan. Ylipäänsä väsymysprosenttien perusteella voidaan päätellä nousevatehoisen ergotestin aiheuttaneen hyvin tasatyöntökilpailun kaltaisen väsymyksen tarkasteltaessa syklin rakennetta, voimantuottoa sekä lihasaktiivisuuksia.

Myös syklin sisällä vertailun osalta voidaan todeta, että rasittuminen aiheutti samansuuntaisia muutoksia. Näinpä tilastollisesti ainoa merkitsevä ero löydettiin toiseksi kevyimmällä vakionopeudella (5 m/s) hiihdettyäessä. Tällä nopeudella hiihdettyäessä ergolla syklin ominaisuudet pysyivät melko samoina, mutta lumella tapahtuvassa tasatyönnössä syklin nopeus kasvoi, ja tämän seurauksena myös syklin aika ja sauvojen palautusaika lyhenivät (kaikissa $P < 0.05$). Tämä kertoo rastittumisen samankaltaisuudesta ergon ja lumella suoritettavan hiihdon välillä, mikä on tietysti hyvä tieto ergometriharjoittelun kannalta. Ylipäänsä tässäkin vertailussa esille noussut tieto, että ergolla muutokset ovat hieman pienempiä, tukee myös muissa kappaleissa esitettyä tietoa.

Huomattavaa lihasaktiivisuuksienkin osalta on, että ergon ja lumella tapahtuvan tasatyönnön välille ei muutoksia maksiminopeudella hiihdettyäessä löydetty. Kuitenkin vertailtaessa kahta kovemmista submaksimaalista nopeuksista löydetään erittäin merkitsevät erot rintalihasten ja takareisien osalta ($P < 0.01$), sekä pohkeiden, pakaroiden, selän ja ojentajien aktiivisuuksissa merkitsevät erot ($P < 0.05$). Ergolla lihasaktiivisuuden pienentymistä oli tapahtunut väsymyksen seurauksena enemmän. Koska hiihdettyäessäkin lihasaktiivisuudet olivat pienentyneet, oli ergolla tämä väheneminen suhteellisesti jopa reilua, mutta ergolla oli useissa lihasryhmissä ennen rasiutusta suoritetuissa pätkissä aktiivisuudet pienempiä, niin absoluuttisena vähenemisenä ei välttämättä ero ole näin suuri.

9.4 Lihasaktiivisuuksien ajoitukset ja kestot

Tässä tutkimuksessa lihasten syttymisten osalta otettiin tarkasteluun vain reipas nopeus (6 m/s). Kuitenkin tämän nopeuden tulokset ovat hyvin samansuuntaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa. Jo kirjallisuuskatsauksessa Holmberg ym. (2005) tutkimuksen aktivoitumisjärjestys pystyttiin tiivistämään vatsalihakset – leveä selkälihas – ojentajalihakset (jos otettiin tarkasteluun lihasryhmät, jotka olivat molempien tutkimuksessa analysoitu aktiivisuusjärjestysvertailuun). Myös tässä tutkimuksessa ergolta saatiin aktivoitumisjärjestykseksi täysin sama. Sen sijaan hiihdettyäessä leveän selkälihaksen ja ojentajalihasten aktivoituminen oli melko samanaikaista, mutta vatsalihakset kuitenkin aktivoitui selvästi ensimmäisenä. Ensimmäisenä aktivoituneiden vatsalihasten työ loppui työntö-

vaiheen puolivälissä Holmbergin ym. (2005) tutkimuksessa. Myös tässä tutkimuksessa hiihdon osalta aktiivisuus loppui melko tarkalleen puolivälissä, sen sijaan ergolla aktiivisuus kesti jonkun verran pidempään. Myös jalkojen merkitystä tasatyönnössä korostaa molemmat tutkimukset, sillä kaikki mitatut jalkalihakset olivat aktiivisia työnnön aikana. Kuitenkin aktiivisuuksien suhteet työnnön voimantuottoon olivat eri aikaisia ylävartaloon verrattuna, ja sen takia onkin perusteltua tarkastella lihasten aktiivisuuksia koko syklin aikaisina keskiarvoina. (Holmberg ym. 2005.)

Lumella tapahtuvan tasatyöntösuorituksen nopeudella 6 m/s alkuvaihetta tutkittaessa huomattiin, että ylävartalossa aktiivisuus alkaa vatsalihaksissa $0,21 \pm 0,11$ sekuntia ennen työntövaiheen voimantuottoa. Ergolla työntö myös aloitetaan vatsalihasjohtoisesti, mutta hieman myöhemmin eli $0,09 \pm 0,04$ sekuntia ennen voimantuoton alkua. Tämä vatsalihasten ajoitusten ero oli tilastollisesti merkitsevä, ja samalla selvin ero ajoitusten osalta. Seuraavaksi lihasten syttyminen on melko ”yhdenaikaista” välillä hiihdossa $0,07 - 0,04$ sekuntia ennen voimantuoton alkua, seuraavassa järjestyksessä: ojentajalihakset, leveä selkälihas, ja rintalihakset. Puolestaan ergolla myös muu ylävartalo aktivoitui hyvin samantapaisesti kuin hiihdettäessä, ajoitusten ollessa $0,06 - 0,02$ sekuntia ennen voimantuoton alkua. Pohjelihasten lihasaktiivisuus ei ole voimakasta voimantuoton aikana, vaan pohkeet ovat aktiivisimmillaan jonkin verran ennen voimantuottoa (edestä korkealta hakiessa). Pohjelihasten syttyminen on tällä nopeudella hiihtäessä $0,44 \pm 0,05$ sekuntia ennen sauvojen voimantuoton alkua, ja ergolla jo $0,56 \pm 0,10$ sekuntia ennen voimantuoton alkua ($P < 0,05$). Tämä ergon hieman erilainen työnnön alkuvaihe pohkeiden ajoittumisen osalta ei vaikuta kuitenkaan keskeisesti tasatyönnön suorittamiseen. Mielenkiintoista onkin, että ergolla vatsalihakset aktivoituvat lumella tapahtuvaan tasatyöntöön verrattuna myöhemmin, vaikka ergolla pohkeiden aktiivisuus alkanut aiemmin kuin lumella tapahtuvassa tasatyönnössä. Tämä havainto voi osin selittyä ergon hitaammasta syklin ajasta johtuen. Riittävän pitkät esiaktiivisuusajat ovat tarpeen, sillä esimerkiksi Lindinger ym. (2009) toivat esille lihassolujen maksimaaliseen aktivoitumiseen kestävät ajat, ja etenkin hitaiden lihassolujen osalta esiaktiivisuus muodostuu tärkeäksi näinkin lyhyessä ja räjähtävässä suorituksessa kuin tasatyönnössä.

Väsymyksen roolia tarkasteltaessa aktiivisuuksien kestoista ainoaksi merkittäväksi tekijäksi nousi pohjelihasten rooli. Pohjelihasten aktiivisuus päättyy lumella tapahtuvassa

tasatyönnössä voimantuottoon nähden samaan aikaan, mutta kuten kerrottiin pohjelihasten lihasaktiivisuuden aiemmasta syttymisestä ja tämän myötä aktiivisuus muodostuu pidemmäksi. Pohjelihasten aktiivisuuden kesto oli pre-tilanteessa $0,20 \pm 0,05$ sekuntia ja post-tilanteessa $0,14 \pm 0,02$ sekuntia.

Voimantuottoon nähden suhteelliset kestot eri ylävartalonlihaksista oli pre-tilanteessa seuraavat: ojentajalihakset 79 ± 12 %, rintalihakset 68 ± 11 %, vatsalihakset 54 ± 20 % ja leveä selkälihas 70 ± 5 %. Tästä huomataankin vatsalihasten työn keskittyvän työn alkuvaiheeseen. Tasatyöntöä seurattaessa on kuitenkin huomioitava, että vatsalihaksestaakaan ei riitä pelkkä alkuvaiheen pito, vaan työntöön alkuvaiheissa on etenkin vatsalihaksista saatava hyvää ”puristusta”.

Sen sijaan sekä pre- että post-tilanteessa ergolla tapahtuvassa tasatyönnössä lihasaktiivisuuksien absoluuttiset kestot olivat pidemmät pohjelihaksissa, ojentajalihaksissa, rintalihaksissa ja leveässä selkälihaksessa, sekä lyhyemmät vatsalihaksissa ($P < 0.05$ kaikissa). Kuitenkin tarkasteltaessa voimantuoton ajalta voimantuottoon suhteutetuissa (keskeisessä asemassa aktiivisuuden loppumisajankohta) aktiivisuuksissa tilastollisesti merkitseviä eroja, löytyi ero vain ojentajalihaksissa ($P < 0.05$) sekä leveän selkälihasten osalta pre-tilanteessa ($P < 0.05$) lumella tapahtuvan ja ergolla suoritettavan tasatyöntöön välille. Ergolla tapahtuvassa tasatyönnössä lihastyö tapahtui ojentajalihaksissa ja leveässä selkälihaksessa voimantuoton aikana pidempään. Todennäköisesti ergolla tapahtuva työntö korostaa ojentaja- ja selkälihasten pidempää aktiivisuutta hieman, sillä esimerkiksi vatsa- ja rintalihasten osalta ei työntöä juuri pidempään jatketa. Sen sijaan hitaammin mahdollistettu työntö antaa helposti tasaisen pitkän rauhallisen vedon ja aktiivisuutta juuri tuonne ojentajalihaksille ja ehkä yläselälle. Sen takia ergoharjoittelun ohjeistamisessa onkin pyrittävä pitämään hyvä frekvenssi, sekä sopivasti lyhennetty työntö. Tällöin harjoittelu on lähempänä lumella tapahtuvaa työntöä.

9.5 Kuormitusmallin toimivuus ja ergometriharjoittelun ohjeistus

Ergometrillä tehtävän tasatyöntöön ja lumella tehtävän tasatyöntöön yhtäläisyydet ovat vielä kuitenkin selvittämättä (Nilsson ym. 2004). Tulevaisuudessa olisi hyvä pohtia ta-

satyönnön erityisiä biomekaanisia lähtökohtia erilaisissa strategioissa sekä suhdetta näiden ja fysiologisten muuttujien välillä ja tarkentaa erityisiä voima- ja tekniikkamalleja lisätäkseen työntövoimaa ja parantaakseen tasatyöntösuoritusta (Holmberg ym. 2005). Osin nämä Nilsson ym. (2004) ja Holmberg ym. (2005) ajatuksien selvittely oli lähtökohtana tässä tutkimuksessa. Koehenkilöjoukko pyrittiin muodostamaan kovatasoisista vahvan nykytasatyönnön omaavista hiihtäjistä, jotka kulkevat kilpaladuilla myös tasatyönnöllä erittäin kovaa. Koehenkilöiden rekrytointi onnistui melko hyvin.

Ergotesti oli testin nousujohteisuudeltaan kuormitusmalliksi hyvin toimiva, sekä biomekaanisia että fysiologisia muuttujia tarkasteltaessa. Yleisesti huippu-urheilijoiden nousvatehoisessa kestävyystestauksessa on käytetty 6 ml/kg/min ”porras”nostoja teoreettisen työn osalta. Tämä testi pohjautui esitestien perusteella kevyestä tehosta maksimaaliseen nostettaessa sopivasti tehoa, testin tavoitteellisen keston jäädessä noin 12-15 minuuttiin, jolloin testi olisi helpommin yhdistettävissä jopa samalla päivälle mattotestin kanssa. Kun saatiin fysiologiset muuttujat kymmenen koehenkilön ryhmältä, huomattiin että myös tämän testin ”portaaksi” muodostui 6 ml/kg/min, missä 40 Watin tehon nosto nosti melko tarkasti 6 ml/kg/min (portaiden vaihteluväli 5,3-7,4 ml/kg/min). Mikäli maksimiportaaseen nosto jätetään huomioimatta saadaan vaihteluväliksi portaan nostolle 6,0-7,4 ml/kg/min. Tällä nostolla saadaan lyhyehkössäkin testissä käytyä koko kestävyuden osa-alueet läpi. (Kuva 6.)

Ergolla ei esimerkiksi kehon suuremmasta massasta aiheudu haittatekijöitä, kuten esimerkiksi lumella hiihdettäessä. Mitä suurempi massa, sitä suurempi kitka, ja ylämäkeen hiihdettäessä jodutaan tekemään suurempaa potentiaalista työtä. Nämä ovat seikkoja, jotka nostavat ergotestin kuormitusmallin yhdeksi korreloivaksi tekijäksi tällä koehenkilöryhmällä painon, sillä suuremmalla kehon painolla pystytään ”heittäytymään” työn päälle ja hyötymään massasta, ilman että siitä on haittaavia tekijöitä kuten lumella edetessä. Optimaalinen kuormitusmalli olisi rakennettava kehon painoon nähden suhteellisina tehoina. Toinen vaihtoehto olisi rakentaa esimerkiksi miehille kaksi – kolme erilaista kuormitusmallia. Tällöin pieni painonmuutos ei muuta käytettäviä tehoja, jolloin harjoittelun seuranta on tarkempaa saman koehenkilön useamman peräkkäisen testin välillä. Tämä löydös kehon massan merkityksestä lopputulokseen muutti myös hie- man odotettua tulosta ergon lopputuloksen ja VO_{2peak} arvon välisen korrelaation suh-

teen. Ergon lopputuloksen ja hapenoton välille löytyikin korrelatio, mutta ei VO_{2peak} (ml/kg/min) arvolla, vaan VO_{2peak} (L/min) arvolla. Toinen muutos mikä voisi tulla kyseeseen, on esimerkiksi neljän ensimmäisen kuorman pidentäminen kolmeen minuuttiin, jolloin steady state – tila (missä hapenotto on ehtinyt saavuttaa kuormaa vastaavan tasapainon) on varmasti saavutettu.

Koska käytössä ollut ergo on valmistettu mittaamaan vedessä tapahtuvia soutupeuk-sia mittaamalla tehoa, nopeudet voitaisiin saada järkevimmin skaalattua kohdilleen pelkästään maksiminopeuksia tarkastelemalla. Esimerkiksi hiihdon syklinpituuksien kautta päästään käsiksi hiihdon ja ergon nopeuksien / tehojen erilaisuuteen. Usein voimamuut-tujissa ei juuri eroa ole, mutta syklin pituudessa ero on selvä. Maksiminopeuden kautta muuntamista puoltaa myös se seikka, että väsyminen oli melko samankaltaista, myös maksimin osalta (väsymisprosentit maksiminopeuden osalta 4,8 ja 8,8). Lisäksi käytös-sä olleet submaksimaaliset kuormat oli skaalattu nimenomaan pilottitestien pohjalta tehdyistä maksiminopeustesteistä. On syytä huomata, että mikäli tietty teho tuottaa tie-tyyn nopeuden, on tämä se suhde mihin olisi syytä saada korjausta.

Suoraan maksiminopeuksia verraten muuntokertoimeksi saataisiin 1,32. Puolestaan kes-tävyyskuormituksen jälkeisiä maksiminopeuksia verraten muuntokertoimeksi tulee 1,27. Joten sopivaksi tarkkuudeksi riittäisi keskihajonta huomioiden, kerroin 1,30. Tä-män kertoimen avulla testin maksimaaliset ja submaksimaaliset kuormat menisivät sa-moihin nopeuksiin, ja sekä voimantuottojen, syklin rakenteen sekä lihasaktiivisuuksien-han osalta nämä reippaammat nopeudet todettiin jo nyt melko hyvin kohdalleen, kun käytettiin juuri maksiminopeudesta suhteutettuja tehoja ergolla. On huomattava, että muutosta ei tapahtuisi tehon suhteen, vaan tietyllä teholla saavutettava nopeus vain pa-rantuisi, tämän korjauskertoimen kautta. Sen sijaan käytetty kuormitusmalli muodostui-si nopeuksiltaan taulukon 9. kaltaiseksi. Tällä korjauskertoimella muutetut nopeudet olisivat kutakuinkin vastaavia lumelle, päätellen myös urheilijoiden kilpailu- ja harjoit-teluvauhdeista (FIS 2013).

Ergolla suoritettavan tasatyön absoluuttiset työntöajat ovat nykyisellä kuormitumal-lilla (vastuksella) hitaampia kuin lumella tapahtuvassa tasatyönössä. Tämän vuoksi kuormitumalli vastuksen osalta olisi suunniteltava loivemmaksi. Nykyisen 1,5 ”aske-

leen” / kuorma noston sijaan olisi syytä kokeilla maksimissaan 1,0 ”askelta” / kuormalle kohti vastusta lisäten. Oletettavasti 1,0 askeleen nostolla ei nosto vastuksen puolesta nouse ainakaan liian suureksi. Kysymys onkin, että löytyykö vielä pienemmällä nostolla työntöajan ja frekvenssin puolesta mahdollisimman lähelle hiihtosuoritusta tapahtuva tasatyöntö syklin osalta. Jo Nilssonin ym. (2004) työn pohjalta tehtiin havaintoa ergolla helposti matalalle jäävästä työntöfrekvenssistä.

TAULUKKO 9. Tasatyöntöergotestin kuormitusmalli.

Aika (min)	Teho (W)	Nopeus (Aika/500m)
0-2	100	1.57
2-4	140	1.44
4-6	180	1.35
6-8	220	1.30
8-10	260	1.24
10-12	300	1.20
12-14	340	1.17
14-16	380	1.15

Tärkeitä ohjeita harjoitteluun on nyt hyödyntää uusi teho – nopeus kaava, jonka avulla nopeuksia pystyy paremmin vertailemaan myös hiihtoladuille. Lisäksi urheilijan etäisyys vetolaitteesta määritetään prosenttina pituudesta, mikä oli 45 %, eli noin 180 cm pitkä urheilija vetää noin 80 cm etäisyydellä seinästä, johon laite on kiinnitetty. Tämä on yksi tärkeimmistä konkreettisista ohjeista, mikä on takaamassa hiihdonomaisempaa vetämistä, eikä laitteen käyttö mene vain ”roikkumiseksi”. Kolmantena harjoitteluun liittyvänä ohjeena on tärkeä muistaa jo aiemmin todettu, että pienempien vastuksien (ilmanvastuksella säädettävä vastus) kautta päästään nopeampiin absoluuttisiin työntö-aikoihin ja lähemmäksi lumella tapahtuvaa suoritusta.

Hapenottoarvot nousivat tässä tutkimuksessa 85 %:iin urheilijoiden aiemmista ylämäkeen suoritetuista sauvajuoksutestien ennätyksistä. Esimerkiksi Staib ym. (2000) tutkimuksessaanhan esitteli 88-96 %:n tasoja tasatyönnölle ja mikä tämän tason vertailun

luotettavuutta lisää meidän tuloksiin. Staibin ym. (2000) tutkimuksessa verrattiin myös ergoa, ja todettiin ergolla sekä tasatyönnöllä päästävän yhtä korkeisiin hapenottoarvoihin. Staibiin verrattuna Nilsson ym. (2004) sai hieman matalampaa tasoa tasatyönnölle 84-86 %.

9.6 Korrelaatiot suorituksen lopputulokseen

Korrelaatioiden osalta päästään pohtimaan, mitkä ovat ne tekijät, joilla on yhteys ergotestin nousevan kuormituksen jaksamisessa. Submaksimaalisten kuormien taloudellisuus sekä maksimipään kovuus ovat suorituksen avainkohtia. Tärkeimmät seikat submaksimaalisten kuormien taloudellisuuteen ovat muuttujista kehon painoon suhteutettu hapenottoarvo sekä laktaatti. Näistäkin muuttujista hapenotto testin edetessä on tärkeässä asemassa. Sen sijaan laktaatin merkitys näyttää olevan osin avainasemassa pelkästään kirivaiheeseen lähtiessä. Toisin sanoen ennen testiä tehty lyhyt maksimaalinen veto nosti elimistön happamuutta ja samalla laktaatti-ioni konsentraatiota. Nämä ensimmäiset helpohkot kuormat, menivät osin happamuuden ja laktaattien huuhdontaan ja selittävään asemaan nousi pelkästään tilanne viimeisen selvästi submaksimaalisen kuorman osalla (Taulukko 8.). Mielenkiintoista varmasti tulevassa testauksessakin on ylävartalon aerobisen kapasiteetin testin yhteydessä tehty maksimaalisen nopeuden / tehon testi. Tällöin vetoja on ehkä hieman lyhenettävä, sekä suoritettava hieman verryttelyä välissä ennen kuin lähdetään varsinaiseen kestävyystestiin.

Tästä erilaisesta taloudellisuuden tilasta lähtiessä ”kiri- ja taisteluvaiheeseen”, nousi tärkeään avainasemaan kehon koko. Isommalla kehonpainolla pystyttiin hyötymään menettäessä lyhyt ”kirivaihe” kovaa, heittäytyttiin paremmin työnnön päälle kehon massaa hyödyntäen. Osin tätä kehon massan merkitystä myös osoittaa, että hapenoton osalta nyt lopussa merkityksellisempää olivat (L/min) arvot kuin (ml/kg/min) arvot. Myös VCO₂ ja maksimiventilaatio olivat selittämässä lopun tulosta. Näillä muutamalla maksimaalisen vaiheen muuttujalla oli yhteys lopputulokseen, näiden lisäksi taloudellisuusvaiheesta laktaatti lopputestin ajalta sekä hapenotto (ml/kg/min) jo pitemmästä vaiheesta testiä oli vaikuttamassa juuri testin lopputulokseen.

Ergotestissä maksimaalista nopeutta selittäväksi tekijäksi kohosi syklin rakenne. Syklin suhteellisesti lyhyempi työntöaika selitti eniten kovempaa nopeutta. Myös Lindinger ym. (2009) olivat huomanneet tämän siirryttäessä kovista submaksimaalisista nopeuksista maksimaaliseen nopeuteen. Tärkeää on kuitenkin huomata, että työntöä ei syklin osalta juuri lyhennetty, koska palautusvaiheen lyheneminen ei ollut positiivisesti korreloimassa nopeuteen, vaan lyhyen mutta tehokkaan työnnön avulla päästiin parhaisiin nopeuksiin.

Siirryttäessä tarkastelemaan sitten voimamuuttujien osuutta huomataan, että ne eivät olleet selittämässä ”tuoreena” ergon maksiminopeutta. Sen sijaan ”väsyneenä” pystytään huomaamaan, että vain parempiin nopeuksiin päässeet pystyivät ylläpitämään hyvää voimantuottoa. Selittäviksi tekijöiksi nousivatkin työnnön huippuvoima sekä työnnön aikainen keskivoima, jotka yhdessä kuvaavat, että selkeästi nopeimmat pystyivät ylläpitämään nämä muuttujat yhdistäen selkeästi parempaa voimantuoton kokonaisuutta.

Lihasktiivisuuksien osalta yhteydet kovempiin ergolla saavutettuihin maksiminopeuksiin löytyi ”tuoreena” ojentajalihasten suhteellisesti pienemmästä lihasaktiivisuudesta ($r=-0,688$). Sen sijaan vartalon lihaksia käytettiin suhteellisesti enemmän (ei tilastollisesti merkitsevää eroa), kuten selkälihasten osalta ($r=0,654$). Sen sijaan ”väsyneenä” ei löytynyt tilastollista eroa näiden osalta, pelkästään pakaralihasten suhteellisesta isomasta aktivoinnista oli positiivinen yhteys maksiminopeuteen ($r=0,799$). Nykytasatyöntöstrategiaan pohjautuen ero ojentaja- ja vartalopainotteisen työntämisen välillä sekä yhteys siitä maksiminopeuteen oli odotetunlaista. Esimerkiksi Holmberg ym. (2005) korostivat uudentyyppistä dynaamisempaa tasatyöntöstrategiaa A käyttävien korostavan juuri muun muassa leveän selkälihaksen käyttöä sekä vartalolihasien käyttöä.

Hiihdon osalta keskitytään tarkastelemaan pelkästään maksimaalista nopeutta selittäviä tekijöitä kelin muutoksesta johtuen. Näistä nousi esille yllättävä havainto pohjelihasten käytöstä. Pohjelihasten (soleus) käytöllä löydettiin negatiivinen korrelaatio hiihdon maksiminopeuteen ($P<0.05$). Tämän korrelaation merkitys vielä hieman korostuu väsyneenä. Osittain voidaankin pohtia, onko koeryhmä heterogeenisuus vaikuttanut tähän

tulokseen. On myös mahdollista, että testissä hitaammaksi jääneet ovat pystyneet jopa testin nopeampia henkilöitä paremmin optimoimaan tekniikkansa ja nopeutensa.

9.7 Johtopäätökset

Ergotesti osoitti tässä tutkimuksessa toimivuutensa testinä. Kuitenkin kuormien pituus on alkuvaiheessa testiä syytä pidentää kolmeen minuuttiin, lisäksi on syytä rakentaa ainakin kaksi toisistaan hieman eroavaa kuormitusmallia erityyppisille hiihtäjille (etenkin kehon koon mukaan) ja kolmantena pienenä muutoksena loiventaa käytettävän säädettyä ilmanvastuksen käyrää. Lisäksi pientä tarkennusta tarvitaan vielä maksimaalisen nopeuden testin yhdistämiseen, jotta kestävyystestien ensimmäisiltäkin kuormilta saadaan varmempaa tietoa sen hetkisestä tilasta. Tämän jälkeen testi on hyvin toimiva apuväline ylävartalon aerobisen kapasiteetin kehittämisen seuraamisessa.

Kaikkienensa lihasaktiivisuuksien kestot ja ajoitukset osoittavat riittävää samanlaisuutta, joten ergoharjoittelulla voidaan olettaa hyvä siirtoyhteys tasatyöntöön suoritettujen mitausten perusteella. Etenkin jo aiemmin mainituilla ohjeilla lihasten toiminta saadaan vastaamaan hyvin lumella tapahtuvaa tasatyöntöä. Poislukien tutkimuksessa käytetty matalin harjoitteluteho, joka ei ole mielekäs harjoittelunopeus myöskään ergolle. Osin lihastason toiminnan seurauksena myös etenkin voimantuotollisesti vastaavuus eri menetelmien välillä oli hyvää.

LÄHTEET

- Alsoborook, N. G. & Heil, D. P. 2009. Upper body power as a determinant of classical cross-country ski performance. *European Journal of Applied Physiology*, 2009, 105, 633-641.
- Alsobrook, N. G., Lore, J. L. ja Heil, D. P. 2006. The Role of Upper Body Power in Classical Cross-Country Skiing Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2006, 38, 238-301.
- 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.
- Dyon, K. H., Perrey, S., Abe, D. ja Hughson R. L. 2001. Field Testing of VO₂ peak in Cross-Country Skiers With Portable Breath-by-Breath System. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 2001, 26, 1-11.
- Finni, T., Hu, M., Kettunen, P., Vilavuo, T. ja Cheng, S. 2007. Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. *Physiological Measurement*, 2007, 28, 1405-1419.
- FIS, 2013. <http://www.fis-ski.com/uk/disciplines/cross-country/results.html/> 24.4.2013.
- Hermens, H., Fredriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, C., Disselhorst-Klug, C., Hägg, G. 1999. European recommendations for surface electromyography. Roessingh Research and Development, Enschede, 1999.
- 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.
- Hoffman, M. D. & Clifford, P. S. 1992. Physiological aspects of competitive cross-country skiing. *Journal of Sports Sciences*, 1992, 10, 3-27.
- Hoffman, M. D., Clifford, P. S. ja Bender, F. 1995. Effect of Velocity on Cycle Rate and Length for Three Roller Skiing Techniques. *Journal of Applied Biomechanics*, 1995, 11, 257-266.
- Holmberg, H-C., Lindinger, S., Stöggl, T., Björklund, G. ja Müller, E. 2006. Contribution of the Legs to Double-Poling Performance in Elite Cross-Country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2006, 1853-1860.

- Holmberg, H-C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E. ja Müller, E. 2005. Biomechanical Analysis of Double Poling in Elite Cross-Country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2005, 37, 807-818.
- Holmberg, H-C & Nilsson, J. 2008. Reliability and validity of a new double poling ergometer for cross-country skiers. *Journal of Sports Sciences*, 2008, 26, 171-179.
- Kyröläinen, H., Avela, J. ja Komi, P. V. 2005. Changes in muscle activity with increasing running speed. *Journal of Sports Sciences*, 2005, 23, 1101-1109.
- Larsson, P., Olofsson, P., Jakobsson, E., Burlin, L. ja Henriksson-Larsén, K. 2002. Physiological predictors of performance in cross-country skiing from treadmill 41 tests in male and female subjects. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2002, 12, 347-353.
- Lindinger, S. J. & Holmberg, H-C. 2011. How do elite cross-country skiers adapt to different double poling frequencies at low to high speeds? *European Journal of Applied Physiology*, 2011, 111, 1103-1119.
- Lindinger, S. J., Holmberg, H-C, Müller, E. ja Rapp, W. 2009. Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology*, 2009, 106, 353-363.
- Lindinger, S. J., Stöggl, T., Müller, E. ja Holmberg, H-C. 2008. Control of Speed during the Double Poling Technique Performed by Elite Cross-Country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2008, 210-220.
- 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.
- Mikkola, J. 2008. *Hiihdon lajiansalyysi*. KIHU.
- Mikkola, J., Laaksonen, M. S., Holmberg, H-C., Nummela, A. & Linnamo, V. 2013. Changes in performance and poling kinetics during cross-country sprint skiing competition using the double-poling technique. *Sports Biomechanics*, DOI:10.1080/14763141.2013.784798.

- Millet, G. Y., Hoffman, M. D., Candau, R. B. ja Clifford, P. S. 1998. Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1998, 30, 1645-1653.
- Mygind, E., Larsson, B. ja Klausen, T. 1991. Evaluation of a specific test in cross-country skiing. *Journal of Sports Sciences*, 1991, 9, 249-257.
- Myontec, 2013. <http://www.myontec.com/products/software/megawin/> 23.4.2013.
- Nilsson, J. E., Jakobsen, V., Tveit, P. & Eikrehagen, O. 2003. Pole length and Ground Reaction Forces During Maximal Double Poling in Skiing. *Sports Biomechanics*, 2003, 2, 227-236.
- Nilsson, J. E., Holmberg, H. C., Tveit, P., Hallen, J. 2004a. Effects of 20-s and 180-s double poling interval training in cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 2004, 92, 121-127.
- Nilsson, J. E., Tveit, P. ja Eikrehagen, O. 2004b. Effects of Speed on Temporal Patterns in Classical Style and Freestyle Cross-Country Skiing. *Sports Biomechanics*, 2004, 3, 85-108.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F. & Parker, D. 2004. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2004, 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.
- Saltin, B. 1997. The Physiology of competitive cross-country skiing across a four-decade perspective; with a note on training induced adaptations and role of training at medium altitude. *Proceedings of the 1st International Congress on Skiing and Science*, St. Christoph a. Arlberg, Itävalta. E & FN Spon, Lontoo, s. 435-469.
- Smith, G. A., Fewster, J. B. ja Braudt, S. M. 1996. Double Poling Kinematics and Performance in Cross-Country Skiing. *Journal of Applied Biomechanics*, 1996, 12, 88-103.

- Staib, J. L., IM, J., Caldwell, Z. ja Rundell, K. W. 2000. Cross-Country Ski Racing Performance Predicted by Aerobic and Anaerobic Double Poling Power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2000, 14, 282-288.
- Stöggl, T., Enqvist, J., Müller, E. ja Holmberg H-C. 2010a. Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*, 2010, 28, 161-169.
- Stöggl, T. & Holmberg, H-C. 2011. Force interaction and 3D pole movement in double poling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2011, 21, 393-404.
- Stöggl, T., Lindinger, S. ja Müller, E. 2006a. Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2007, 17, 362-372.
- Stöggl, T., Lindinger, S. ja Müller, E. 2006b. Reliability and Validity of Test Concepts for the Cross-Country Skiing Sprint. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2006, 586-591.
- Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M. ja Holmberg, H-C. 2010b. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2010, 21, 791-803.
- Terzis, G., Stattin, B. ja Holmberg, H-C. 2005. Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2006, 16, 121-126.
- 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.
- Vähämetsä, J. 2008. Väsymyksen vaikutukset ylä- ja alaraajojen voimantuottoon ja lihasaktiivisuuteen kahdella eri luistelutyylillä tehdyn hiihtoharjoituksen jälkeen. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu - tutkielma.
- Vähäsöyrinki, P., Komi, P. V., Seppälä, S., Ishikawa, M., Kolehmainen, V., Salmi, J. A. ja Linnamo, V. 2007. Effect of Skiing Speed on Ski and Pole Forces in Cross-Country Skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2008, 40, 1111-1116.
- Walker, S. 2012. Acute Neuromuscular and Hormonal Responses and Long-term Adaptations to Hypertrophic Resistance Training with Special Reference to Constant

Versus Variable Resistance. *Studies in Sport, Physical Education and Health* 188. Jyväskylän yliopisto. Väitöskirjatyö.

- Wisløff, U. & Helgerud, J. 1998. Evaluation of a new upper body ergometer for cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1998, 30, 1314-1320.
- Zory, R., Molinari, M., Knaflitz, M., Schena, S. ja Rouard, A. 2011. Muscle fatigue during cross country sprint assessed by activation patterns and electromyographic signals time-frequency analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2011, 21, 783-790.

LIITTEET

Liite 1. Harjoittelun yhteenveto tutkimuksen ajalta, joka sisältää huhti-/toukokuulta neljän viikon harjoittelun jaottelun.

KH	PK-harjoittelu(h)	Tehoharjoittelu (h)	Voimaharjoittelu (h)	Ylävartalon lajivoima / lihaskestävyys harjoittelu (h / krt)
1	86	16	1	-
2	16	-	6	2h (2)
3	34.5	0.5	10.5	2h (4)
4	29	2.5	6	2h (3)
5	26.5	3	11	5h (4)
6	31.5	1.25	5.5	2.5h (2)
7	37.5	-	9.5	-
8	20	0.5	2	-
9	43	3	10	6h (6)
10	28	2	3	1h (2)
keskiarvo	35.2	3.59375	6.45	2h(2.5)
keskihajonta	19.51238923	5.112899478	3.67763511	1.21 (1.21)