

**YLÄVARTALON VOIMANTUOTTO-OMINAISUUKSIEN JA  
HIIHTOSUORITUSKYVYN KEHITTYMINEN HARJOITTELUKAUDEN AIKANA  
KANSALLISEN TASON MIESHIIHTÄJILLÄ**

Miika Köykkä

Valmennus- ja testausoppi  
Kandidaatintutkielma  
Syksy 2016  
Liikuntabiologian laitos  
Jyväskylän yliopisto  
Työnohjaajat: Antti Mero &  
Keijo Häkkinen

## TIIVISTELMÄ

**Köykkä, Miika.** 2016. Ylävartalon voimantuotto-ominaisuuksien ja hiihtosuorituskyvyn kehittyminen harjoittelukauden aikana kansallisen tason mieshiihtäjillä. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma, 51 s.

**Johdanto.** Ylävartalon merkitys hiihdossa on kasvanut, mikä näkyy hiihtäjien suurempana panostuksena ylävartalon voima- ja kestävyysharjoitteluun. Jatkuvasti kasvavat hiihtovauhdit asettavat hermo-lihasjärjestelmän entistä suuremman haasteen eteen, kun erityisesti ylävartalolla on pystyttävä tuottamaan eteenpäin vievää voimaa yhä tehokkaammin. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, minkälaisia muutoksia hiihtosuorituskyvyssä ja ylävartalon voimantuotto-ominaisuuksissa tapahtuu hiihtäjillä harjoittelukauden aikana, ja onko näiden muutosten välillä yhteyttä.

**Menetelmät.** Suomalaisia kansallisen tason mieshiihtäjiä ( $n = 12$ , ikä  $22,7 \pm 3$  v, pituus  $1,83 \pm 0,05$  m, paino  $74,8 \pm 6,1$  kg,  $VO_{2max}$   $65,0 \pm 4,8$  ml/kg/min) osallistui tutkimukseen. Heiltä testattiin toukokuussa, heinäkuussa ja lokakuussa penkkipunnerruksen yhden toiston maksimi (PP 1RM), tasatyönnon isometrisen maksimivoima (TT-veto<sub>isom</sub>  $F_{max}$ ), dynaaminen maksimiteho (TT-veto<sub>dyn</sub>  $P_{max}$ ) ja maksiminopeus (TT<sub>20, lentävä</sub>), anaerobinen tasatyöntösuorituskyky (AnaTT) sekä pitkäaikainen hiihtosuorituskyky (hiihtotesti). Pitkäaikaista hiihtosuorituskykyä mitattiin hiihtäen suoralla hapenottokyvyn testillä, josta mitattiin maksimaalisen hapenottokyvyn ( $VO_{2peak}$ ) lisäksi hiihdon taloudellisuus kuokalla ( $VO_2 V_{1sub}$ ) ja wassbergilla ( $VO_2 V_{2sub}$ ).

**Tulokset.** Tutkimusjaksolla anaerobisessa tasatyöntötestissä tapahtui kehitystä ( $+22,0 \pm 15,2$  %,  $p = 0,000$ ). Varianssit olivat tilastollisesti merkitseviä AnaTT:ssä ( $p = 0,000$ ), PP 1RM:ssä ( $p = 0,035$ ) ja hiihtotestissä ( $p = 0,012$ ) ja muutokset keskiarvoissa kehityksen suuntaisia, joten näissä testeissä voidaan odottaa kehitystä pidemmällä aikavälillä. TT<sub>20, lentävä</sub>:n ( $r = 0,758$ ,  $p = 0,007$ ) ja TT-veto<sub>dyn</sub>  $P_{max}$ :n ( $r = -0,726$ ,  $p = 0,007$ ) kehittyminen oli yhteydessä  $VO_2 V_{2sub}$  kehittymiseen. Kehitys AnaTT:ssä ( $r = 0,716$ ,  $p = 0,009$ ) ja  $VO_2 V_{2sub}$ :ssa ( $r = -0,619$ ,  $p = 0,032$ ) oli yhteydessä hiihtotestin kehittymiseen.

**Pohdinta ja johtopäätökset.** Hiihtäjien kannattaa pyrkiä kehittämään ylävartalon räjähtävää voimantuottoa sekä lajinomaista anaerobista suorituskykyä, sillä tällöin on odotettavissa kehitystä myös hiihdon taloudellisuudessa ja pitkäaikaisessa hiihtosuorituskyvyssä. Ylävartalon maksimivoimatason kehittyminen ei korreloinut hiihtosuorituskyvyn kehittymisen kanssa, joten maksimivoimaharjoittelun jälkeen on suunniteltava huolellisesti myös, miten mahdollinen kehitys saadaan siirrettyä lajisuorituksen voimantuottoon. Hyvin yksilölliset muutokset eri testeissä kuvannevat hyvin erilaisia harjoittelun painotuksia tällä tutkittavajoukolla.

**Asiasanat:** maastohiihto, ylävartalon voimantuotto, kestävyysuorituskyky, taloudellisuus

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | JOHDANTO .....  | 1  |
| 2   | HIIHTOSUORITUSKYVYN OSATEKIJÄT .....  | 2  |
| 2.1 | Hiihdon biomekaniikka .....   | 2  |
| 2.2 | Hiihdon fysiologia .....  | 4  |
| 3   | MAKSIMI- JA NOPEUSVOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUS<br>KESTÄVYYSSUORITUSKYKYYN ..... | 7  |
| 3.1 | Vaikutus kestävyysuorituskykyä määrittäviin osatekijöihin.....                | 9  |
| 3.2 | Vaikutus lyhytaikaiseen kestävyysuorituskykyyn .....                          | 16 |
| 3.3 | Vaikutus pitkäaikaiseen kestävyysuorituskykyyn .....                          | 17 |
| 4   | YLÄVARTALON VOIMANTUOTTO-OMINAISUUKSIEN MERKITYS<br>HIIHDOSSA.....            | 18 |
| 5   | TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT .....  | 21 |
| 6   | MENETELMÄT .....  | 23 |
| 6.1 | Tutkittavat.....  | 23 |
| 6.2 | Koeasetelma .....   | 23 |
| 6.3 | Aineiston keräys ja analysointi.....  | 25 |
| 7   | TULOKSET .....  | 31 |
| 7.1 | Muutokset harjoittelukauden aikana.....                                       | 31 |
| 7.2 | Muutosten väliset korrelaatiot .....  | 34 |
| 8   | POHDINTA .....  | 39 |
| 8.1 | Muutokset hiihtosuorituskyvyssä .....   | 39 |
| 8.2 | Muutokset nopeus- ja voimaominaisuuksissa .....                               | 41 |
| 8.3 | Valmennuksellinen näkökulma .....   | 42 |
| 8.4 | Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....                                      | 43 |
| 8.5 | Johtopäätökset .....  | 44 |
|     | LÄHTEET .....   | 46 |

# 1 JOHDANTO

Hiihtäjien perinteinen kestävyysharjoittelumalli sisältää hyvin paljon matalatehoista harjoittelua ja vähän tai kohtalaisesti kovatehoista harjoittelua (Gaskill ym. 1999, Seiler & Kjerland 2006). Huolimatta hiihdon viime vuosikymmenien myllerryksestä tämä malli on säilyttänyt suosionsa hiihtäjien harjoittelussa (Sandbakk & Holmberg 2014). Vaikka harjoittelun pääperiaatteet eivät ole juuri muuttuneet, on Sandbakk ja Holmbergin (2014) ruotsalaisista ja norjalaisista hiihdon olympiavoittajista tekemän harjoitteluanalyysin perusteella jotain kuitenkin tapahtunut. Yhä suurempi osa huippuhiihtäjien harjoittelusta tapahtuu rullasuksilla erityisillä rullahiihtoradoilla. Lisäksi hiihtäjät sisällyttävät harjoitteluunsa systemaattisesti voima-, nopeusvoima- ja nopeusharjoittelua. Tänä päivänä myös erityisesti ylävartaloon keskittyvän voima- ja kestävyysharjoittelun osuus kaikesta harjoittelusta on kasvanut. (Sandbakk & Holmberg 2014.)

Ylävartalon merkitys hiihdossa on kasvanut, kun on alettu ymmärtää entistä paremmin mahdollisimman tehokkaan sauvatyöskentelyn vaatimuksia. Hiihtovauhdin kasvaessa on pystyttävä entistä suurempaan eteenpäin vievään voimantuottoon (Sandbakk & Holmberg 2014). Holmbergin ym. (2005) ja Lindingerin ym. (2009) havaintojen mukaan yksi parhaita keinoja tuottaa suurempi eteenpäin vievä voima onkin tehostaa sauvatyöskentelyä lihasten esiaktivoinnilla ja hyödyntämällä venymis-lyhenemissykliä sekä aktiivisella kehon massakeskipisteen pudottamisella. Tällöin päästään entistä suurempiin huippuvoimiin jo heti työnnön ja syklin alkuvaiheessa (Holmberg ym. 2005; Lindinger ym. 2009). Luonnollisesti tehokkaampi sauvatyöskentely asettaa vaatimuksia myös ylävartalon voimantuotto-ominaisuuksille. Ylävartalon lajinomainen tehontuottokyky ja työkapasiteetti ovatkin vahvasti yhteydessä hiihtosuorituskykyyn. Hiihdon maksiminopeuden on havaittu olevan yhteydessä ylävartalon maksimitheoon ja -voimaan (Stöggl ym. 2007; Mikkola ym. 2010). Edelleen sprinttisuorituskyvyn on havaittu olevan yhteydessä ylävartalon maksimitheoon sekä työkapasiteettiin (Stöggl ym. 2007; Mikkola ym. 2010). Myös pitkän matkan hiihdon suorituskyvyn on havaittu olevan yhteydessä ylävartalon työkapasiteettiin (Gaskill ym. 1999; Mahood ym. 2001; Alsobrook & Heil 2009).

Niinimaa ym. (1978) ja Ng ym. (1988) tutkivat ensimmäisinä yleisten voimantuotto-ominaisuuksien merkitystä hiihtosuorituskyvyssä. Modernissa hiihdossa tätä ovat tutkineet vain Stöggl ym. (2011). Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää, minkälaisia muutoksia hiihtosuorituskyvyssä ja ylävartalon lajinomaisissa sekä yleisissä voimantuotto-ominaisuuksissa tapahtuu hiihtäjillä harjoittelukauden aikana, ja onko näiden muutosten välillä yhteyttä.

## 2 HIIHTOSUORITUSKYVYN OSATEKIJÄT

Hiihto on yksi kokonaisvaltaisimpia urheilulajeja, joka vaatii urheilijalta korkeaa hapenotto-kykyä, nopeaa voimantuottoa, kykyä vastustaa väsymystä sekä hyvää tekniikkaa (Rusko 2003, ix). Kilpailumatkat ovat naisilla 5–30 kilometriä ja miehillä 10–50 kilometriä, minkä lisäksi sprinttihiihdossa finaaliin asti pääsevät hiihtävät neljä kertaa 0,8–1,8 kilometrin matkan (FIS). Näin ollen kilpailut kestävät noin neljä kertaa 2–4 minuutista (sprintti) aina yli kahteen tuntiin (50 km) (Sandbakk & Holmberg 2014).

Hiihdossa kilpailuvauhdit ovat kasvaneet enemmän kuin missään muussa olympialaisissa kilpailtavassa kestävyyslajissa (Sandbakk & Holmberg 2014). Tämä asettaakin erityishaasteen sekä hiihtäjän neuromuskulaarisille tekijöille että hiihtotekniikalle (Rusko 2003, ix). Lisäksi viimeisimmissä olympialaisissa Sotšissa 2014 jopa 10 kaikkiaan 12 matkasta tapahtui yhteislähdöllä, mikä korostaa myös taktisen osaamisen ja loppukirikyvyn merkitystä (Sandbakk & Holmberg 2014).

Rusko (2003, 19) tiivistää hiihtosuorituskyvyn osatekijät kykyyn hiihtää kovaa sekä kykyyn vastustaa väsymystä. Kyky hiihtää kovaa riippuu hermo-lihasjärjestelmän käskytyksestä ja lihasten rekrytoinnista, maksimaalisesta hapenottokyvystä, hiihtotekniikoista ja taloudellisuu-desta sekä aerobisesta ja anaerobisesta energiantuotosta. Kyky vastustaa väsymystä taas on riippuvainen hermo-lihas-järjestelmän kyvystä ylläpitää käskytystä, kyvystä hiihtää pitkään mahdollisimman lähellä maksimaalista hapenottoa, glykogeenivarastoista ennen pitkää kilpailua sekä glukoosin nauttimisesta pitkän kilpailun aikana, rasvojen hyväksikäytöstä ja anaerobisesta kapasiteetista sekä puskurikapasiteetista. (Rusko 2003, 19.)

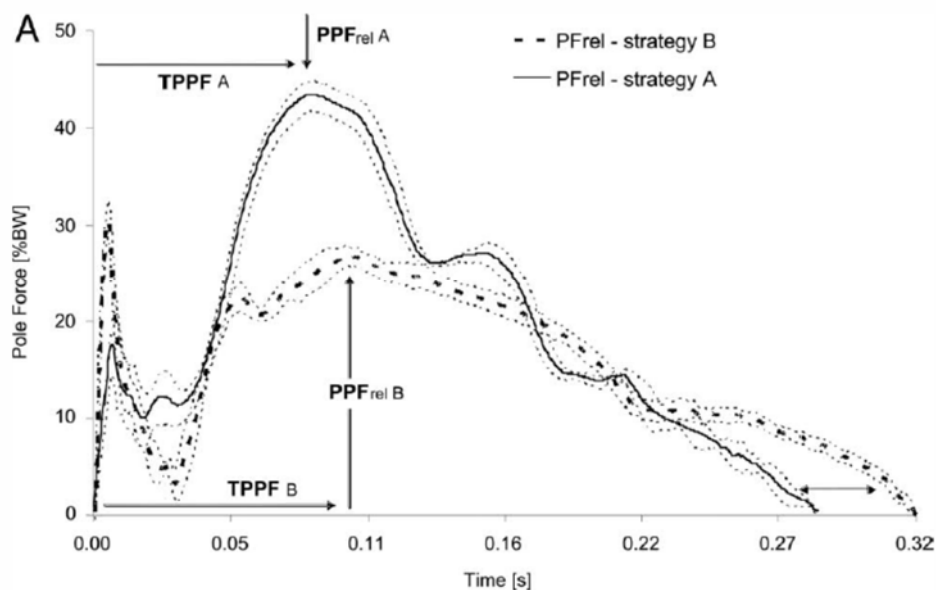
### 2.1 Hiihdon biomekaniikka

Hiihtäjän on kyettävä sovittamaan tekniikkansa erittäin vaihteleviin vauhteihin (5–70 km/h) ja maaston muotoihin (-20–20 % jyrkkyys) (Sandbakk & Holmberg 2014). Jotta tämä onnistuisi, on hiihtotekniikkaa muutettava useita kertoja kilpailun aikana. Esimerkiksi Anderson ym. (2010) havaitsivat hiihtäjien muuttaneen tekniikkaansa 21–34 kertaa 1,43 kilometrin sprinttikilpailun aikana. Lajin luonteen muuttuessa on siis myös hiihtäjien biomekaniikan tuntemisen merkitys kasvanut.

Kovempi vauhti vaatii entistä kovempaa eteenpäin vievää voimantuottoa, jotta kunkin syklin pituus kasvaisi. Nykyaikainen huippuhihtäjä pystyykin parhaimmillaan tuottamaan 430 newtonin sauvavoiman vain 0,05 sekunnissa ja saavuttamaan 1600 newtonin voiman luistelupotkun aikana (Stöggl ym. 2011). Havainnot ovat linjassa Smithin ym. (2006) tutkimuksen kanssa, sillä siinä havaittiin sekä työnnössä että potkussa saavutettavien huippuvoimien kasvavan nopeuden kasvaessa, vaikka keskimääräinen voimantuotto työnnön ja potkun aikana pysyykin lähes samalla tasolla.

Erityisesti ylävartalon kyky tuottaa nopeasti suuria voimia on viime vuosien kehityksessä hiihtäjillä parantunut (Sandbakk & Holmberg 2014) ja sen merkitys suorituskyvyssä korostunut (Alsobrook & Heil 2009; Mikkola ym. 2010). Tehokkaampi sauvatyöskentely onnistuu esimerkiksi esiaktivoimalla ylävartalon lihakset ja pudottamalla massakeskipistettä ennen sauvojen maakontaktia, milloin venymis-lyhenemissyklissä saadaan paras hyöty (Holmberg ym. 2005; Lindinger ym. 2009). Tämän seurauksena työnnön alussa saadaan aikaan entistä suurempi voimantuotto (kuva 3). Rønnestad ja Mujikan (2014) mukaan juuri tällaisen venymis-lyhenemisyklimäisen liikkeen hyödyntämisen osaaminen korostuu lajeissa, joissa se toistuu jatkuvasti, kuten esimerkiksi hiihdossa.

Rusko (2003, 59–60) toteaa, että nopeammat hiihtäjät pystyvät tekemään kustakin syklistä pidempiä kuin hitaammat, vaikka syklien tiheys on samaa luokkaa. Syklin pituuden ja suorituskyvyn välinen positiivinen yhteys on havaittu useissa tutkimuksissa (Smith ym. 1989; Boulay ym. 1994; Bilodeau ym. 1996; Stöggl & Müller 2009). Ollakseen nopeampi hiihtäjän täytyy siis pystyä tuottamaan kussakin syklistä suurempi eteenpäin vievä voima ehtiäkseen liikkua samassa ajassa enemmän eteenpäin. Sandbakkin ja Holmbergin (2014) mukaan parhaat hiihtäjät pystyvät myös kasvattamaan syklien tiheyttä ylämäkeen pitäen niiden pituuden samana. Tällöin voimantuoton on oltava entistä nopeampaa. Hyvä hiihtäjä pystyy tuottamaan paljon voimaa eteenpäin kasvattamatta hidastavia voimia, kuten lumen ja suksen välistä kitkaa, ja samalla minimoimaan sivuttaisliikkeen (Rusko 2003, 60).



KUVA 1. Sauvavoimakuvaajat modernista ja perinteisestä tasatyöntötyylistä. Pystyakselilla sauvavoima (% kehonpainosta) ja vaaka-akselilla aika. Kiinteä viiva kuvaa modernia ja katkoviiva perinteistä tasatyöntötyyliä. (Holmberg ym. 2005).

## 2.2 Hiihdon fysiologia

Maksimaalinen hapenotto (VO<sub>2max</sub>) luo vahvan perustan hiihtäjän suorituskyvylle. VO<sub>2max</sub> on hyvin perinnöllinen ominaisuus (Bouchard 1986), mutta siihen voidaan vaikuttaa harjoittelulla. Huippuhihtäjillä on poikkeuksellisen korkea maksimaalinen aerobinen teho niin absoluuttisesti (l/min) kuin kehonpainoon suhteutettuna (ml/kg/min). Noin 6 l/min tai 80–90 ml/kg/min voitaneen pitää mieshuippuhihtäjille tyypillisinä arvoina (Holmberg 2007; Sandbakk & Holmberg 2014; Tønnesen ym. 2014) naisten arvojen ollessa noin 10–15 % pienempiä (Sandbakk ym. 2014; Tønnesen ym. 2014). Huippuhihtäjillä onkin mitattu kaikkein suurimpia maksimaalisen hapenottoarvoja kaikki urheilulajit huomioiden (Rusko 2003, 2, 20; Holmberg ym. 2007).

Tämä pakottaakin hiihtäjien hapenkuljetusjärjestelmän kovalle kuormitukselle, sillä kilpailut voivat olla jopa -20 °C lämpötilassa (Rusko 2003, 1–4; Sandbakk & Holmberg 2014). Ventilaatio voi olla huippuhihtäjällä kuormituksen aikana jopa yli 200 l/min (Rusko 2003, 2; Keskinen 2007, 73–80). Sydämen iskutilavuus voi olla huippuhihtäjillä levossa noin 80–110 ml ja maksimaalisessa kuormituksessa 160–200 ml (Rusko 2003, 2; Keskinen 2007, 85–90), kun taas

harjoittelemattomalla vastaavat arvot ovat luokkaa 50–60 ml ja 100–120 ml (Keskinen 2007, 85–90). Huippuhiittäjien sydämen suurentunut iskutilavuus johtuu suuremmasta sydämen supistusvoimasta ja erityisesti kasvaneesta vasemman kammion tilavuudesta (Ehsani ym. 1978). Pitkään jatkuva kestävyysharjoittelu nimittäin kasvattaa sydämen vasemman kammion tilavuutta ja supistusvoimaa, sillä sydänlihas supistuu sitä tehokkaammin, mitä enemmän sitä venytetään (Keskinen 2007, 85–90). Sydämen minuuttitilavuus voikin täten kasvaa yli 40 litraan minuutissa. Suorituskyvyn kannalta olennaista on kuitenkin pystyä myös siirtämään happi valtimoverestä työskenteleville lihaksille, sillä muuten se vain kulkisi kudosten läpi. Tähän huippuhiittäjien elimistö on harjoittelun myötä oppinut erittäin hyvin, sillä jopa 95 % jalkalihaksille menevästä hapesta ja vain noin 10 % vähemmän käsilihaksille menevästä hapesta myös jää lihakseen (Calbet 2005). Tämä tarkoittaa sitä, että valtaosa hapesta pystytään hyödyntämään energiantuotannossa.

Kunkin tekniikan maksimia voidaan kuvata huippuhapenkulutuksella ( $VO_{2peak}$ ) ja  $VO_{2peak}:VO_{2max}$ -suhde kuvaa, kuinka lähelle maksimia urheilija pääsee. Tehokkaan hapenkuljetuskapasiteetin ja kyvyn siirtää happi lihasoluihin vuoksi huippuhiittäjillä on edellytykset saavuttaa poikkeuksellisen korkea  $VO_{2peak}:VO_{2max}$ -suhde jopa niillä tekniikoilla, joilla työskentelevä lihasmassa ei ole maksimaalinen (Holmberg 2015). Holmberg (2015) arvioi, että esimerkiksi luisteluhiihdossa  $VO_{2max}$  saavutetaan tyypillisesti hiihdettäessä ylämäkeen V1- (kuokka) tai V2-luistelutekniikalla (wassberg), jolloin lihaksiston kokonaisvaltainen kuormitus on suurimmillaan. Uusimman fysiologisen tiedon valossa hiihtäjien olisikin hyvä tavoitella kullekin tekniikalle yli 95 %  $VO_{2peak}$ -arvoja suhteessa  $VO_{2max}$ -arvoihinsa (Holmberg 2015). Tämä vaatii toki myös erittäin hyvää tekniikkaa ja riittävät voimantuotto-ominaisuudet.

Huippuhiittäjien aerobinen kapasiteetti on nykyään samalla tasolla kuin aiempienkin hiihdon olympiavoittajien, mutta anaerobisen kapasiteetin, ylävartalon tehon, entistä kovavauhtisempien tekniikoiden hallitsemisen ja taktisen osaamisen merkitys on entisestään korostunut (Sandbakk & Holmberg 2014). Hiihdosta on siis tullut entistä kokonaisvaltaisempaa, mihin myös harjoittelun täytyy mukautua. Esimerkiksi hiihtäjän hetkellisen maksiminopeuden ja maksimi-voiman on havaittu olevan vahvasti yhteydessä suorituskykyyn sprinttihiihdossa (Stöggl ym. 2007; Stöggl ym. 2011). Samat ominaisuudet korostuvat myös pidemmällä matkoilla esimerkiksi lähtökiihdytyksissä sekä ohitus- ja loppukiritilanteissa (Beattie ym. 2014). Maksimaalinen hapenotto-kyky on sprinttihiihtäjillä samaa luokkaa kuin pidemmän matkan hiihtäjillä mitattuna

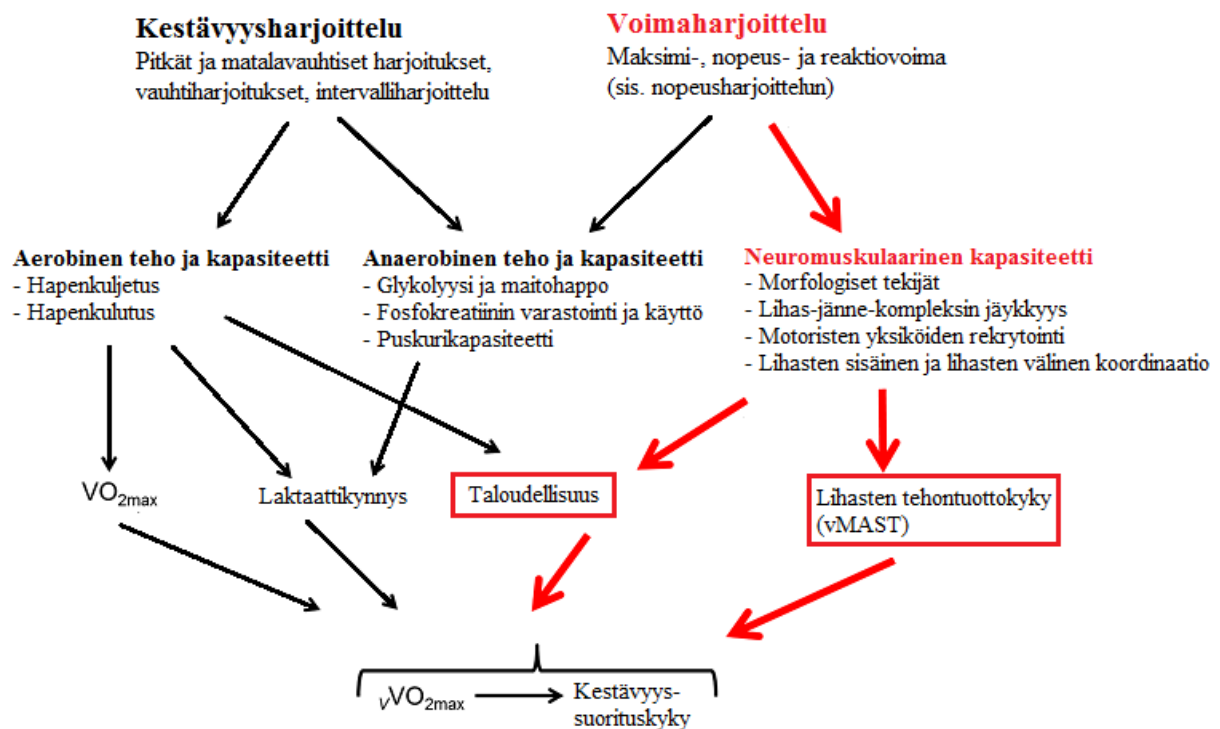


absoluuttisena arvona (esim. l/min), mutta suhteessa kehon massaan (esim. ml/kg/min) se on hieman matalampi anaerobisen kapasiteetin ollessa parempi (Sandbakk & Holmberg 2014).

Kaikissa hiihdon kilpailumuodoissa hiihtäjän kyky muuntaa aineenvaihdunnasta saamaansa energiaa vauhdiksi on suorituskyvyn tärkein osa-alue (Mahood ym. 2001; Sandbakk ym. 2010; Sandbakk ym. 2011). Sandbakk ym. (2010) ovatkin havainneet, että norjalaisten maailman huipulla kilpailevia ja kansallisella tasolla kilpailevia hiihtäjiä eniten erottava tekijä on hiihdon hyötysuhde ja taloudellisuus kaikilla vauhdeilla. Hiihtäjän onkin tärkeää löytää itselleen parhaiten sopiva tyyli toteuttaa eri hiihtotekniikoita mahdollisimman tehokkaasti.

### 3 MAKSIMI- JA NOPEUSVOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUS KESTÄVYYSSUORITUSKYKYYN

Kestävyysuorituskykyä rajoittavimpana tekijänä on perinteisesti pidetty maksimaalista hapenottoa ja siihen liittyviä tekijöitä, kuten maksimaalista nopeutta laktaattikynnyksellä (Basset & Howley 2000). On kuitenkin selvää, että hapenottoa mitattuna kaksi samantasoista urheilijaa voivat kilpailussa olla aivan eri tasoilla. Taloudellisuuden ja kyvyn tuottaa eteenpäin vievää voimaa nopeasti liikuttaessa maksimaalisen hapenoton tasolla tiedetään määrittävän kestävyysuorituskykyä myös (Paavolainen ym. 1999). Nykyään tiedetään, että esimerkiksi hiihdossa suorituskykyä määrittäviä tekijöitä ovat edellä mainittujen lisäksi ainakin maksimaalinen anaerobinen nopeus sekä anaerobinen taloudellisuus (Mikkola ym. 2010; Sandbakk & Holmberg 2014) ja maksimaalinen lajinomainen tehontuotto (Alsobrook & Heil 2009; Sandbakk & Holmberg 2014). (Kuva 1.)

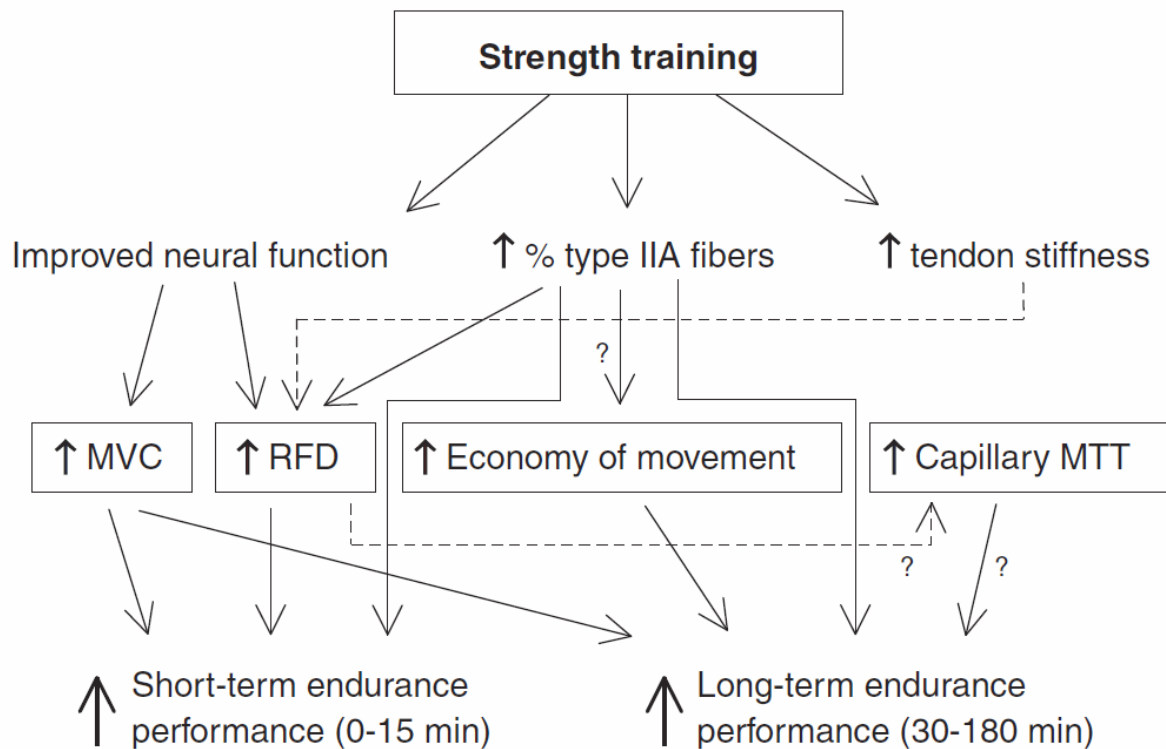


KUVA 2. Hypoteettinen malli kestävyysuorituskykyä määrittävistä tekijöistä. Punainen fontti ja lihavoidut punaiset nuolet kuvaavat voimaharjoittelusta mahdollisesti saatavia hyötyjä kestävyysuorituskyvylle (mukaeltu Beattien ym. 2014 artikkelista).  $VO_{2max}$  maksimaalinen hapenottoa;  $vVO_{2max}$  maksimaalinen vauhti maksimaalisella hapenottoa.

Nummelan ym. (2007, 346) mukaan kestävyysurheilussa voimaharjoittelun tavoitteena on valmistaa hermo-lihasjärjestelmää suurempiin nopeuksiin ja parantaa elastisen energian hyväksikäyttöä suorituksen aikana. Perinteisen kestävyysurjoittelun keinoin kehitettävien maksimaalisen hapenottokyvyn, pitkäaikaisen kestävyuden ja taloudellisuuden lisäksi kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat myös lajinomaiset hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuudet (Nummela ym. 2007, 345). Esimerkiksi hiihdossa ja juoksussa voimantuottoajat ovat alle 0,2 sekuntia (Nummela ym. 2007, 346), mikä nostaa esiin nopeusvoimaominaisuuksien merkityksen urheilijoilla. On siis selvää, ettei hidas ja suuria toistomääriä sisältävä kesto-voimaharjoittelu ole riittävä ärsyke lajille ominaisten voima- ja nopeusalueiden kehittymiselle. Kestävyysurheilijan voimaharjoittelussa olennaista onkin lajisuoritusta suurempi ja nopeampi voimantuotto (Nummela ym. 2007, 347).

Maksimaalisella nopeudella tehdyn maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun on raportoitu harjoittelemattomilla lisäävän tyypin IIA-lihassolujen lukumäärää tyypin IIX-lihassolujen määrän kustannuksella (Andersen & Aagaard 2000; Campos ym. 2002), kasvattavan maksimivoimaa (Aagaard ym. 2002; Campos ym. 2002; Eklund ym. 2014) ja parantavan maksimaalista voimantuottonopeutta (Aagaard ym. 2002; Oliveira 2013). Vastaavia tuloksia on saatu myös kestävyysurheilijoilla niin lihassolutyypin muutoksista (Aagaard ym. 2011; Rønnestad & Mujika 2014) maksimivoiman kehittymisestä (esim. Østerås ym. 2002; Aagaard ym. 2011; Losnegard ym. 2011; Rønnestad ym. 2012) kuin maksimaalisen voimantuottonopeuden parantumisesta (Hoff ym. 1999; Hoff ym. 2002; Østerås ym. 2002; Aagaard ym. 2011).

Sekä harjoittelemattomilla että kestävyyskuntoilijoilla on havaittu lyhytaikaisen (<20 min) ja pitkäaikaisen (>20 min) kestävyysuorituskyvyn paranemista voimaharjoittelun myötä (esim. Hickson ym. 1980, Hickson ym. 1988; Hoff ym. 1999; Hoff ym. 2002; Sunde ym. 2010). Beattie ym. (2014) esittävät systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessaan maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksista kestävyysuorituskykyyn, että suurimmat hyödyt saadaan taloudellisuuden ja lihasten tehontuottokyvyn parantumisesta. (Kuva 2.) Huippu-urheilijoilla tutkimuksia on tehty hyvin vähän ja tulokset ovat tähän mennessä olleet ristiriitaisia (Paavolainen ym. 1999; Bastiaans ym. 2001; Saunders ym. 2006), joten voimaharjoittelun vaikutuksista heidän suorituskykyynsä ei olla täysin varmoja. Maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelu on kuitenkin selvästi eduksi kestävyysuorituskyvyn kehittymisen kannalta.



KUVA 3. Voimaharjoittelun vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn (Aagaard & Andersen 2010).

Onkin osoitettu, että maksimivoima- (Hoff ym. 1999; Hoff ym. 2002; Østerås ym. 2002; Sunde ym. 2010) ja plyometrinen harjoittelu (Saunders ym. 2006; Mikkola ym. 2007) yhdessä lajinomaisen kestävyysharjoittelun kanssa parantaa muun muassa kestävyysuorituksen taloudellisuutta sekä kestävyysuorituskykyä kasvattamalla lihasten tehontuottokykyä. Tärkeää on kuitenkin huomioida, että voimaharjoittelun on kohdistuttava niiden lihasten ja lihasryhmien toimintaan sekä niille nivelkulmille, joita juuri lajisuorituksessa käytetään (Nummela ym. 2007, 347).

### 3.1 Vaikutus kestävyysuorituskykyä määrittäviin osatekijöihin

*Muutokset hermo-lihas-järjestelmässä.* Raskailla painoilla tehtävän voimaharjoittelun on raportoitu lisäävän lihas-jänneyksikön jäykkyyttä (Craib ym. 1996; Kubo ym. 2002), mikä parantaa sen kykyä varastoida ja vapauttaa elastista energiaa ja näin tehostaa konsentrista lihassupistusta (Asmussen & Bonde-Petersen 1974). Rønnestadin ja Mujikan (2014) mukaan tällä on erityisen suuri merkitys kestävyyslajeissa, joiden suorituksissa toistuvat venymis-lyhenemissyk-

limäiset liikkeet. Myös lihassolutasolla tapahtuu kestävyysuorituksen kannalta edullisia muutoksia. Tyypin IIX lihasfiibereiden osuuden on nimittäin havaittu pienentyvän ja paremmin väsymystä vastustavien tyypin IIA lihasfiibereiden osuuden lisääntyvän (Aagaard ym. 2011). Lisäksi voimaharjoittelu saa aikaan maksimivoiman ja/tai maksimaalisen voimantuottonopeuden kasvua (Hoff ym. 1999; Hoff ym. 2002; Sunde ym. 2010; Aagaard ym. 2011). Maksimaalisen voimantuottonopeuden kasvun aiheuttaa usein neutraalisen aktivaation lisääntyminen, ja juuri maksimaalisella konsentrisen vaiheen nopeudella raskailla painoilla sekä räjähtävällä voimaharjoittelulla voidaan tätä lisätä (Mikkola ym. 2011). Nämä muutokset johtavat paitsi maksimivoiman kehittymiseen, myös voima-nopeus- ja voima-aika-käyrän siirtymiseen ylös ja oikealle (Østerås ym. 2002). Tutkijat arvioivat, että koska maksimivoiman ja maksimaalisen voimantuottonopeuden kasvaessa urheilija pystyy etenemään pienemmällä suhteellisella yrityksellä tai toisin sanoen saman voimatason saavuttamiseen kussakin liikesyklissä kuluu vähemmän aikaa, voisi verenvirtaus työskenteleville lihaksille parantua niin ikään (esim. Hoff ym. 2002; Rønnestad ja Mujika 2014).

*Muutokset maksimaalisessa hapenottokyvyssä.* Hyvin vähäistä maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymistä kestävyysharjoitteluun yhdistetyn voimaharjoittelun myötä on havaittu pyöräilijöillä (Bishop ym. 1999; Bastiaans ym. 2001; Sunde ym. 2010; Aagaard ym. 2011), kestävyysjuoksijoilla (Paavolainen ym. 1999; Støren ym. 2008; Mikkola ym. 2011) ja hiihtäjillä (Hoff ym. 1999; Hoff ym. 2002; Østerås ym. 2002; Losnegard ym. 2011; Rønnestad ym. 2012). Näiden havaintojen perusteella voimaharjoittelusta ei kuitenkaan näyttäisi olevan merkittävää hyötyä maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymisen kannalta.

*Muutokset suorituksen taloudellisuudessa.* Maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun on havaittu useissa tutkimuksissa parantavan kestävyysuorituksen taloudellisuutta (esim. Paavolainen ym. 1999; Østerås ym. 2002; Sunde ym. 2010; Rønnestad ym. 2012). Taloudellisuuden kehittymisen kannalta vaikuttaisi tuoreimpien kirjallisuuskatsausten perusteella maksimivoimaharjoittelusta olevan enemmän hyötyä kuin nopeusvoimaharjoittelusta (Guglielmo ym. 2008; Bazyler ym. 2015). Bazyler ym. (2015) huomauttavat kuitenkin, että mikäli urheilija on jo tehnyt runsaasti maksimivoimaharjoittelua, olisi maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun yhdistäminen parempi ratkaisu. Tätä tukee esimerkiksi Rønnestadin ym. (2010) kovatasoisilla pyöräilijöillä tekemä tutkimus, jossa maksimivoimaharjoittelulla ei saatu aikaan taloudellisuuden parantumista.

*Muutokset laktaattikynnyksessä.* Kestävyysjuoksijoilla on havaittu laktaattikynnysvauhdin kasvua sekä nopeusvoima- että maksimivoimaharjoittelun jälkeen (Paavolainen ym. 1999; Guglielmo ym. 2008; Mikkola ym. 2011). Pyöräilijöillä taas on havaittu joissain tutkimuksissa, että tehontuotto tietyllä laktaattitasolla on kasvanut (Koninckx ym. 2010; Rønnestad ym. 2010), kun taas joissain tutkimuksissa parannusta ei ole havaittu (Bishop ym. 1999; Sunde ym. 2010; Aagaard ym. 2011). Jälkimmäisissä suorituskyky parani kuitenkin huomattavasti muiden tekijöiden vaikutuksesta.

*Muut kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat tekijät.* Kyky kiihdyttää hetkellisesti vauhtia on myös hyvin vahvasti riippuvainen urheilijan kyvystä saavuttaa korkea hetkellinen tehontuotto, minkä kehittymistä kestävyysurheilijoiden raskailla painoilla tekemä voimaharjoittelu sekä Beattien ym. (2014; lajeina kestävyysjuoksu, hiihto ja triathlon) että Rønnestadin ja Mujikan (2014; lajeina kestävyysjuoksu ja pyöräily) kirjallisuuskatsausten perusteella edesauttavat. Maksimivoimaharjoittelun on havaittu parantavan muun muassa pyöräilijöiden maksimitehoa (Rønnestad ym. 2010). Vastaavasti kestävyysjuoksijoilla on havaittu maksimaalisen anaerobisen tehon parantumista nopeusvoimaharjoittelun myötä (Paavolainen ym. 1999).

TAULUKKO 1. Hiihtäjillä tehtyjen voimaharjoitteluinterventioiden taustatiedot (Beattie ym. 2014).

| Tutkimus             | Koehenkilöt |           |              |                                       | Tutkimuksen kuvaus                              |      |      |       |                      |
|----------------------|-------------|-----------|--------------|---------------------------------------|---|------|------|-------|----------------------|
|                      | n           | Sukupuoli | Ikä (vuotta) | $\dot{V}O_2\text{max}$<br>(ml/kg/min) |   | Taso | IR n | KR n  | KH kontrolloitu?     |
| Hoff ym. (1999)      | 15          | N         | 17,9         | 55,3                                  | ~8,8 tuntia harjoittelua viikossa               | 8    | 7    | Kyllä | Tilalle, kestovoiman |
| Hoff ym. (2002)      | 19          | M         | 19,8         | 69,4                                  | Hyvin harjoitelleita                            | 9    | 10   | Kyllä | Tilalle, kestovoiman |
| Østerås ym. (2002)   | 19          | M         | 22,7         | 61,2                                  | Erittäin harjoitelleita, >5 vuotta kilpailleita | 10   | 9    | Kyllä | Tilalle, kestovoiman |
| Mikkola ym. (2007)   | 19          | M         | 23,1         | 66,5                                  | Kansallinen, Suomi, 6–15 vuotta kilpailleita    | 8    | 11   | -     | Tilalle              |
| Rønnestad ym. (2012) | 17          | M         | 19,5         | 66,2                                  | Yhdistetyn kansallinen ja kansainvälinen        | 8    | 9    | Kyllä | Tilalle              |
| Losnegard ym. (2011) | 19          | M ja N    | 21,5         | 64,7                                  | Kansallinen                                     | 9    | 10   | -     | -                    |

Luvut ovat keskiarvoja, ellei toisin mainita

$\dot{V}O_2\text{max}$  maksimaalinen hapenottokyky, IR interventoryhmä, KR kontrolliryhmä, n lukumäärä, KH kestävyys harjoittelu, VH voimaharjoittelu,

M mies, N nainen

TAULUKKO 2. Hiihtäjillä tehtyjen voimaharjoitteluinterventioiden harjoitusohjelmakuvaukset (Beattie ym. 2014).

| Tutkimus                | VH                        | Harjoitusohjelma  | Määrä<br>(viikossa)       | Kesto<br>(viikkoa) | Ajankohta            |
|-------------------------|---------------------------|---|---------------------------|--------------------|----------------------|
| Hoff ym.<br>(1999)      | Maksimi                   | Pull-downs — 3 x 6; Jokaisella harjoituskerralla +1 kg<br>Kontrolliryhmä jatkoi tavanomaista kestovoimaohjelmaansa (<60 % 1 RM)   | 3 krt                     | 9                  | Ennen kilpailukautta |
| Hoff ym.<br>(2002)      | Maksimi                   | Pull-downs — 3 x 6; Jokaisella harjoituskerralla +3 kg<br>Kontrolliryhmä jatkoi tavanomaista kestovoimaohjelmaansa (<85 % 1 RM)   | 45 min                    | 8                  | Ennen kilpailukautta |
| Østerås ym.<br>(2002)   | Maksimi                   | Pull-downs — 3 x 6; Jokaisella harjoituskerralla +3 kg<br>Kontrolliryhmä jatkoi tavanomaista kestovoimaohjelmaansa (<85 % 1 RM)   | 45 min                    | 9                  | -                    |
| Mikkola ym.<br>(2007)   | Räjähävä,<br>reaktiivinen | 1: Specific explosive - double poling sprints, sprinting/bounding with poles to the up-hill – 10–15 x 10–15 s / 2–3 min recovery<br>2: General explosive—half-squat, bench press, pull over, incline row, abdominal curl, back extension, leg press, lat ulldown, etc. 3 x 6–10 / 3 min recovery<br>3: Reactive—running sprints 3–6 x 30 m, alternative jumps and skating jumps 4–6 x 20, calf jumps 4–6 x 10–15 / 2–3 min recovery | 3 krt, 1 per<br>harjoitus | 8                  | -                    |
| Rønnestad ym.<br>(2012) | Maksimi                   | Deep squat: W1–6 (3–5 x 4–8), W7–12 (4–5 x 3–5)<br>Seated pull-down: W1–6 (3 x 6–10), W7–12 (3 x 5–8)<br>Standing double poling (3 x 10)  | 2 krt                     | 12                 | Ennen kilpailukautta |
| Losnegard ym.<br>(2011) | Maksimi                   | Half-squat, pull-down, seated pull-down, double poling, triceps press<br>W1–3 (3 x 6–10), W4 (3 x 5–8), W5–8 (4 x 8), W9–12 (3 x 4–6)   | 2 krt                     | 12                 | Ennen kilpailukautta |

Tarkemmat kuvaukset alkuperäistutkimuksista. Liikkeiden kuvaukset jätetty suomentamatta asiavirheiden välttämiseksi.

W week, RM repetition maximum; VH voimaharjoittelun tyyppi.



TAULUKKO 3. Hiihtäjillä tehtyjen voimaharjoitteluinterventioiden tulokset (Beattie ym. 2014).

| Tutkimus           | Testit  | Voima   | Taloudellisuus  | $v\dot{V}O_{2max}$                       | TT                                   | TTE   | Muu   |
|--------------------|---|---|---|--|--------------------------------------|---|---|
| Hoff ym. (1999)    | 1 RM DP pull-down, peak force and RFD at 80 and 60 % 1 RM, $\dot{V}O_{2max}$ (running), $\dot{V}O_{2peak}$ upper body 'poling', TTE upper, economy at max                 | ↑ 1 RM, TTPF at 80 % 1 RM ( $p < 0.05$ )                                | [UB DP (ml/kg <sup>0.67</sup> /m)] ↑ ( $p < 0.001$ )                                  | - (UB DP $\dot{V}O_{2max}$ )             | -                                    | ↑ TTE ( $p < 0.001$ )   |   |
| Hoff ym. (2002)    | 1 RM DP pull-down, peak force and RFD at 80 and 60 % 1 RM, $\dot{V}O_{2max}$ (running), $\dot{V}O_{2peak}$ upper body 'poling', TTE upper, economy at max                 | ↑ 1 RM (9,9 %), TTPF at 80 % (34 %) and 60 % (33 %) 1 RM ( $p < 0.05$ ) | [UB DP (ml/kg <sup>0.67</sup> /m)] ↑ LT 1.81 m/min ( $p < 0.05$ )                     | - (UB DP $\dot{V}O_{2max}$ )             | -                                    | ↑ TTE (56 %) at $\dot{V}O_{2peak}$ velocity ( $p < 0.05$ )    |   |
| Österås ym. (2002) | 1 RM 'ski pull-down'; F-V & P-V at various loads, $\dot{V}O_{2peak}$ , TTE  | ↑ power and velocities at each load (except lowest) ( $p < 0.01$ )      | [UB DP (ml/kg <sup>0.67</sup> /min)] ↑ DP at pre-test force ( $p < 0.01$ ; ES = 1.66) | - (UB DP $\dot{V}O_{2max}$ )             | -                                    | ↑ TTE at $\dot{V}O_{2max}$ velocity ( $p < 0.05$ ; ES = 1.18) |   |
| Mikkola ym. (2007) | Leg extensor ISO and concentric force-time, 30 m double poling with roller skis, velocity and economy 2 km UB double poling, $\dot{V}O_{2max}$ (walking with poles), MAST | ↑ leg extensor ISO and CON NS   | [UB DP (ml/kg/min)] ↑ during constant velocity 2 km (7 %) ( $p < 0.05$ )              | - (walking $\dot{V}O_{2max}$ with poles) | No change in 2 km UB poling velocity |   | Increased lean body mass, ↑ 30 m (1.4 %) double poling ( $p < 0.05$ ) |

TTPF time to peak force, CMJ counter-movement jump, SJ squat jump,  $\dot{V}O_{2max}$  maximal oxygen uptake, ↑ improved, ES effect size, TT time trial LT lactate threshold,  $v\dot{V}O_{2max}$  peak velocity at  $\dot{V}O_{2max}$ , RFD rate of force development, ISO isometric, TTE time to exhaustion, CON concentric, DP double-poling, F/P-V force/power-velocity assessment, MAST maximal anaerobic ski test, RM repetition maximum, UB upper body, NS no significant difference between strength group pre- and post-test, <sup>a</sup> significant difference between strength group pre-and post-test only

TAULUKKO 3 (jatkuu). Hiihtäjillä tehtyjen voimaharjoitteluinterventioiden tulokset (Beattie ym. 2014).

| Tutkimus             | Testit   | Voima  | Taloudellisuus   | $v\dot{V}O_{2max}$ | TT   | TTE | Muu   |
|----------------------|--|--|--|--------------------|--|-----|---|
| Rønnestad ym. (2012) | 1 RM squat, pull-down, SJ height, $VO_{2max}$ roller ski, economy, 7,5 km TT | ↑ 1 RM squat (12 %), pull-down (23 %), SJ (8,8 %) ( $p < 0.01$ )                   | [Roller ski (ml/kg/min)]<br>↑ at 5° (3.8 %) ( $p < 0.05$ ; ES = 0.77) <sup>a</sup> , no change at 4° | -                  | No change roller ski 7.5 km TT                                     |     | Increased vastus lateralis thickness ( $p < 0.05$ ), no change in body mass |
| Losnegard ym. (2011) | 1 RM half-squat and seated pull-down, CMJ, $\dot{V}O_{2max}$ roller ski      | ↑ 1 RM half-squat (12 %), seated pull-down (19 %) ( $p < 0,01$ ), no change in CMJ | [Roller ski (ml/kg/min)]<br>unchanged in both groups   | -                  | ↑ UB 1.1 km, TT (7 %) ( $p < 0.05$ ) but NS ski 1.3 km, TT (3.7 %) |     | No change in 20, 40, 80 and 100 m velocity, ↑ 5 min W/kg DP ( $p < 0.05$ )  |

TTPF time to peak force, CMJ counter-movement jump, SJ squat jump,  $VO_{2max}$  maximal oxygen uptake, ↑ improved, ES effect size, TT time trial LT lactate threshold,  $v\dot{V}O_{2max}$  peak velocity at  $V_{O2max}$ , RFD rate of force development, ISO isometric, TTE time to exhaustion, CON concentric, DP double-poling, F/P-V force/power-velocity assessment, MAST maximal anaerobic ski test, RM repetition maximum, UB upper body, NS no significant difference between strength group pre- and post-test, <sup>a</sup> significant difference between strength group pre-and post-test only

### 3.2 Vaikutus lyhytaikaiseen kestävyysuorituskykyyn

Lajinomaiseen kestävyysharjoitteluun yhdistetyn voimaharjoittelun on raportoitu parantavan lyhytaikaista (< 20 min) kestävyysuorituskykyä mitattuna uupumukseen saakka tehdyn testin ajan parantumisella hyvin harjoitelleilla kestävyysjuoksijoilla (Støren ym. 2008), kilpapyöräilijöillä (Sunde ym. 2010) sekä hyvin tai erittäin hyvin harjoitelleilla hiihtäjillä (Hoff ym. 1999; Hoff ym. 2002; Østerås ym. 2002; Mikkola ym. 2007). On kuitenkin huomattava, että näissä tutkimuksissa koehenkilöiden maksimaalinen hapenottoakyky oli selvästi alle 70 ml/kg/min, pois lukien Hoffin ym. (2002) mieshiihtäjillä tehty tutkimus, jossa keskiarvo oli voimaharjoitteluryhmällä 69,7 ml/kg/min ja kontrolliryhmällä 69,1 ml/kg/min. Ryhmätasolla ei siis voida puhua absoluuttisen huipputason urheilijoista.

Størenin ym. (2008) tutkimuksessa hyvin harjoitelleiden mies- ja naisjuoksijoiden ( $VO_{2max}$  ~56–61 ml/kg/min)  $VO_{2max}$ -vauhtia vastaavalla vauhdilla uupumukseen asti juoksumatolla juostu testiaika parantui 21 %. Tutkimuksen voimaharjoitteluohjelma kesti 8 viikkoa, jonka aikana tehtiin tavanomaisen kestävyysharjoittelun lisäksi kolmesti viikossa noin 4 toiston maksimia vastaavilla kuormilla voimaharjoitus. Hyvin harjoitelleilla ( $VO_{2max}$  ~68 ml/kg/min) kestävyysjuoksijoilla on vastaavasti havaittu 9 viikon nopeusvoimaharjoittelujakson tehneillä 5 kilometrin juoksuajan parannus 18,3 minuutista 17,8 minuuttiin, kun taas kontrolliryhmällä parannusta ei havaittu (Paavolainen ym. 1999).

Hiihtäjillä on tehty myös vastaavia tutkimuksia lupaavin tuloksin (taulukko 1; taulukko 2; taulukko 3). Esimerkiksi Losnegardin ym. (2011) tutkimuksessa huippuhihtäjät paransivat 1,1 kilometrin tasatyöntötestin aikaansa 7 % eron kontrolliryhmään ollen tilastollisesti merkitsevä. Tutkimuksessa hiihtäjät toteuttivat 12 viikon voimaharjoitusohjelmaa, jossa kuormat olivat alussa 6–10 toiston maksimia vastaavia ja kasvoivat loppua kohti 4–6 toiston maksimia vastaaviksi. Voimaharjoitus tehtiin kahdesti viikossa. (Losnegard ym. 2011.) Vastaavasti Hoffin ym. (2002) tutkimuksessa  $VO_{2max}$ -tehoa vastaavalla teholla tasatyöntöergometrillä uupumukseen asti tehdyssä testissä aika parantui 8 viikon yhdistetyn kestävyys- ja maksimivoimaharjoittelujakson tehneillä 6,49 minuutista 10,18 minuuttiin kontrolliryhmän parantaessa 7,45 minuutista 9,31 minuuttiin samalla ajanjaksolla. Samansuuntaisia tuloksia saivat myös Hoff ym. (1999) hyvin harjoitelleilla naishiihtäjillä 9 viikon harjoittelujaksolla.

### 3.3 Vaikutus pitkäaikaiseen kestävyysuorituskykyyn

Voimaharjoittelun vaikutusta pitkäaikaiseen kestävyysuorituskykyyn (> 20 min) on tutkittu paljon kuntoilijoilla tai harjoittelemattomilla voimaharjoittelun puolesta puhuvien tuloksien (esim. Bishop ym. 1999). Huipputasoisten urheilijoilla tätä ei ole tähän mennessä juuri tutkittu.

Rønnestad ja Mujika (2014) havaitsivat käydessään läpi pyöräilijöillä tehtyjä tutkimuksia, että pyöräilijöillä on saatu aikaan positiivisia tuloksia pitkäaikaisessa kestävyysuorituskyvyssä niillä voimaharjoitteluinterventioilla, joissa voimaharjoitteluohjelmaan on kuulunut useita jalakaliikkeitä maksimivoimaperiaatteella. He havaitsivat myös, että tutkimuksissa, joissa kehitystä pitkäaikaisessa kestävyysuorituskyvyssä ei ole pyöräilijöillä saatu aikaan, on käytetty tyypillisesti lyhyitä, alle 8 viikon voimaharjoittelujaksoja, voimaharjoittelua on ollut hyvin vähän tai siinä on keskitytty räjähtävään voimantuottoon. (Rønnestad & Mujika 2014.)

Aagaardin ym. (2011) tutkimuksessa maajoukkue-tason huippupyöräilijöillä 45 minuutin all-out-aika-ajon keskiteho kasvoi 8 % 16 viikon yhdistetyn kestävyys- ja maksimivoimaharjoittelujakson tehneillä pyöräilijöillä, kun taas kontrolliryhmällä parannusta ei havaittu. Tässä tutkimuksessa myös harjoittelun määrä oli kilpaurheilijalle tavanomainen (kestävyysuorittelua 10–18 tuntia viikossa). Pyöräilijät tekivät 16 viikon harjoitusjakson aikana joka toinen viikko 3 ja joka toinen viikko 2 voimaharjoitusta, joissa pääsääntöisesti kuormat olivat 5–6 toiston maksimia vastaavia. Vastaava kehitys havaittiin myös Rønnestadin ja Hansenin (2010) hyvin harjoitelleilla pyöräilijöillä tehdyssä tutkimuksessa 40 minuutin all-out-aika-ajoon kuluneessa ajassa, kun pyöräilijät toteuttivat kahdesti viikossa 12 viikon ajan voimaharjoitteluohjelmaa, jonka alkuvaiheessa kuormat olivat 10 toiston maksimia vastaavia ja loppua kohti lähestyttiin 4 toiston maksimia vastaavia kuormia.

Munekani ja Ellapen (2015) havaitsivat niin ikään kirjallisuuskatsauksessaan, että yli 10 kilometrin matkoilla kilpailevat kestävyysjuoksijat vaikuttaisivat hyötyvän enemmän maksimivoimaharjoittelusta kuin plyometrisestä harjoittelusta. Myös Rønnestad ja Mujika (2014) esittävät kirjallisuuskatsauksessaan, että kestävyysjuoksijat saattaisivat hyötyä enemmän maksimivoima- kuin nopeusvoimaharjoittelusta, vaikka positiivisia tuloksia on saatu kummallakin.

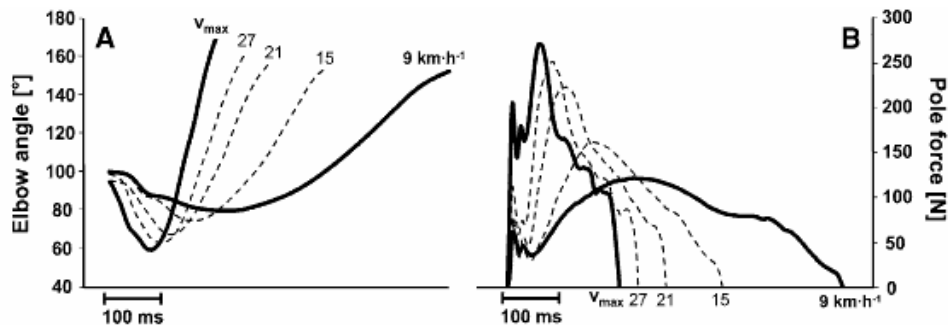
#### 4 YLÄVARTALON VOIMANTUOTTO-OMINAISUUKSIEN MERKITYS HIIHDOSSA

Sandbakk & Holmberg (2014) arvioivat, että nykyään hiihtäjät painottavat entistä enemmän harjoittelussaan ylävartalon voiman ja kestävyuden kehittämistä. Suuntaus onkin hyvin perusteltavissa, sillä hiihdon jatkuvasti kasvavat vauhdit (Sandbakk & Holmberg 2014) vaativat yhä tehokkaampaa sauvatyöskentelyä (Holmberg ym. 2005; Lindinger ym. 2009). Eteenpäin vievästä voimasta jo vanhanaikaisemminkin luistelutyyllillä yli puolet ylämäen V1-luistelutekniikassa (kuokka) ja suurin osa V2-luistelutekniikassa (wassberg) sekä perinteisellä tyyllillä tasatyönnössä käytännössä kaikki eteenpäin vievä voima on tuotettu ylävartalolla (Smith ym. 1989; Rusko 2003, 42–51).

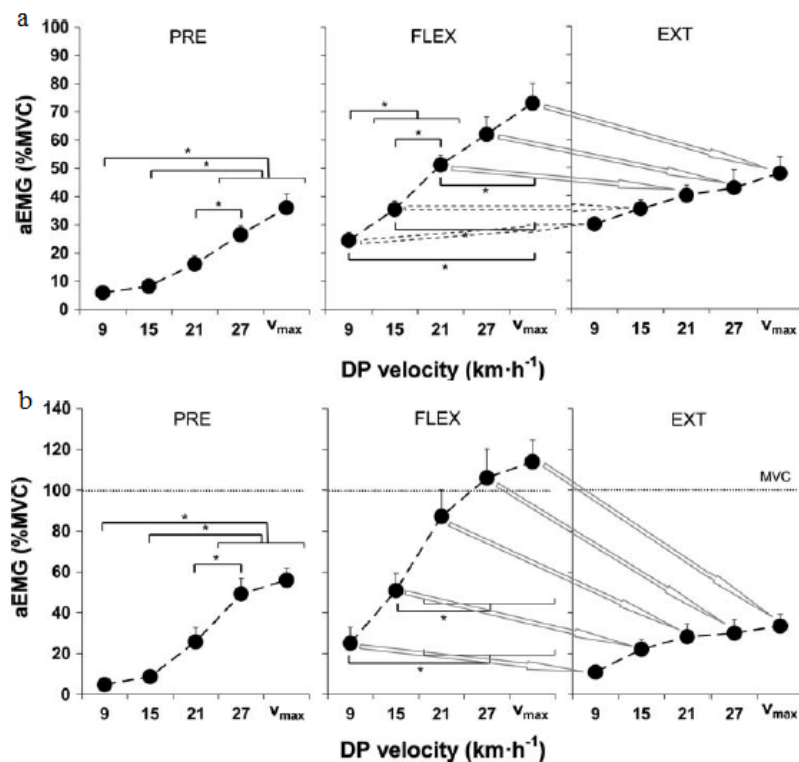
Tasatyönnön merkitys hiihdossa onkin korostunut. Esimerkiksi Mikkolan ym. (2010) tutkimuksessa 2 kilometrin tasatyöntötestiin kulunut aika ennusti parhaiten suorituskykyä V2-luistelutekniikalla (wassberg) hiihdetyssä sprinttisimulaatiossa. Vastaavan havainnon tekivät myös Alsobrook ja Heil (2009) sekä 10 sekunnin että 60 sekunnin tasatyönnön tehon ja 10 kilometrin perinteisen tyylin kilpailuun kuluneen ajan välillä. Havainto ei toki ole uusi, sillä jo 2000-luvun alussa tutkijat havaitsivat 1 kilometrin tasatyöntötestin ennustaneen parhaiten sekä hiihtäjän 10 kilometrin kilpailuaikaa että koko kilpailukauden rankingia (Mahood ym. 2001). Vasta viime vuosina on kuitenkin maailmancup-tasolla yleistynyt perinteisen hiihtotyylin kilpailuiden hiihtäminen pelkästään tasatyönnöllä.

Lindingerin ym. (2009) mukaan huippuhiihtäjät hyödyntävät venymis-lyhenemissykliä sauvatyönnössä tekniikoissa, joissa työntö on tasatyönnönomainen eli tapahtuu samanaikaisesti molemmilla käsillä. Erityisesti kyynärvarren ojentajalihasten kykyä varastoida ja vapauttaa elastista energiaa voidaan hyödyntää työnnön voimantuotossa (Lindinger ym. 2009). Tätä havainnollistaa hyvin kuvassa 4 esitetty kyynärkulman ja sauvavoiman muutos vauhdin kasvaessa. Hiihtäjä siis tehostaa ylävartalonsa painon hyödyntämistä voimantuotossa tuomalla sauvoja lähemmäs vartaloaan, mikä johtaa tehokkaampaan kyynärvarren ojentajalihasten venymis-lyhenemissykliin. Jotta korkean voimapiikin vastaanottaminen sauvojen iskeytyessä maahan on mahdollista, on työnnössä tarvittavien lihasten aktivoitettava etukäteen. Lindinger ym. (2009) havaitsivatkin, että mitä kovempi vauhti tasatyönnössä, sitä suurempi esiaktiivisuus työnnössä tarvittavissa lihaksissa, kuten kolmpäisessä ojentajalihaksessa (m. triceps brachii), isossa rin-

talihaksessa (*m. pectoralis major*), isossa liereälihaksessa (*m. teres major*) ja leveässä selkälihaksessa (*m. latissimus dorsi*), huippuhihtäjillä on. Vastaavasti lihasaktiivisuus lisääntyy myös työnnön aikana vauhdin kasvaessa (Lindinger ym. 2009). (Kuva 5.) Hiihtäjän onkin järkevää pyrkiä parantamaan venymis-lyhenemissyklin tehokkuutta työnnössään, sillä liike toistuu jokaisessa sykissä.



KUVA 4. Kyynärkulman ja sauvavoiman muutos vauhdin kasvaessa (Lindinger ym. 2009).



KUVA 5. Lihasaktiivisuus eri tasatyöntönopeuksilla *m. triceps brachii*ssa (a) ja *m. pectoralis major*issa (b). PRE esiaktiivisuus ennen sauvakontaktia, FLEX aktiivisuus fleksion aikana, EXT aktiivisuus ekstension aikana. (Lindinger ym. 2009.)

Yleisten voimatasojen yhteyttä hiihtosuorituskykyyn on tutkittu erittäin vähän. Niinimaan ym. (1978) ja Ng:n ym. (1988) tutkimukset olivat ensimmäisiä laatuaan, mutta niiden vuosien jälkeen hiihto on kokenut suuria muutoksia. Stöggl ym. (2011) on ainoa nykyaikaisesta hiihdosta näitä yhteyksiä selvittävä tutkimus. Penkkipunnerruksen ja penkkivedon tehontuoton submaksimaalisilla kuormilla havaittiin olevan yhteydessä maksiminopeuteen perinteisen hiihtotavan tekniikoissa. Penkkipunnerruksen yhden toiston maksimin taas havaittiin olevan enemmän yhteydessä maksiminopeuteen vapaan hiihtotavan V2-luistelutekniikalla (wassberg). Lisäksi penkkivedon maksimitehon ja yhden toiston maksimin havaittiin olevan yhteydessä tasatyön syklin pituuteen sekä submaksimaalisilla että maksimaalisilla nopeuksilla ja sauvavoimiin submaksimaalisilla nopeuksilla. Tutkijat arvioivat korkean yhden toiston maksimin näissä hiihdonomaisissa liikkeissä olevan edellytys sille, että hiihtäjä pysyy stabiloimaan nivelensä ja siirtämään korkean voimantuoton sauvojen kautta vauhdiksi. Vartalonkouristusliike ”brutal benchin” toistomäärä oli niin ikään yhteydessä tasatyön maksiminopeuteen ja syklin pituuteen (Stöggl ym. 2011.)

Vaikka ylävartalolla tuotettavat voimat eivät hiihdossa ole absoluuttisesti aivan maksimaalisia, on riittävä maksimivoimataso etenkin ylävartalossa tarpeellinen, jotta pystytään saavuttamaan riittävä pito voiman välittämiseksi. Voimantuoton nopeus submaksimaalisilla kuormilla näyttäisi kuitenkin olevan tärkeämpi hiihtosuorituskyvyn kannalta. Tutkijat painottavat kuitenkin, että hiihto on ennen kaikkea erittäin korkeaa teknistä taitavuutta vaativa kestävyyslaji, jossa voima ei ole itseisarvo, vaan pikemminkin yksi tapa nostattaa suorituskykyä, mikäli voimantuotto-ominaisuudet eivät ole riittävällä tasolla (Stöggl ym. 2011). Lisäksi hyvät ylävartalon voimantuotto-ominaisuudet mahdollistavat kovavauhtisen V2-luistelutekniikan (wassberg) runsaamman käytön ja oikean hiihtoasennon ylläpitämisen (Jonsson & Laaksonen 2015). Raakojen voimantuotto-ominaisuuksien kehittämistä on siis hyötyä, kun harjoitettavissa liikkeissä työskentelevät lihasryhmät ovat samoja kuin lajisuorituksessa, mutta kehityksen saaminen lajisuoritukseen vaatii myös tekniikan hallitsemista ja räjähtävien lajinomaisten suoritusten harjoittelua.

## 5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

**Ongelma 1:** Minkälaisia muutoksia hiihtosuorituskykytesteissä tapahtuu harjoittelukauden (toukokuu–lokakuu) aikana?

**Hypoteesi:** Hiihdon taloudellisuus submaksimaalisilla nopeuksilla sekä maksimaalinen anaerobinen suorituskyky kehittyvät. Maksimaalisessa hapenottokyvyssä ei tapahdu muutoksia.

**Perustelu:** Losnegard ym. (2013) havaitsivat V2-luistelutekniikan (wassberg) taloudellisuuden kehittyvän harjoittelukauden (kesäkuu–lokakuu) aikana. Myös wassberg-tekniikalla suoritettun 1000 metrin hiihtotestin loppuaika oli selvästi pienentynyt ja siinä saavutettu maksimaalinen happivaje suurentunut, mikä osoittaa anaerobisen suorituskyvyn kehittymisen. Maksimaalinen hapenkulutus sen sijaan ei muuttunut. (Losnegard ym. 2013.)

**Ongelma 2:** Minkälaisia muutoksia ylävartalon tehossa ja maksimivoimassa tapahtuu harjoittelukauden (toukokuu–lokakuu) aikana?

**Hypoteesi:** Ylävartalon maksimaalinen teho ja maksimivoima kasvavat harjoittelukauden aikana.

**Perustelu:** Hiihtäjien kestävyysharjoitteluun yhdistetty nopeus- ja maksimivoimaharjoittelu kehittää maksimaalista voimantuottonopeutta ja maksimivoimaa (Hoff ym. 1999, 2002; Østerås ym. 2002).

**Ongelma 3:** Ovatko muutokset ylävartalon anaerobisessa suorituskyvyssä, maksimitehossa ja maksimivoimassa yhteydessä hiihtosuorituskyvyssä tapahtuneisiin muutoksiin?

**Hypoteesi:** Ylävartalon maksimitehon kehittyminen on yhteydessä tasatyönnön maksiminopeuden ja lyhytaikaisen kestävyys suorituskyvyn kehittymiseen sekä V2-luistelutekniikan (wassberg) taloudellisuuden kehittymiseen submaksimaalisilla nopeuksilla. Ylävartalon maksimivoiman kehittyminen on yhteydessä anaerobisen suorituskyvyn kehittymiseen ja V2-luistelutekniikan taloudellisuuden kehittymiseen submaksimaalisilla nopeuksilla, mutta ei hiihdon maksiminopeuden kehittymiseen.



**Perustelu:** V2-luistelutekniikalla (wassberg) ylävartalon voimantuoton merkitys on suurempi kuin V1-luistelutekniikalla (kuokka) (Smith ym. 1989; Rusko 2003, 42–51), joten todennäköisemmin ylävartalon voimantuottokapasiteetin muutokset näkyvät siinä. Ylävartalon teho on yhteydessä hiihdon maksiminopeuteen sekä lyhytaikaiseen suorituskyykyyn (Mikkola ym. 2010). Ylävartalon maksimivoima on yhteydessä lyhytaikaiseen suorituskyykyyn, mutta ei maksiminopeuteen hiihdossa (Mikkola ym. 2010). Maksimi- ja nopeusvoimaominaisuudet ovat yhteydessä hiihdon taloudellisuuteen (Hoff ym. 1999; Østerås ym. 2002; Mikkola ym.2007).

## 6 MENETELMÄT

### 6.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistui 12 suomalaista tavoitteellisesti harjoittelevaa kansallisen tason mieshiihtäjää, jotka suorittivat kaikki mittaukset suunnitellusti. Iältään tutkittavat olivat 18–29-vuotiaita. (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Tutkittavien mieshiihtäjien taustatiedot.

|             | n  | Ikä (v)  | Pituus (m)  | Paino (kg) | VO <sub>2max</sub> (ml/kg/min) |
|-------------|----|----------|-------------|------------|--------------------------------|
| Tutkittavat | 12 | 22,7 ± 3 | 1,83 ± 0,05 | 74,8 ± 6,1 | 65,0 ± 4,8                     |

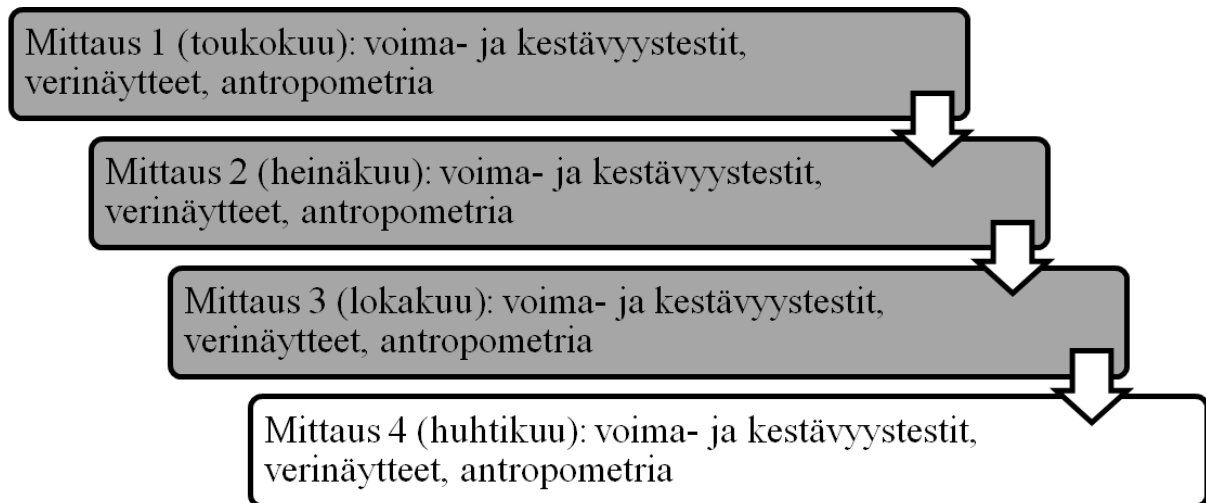
Ennen ensimmäistä mittauskertaa tutkittaville selvitettiin tutkimuksen kulku ja mahdolliset riskit. Heille kerrottiin myös heidän oikeudestaan keskeyttää tutkimukseen osallistuminen omalta osaltaan missä tahansa vaiheessa. Tutkittavat allekirjoittivat suostumuslomakkeen ennen ensimmäisiä mittauksia sekä täyttivät terveydentilakyselyn ennen kunkin mittauskerran aloittamista. Tutkimuksella on Jyväskylän yliopiston Eettiseltä toimikunnalta puoltava lausunto.

### 6.2 Koeasetelma

Tutkimus oli osa isompaa liikuntabiologian laitoksen projektia, jossa tutkittavien ominaisuuksia mitattiin kaikkiaan neljä kertaa yhden harjoitteluvuoden aikana (toukokuu 2015 – toukokuu 2016). Mittaukset suoritettiin harjoituskauden alussa (toukokuu), yleisharjoittelukaudella (heinäkuu), kilpailuun valmistavalla kaudella (lokakuu) sekä välittömästi kilpailukauden jälkeen (huhtikuu). Tässä tutkimuksessa keskityttiin näistä kolmeen ensimmäiseen. (Kuva 6.)

Kullakin mittauskerralla tutkittavat suorittivat voima- ja nopeusominaisuuksien sekä aerobisen ja anaerobisen lajinomaisen suorituskyvyn testejä. Voima- ja nopeusominaisuuksia määrittäviä testejä olivat 30 metrin maksimaalinen tasatyöntö rullasuksilla, kevennyshyppy, staattinen hyppy lisäpainolla, isometrinen maksimivoima jalkaprässissä, isometrinen maksimivoima ja dynaaminen teho hiihdon tasatyöntöä simuloivassa vetolaitteessa sekä penkkipunnerruksen yhden toiston maksimi. Tutkittavilta otettiin kunkin mittauspäivän aamuna laskimoverinäytteet

perusveren kuvan sekä testosteroni-, kortisoli- ja transferrinipitoisuuksien määrittämiseksi. Lisäksi heiltä mitattiin kehonkoostumus bioimpedanssiin perustuvalla InBody-laitteella sekä pituus ja paino. Tutkittavat mittasivat myös yösykeväli vaihteluaan kolmena yönä ennen kutakin testikertaa ja kahtena yönä sen jälkeen. Lisäksi he mittasivat yösykeväli vaihteluaan yhden korkeaintensiteettisen ja yhden matalaintensiteettisen harjoituksen jälkeisiltä kahdelta yöltä kunkin mittauskerran välisenä aikana. Mittauspäivän kulku on esitetty taulukossa 5.



KUVA 6. Koko projektin kulku. Tämän tutkimuksen osuus merkattu tummalla taustalla.

TAULUKKO 5. Mittauspäivän kulku. Tämän tutkimuksen osuus merkattu **tummennettuna**.

| Kello       | Toiminta  |
|-------------|---|
| 8:00        | <b>Kehonkoostumus, pituus, paino, verinäytteet</b>                      |
| 8:15        | Aamiainen   |
|             | <b>30 m tasatyöntö</b>  |
|             | Isometrinen maksimivoima jalkaprässissä                                 |
|             | Kevennyshyppy   |
|             | Staattinen hyppy lisäpainolla   |
|             | <b>Isometrinen maksimivoima tasatyöntöä simuloivassa vetolaitteessa</b> |
|             | <b>Dynaaminen maksimiteho tasatyöntöä simuloivassa vetolaitteessa</b>   |
|             | <b>Penkkipunnerruksen 1 toiston maksimi</b>                             |
| ~11:00      | Lounas  |
| 13:30/15:00 | <b>Suora VO<sub>2max</sub>-testi</b>                                    |
|             | <b>Anaerobinen tasatyöntötesti</b>                                      |

Mittausten välinen aika oli 10–12 viikkoa, jonka aikana tutkittavat noudattivat tavanomaista harjoitusohjelmaansa. Tutkittaville ohjeistettiin, että mittauspäivää edeltävinä kolmena päivänä ei saanut tehdä kovia teho- tai voimaharjoituksia, ja että mittauspäivää seuraava päivä sai sisältää korkeintaan matalatehoisen huoltavan harjoituksen. Mittauksiin heidät ohjeistettiin tulemaan jokaisella kerralla yön yli paastonneena aamulla kello 08:00. Aamiaisen he söivät aina noin kello 08:15 verinäytteiden ottamisen ja kehonkoostumuksen mittaamisen jälkeen.

### **6.3 Aineiston keräys ja analysointi**

#### **6.3.1 Antropometriset tiedot**

Tutkittavien pituus ja kehonkoostumus mitattiin mittauspäivän aamuna ensimmäiseksi Jyväskylän yliopiston Liikuntabiologian laitoksen liikuntalaboratoriossa Vivecassa. Tutkittavat olivat paastonneet yön yli mittauksiin tullessaan.

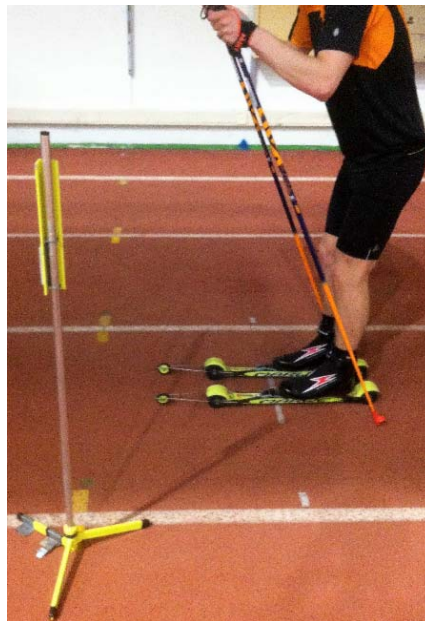
Pituus mitattiin mittanauhalla siten, että tutkittava seiso i vartalo seinää vasten painettuna. Kehonkoostumuksen mittaamisessa käytettiin biosähköiseen impedanssiin perustuvaa InBody720-laitetta (InBody Co., Ltd, Soul, Korean tasavalta). Laitteen mittausanturit sekä tutkittavien kämmenet ja jalkapohjat puhdistettiin huolellisesti ennen mittauksia. Tutkittavat seisoivat mittauksen aikana alusvaatteisillaan paikallaan jalka-anturien päällä ja pitivät kädensijoista kiinni. Kaikki metallia sisältävät vaatekappaleet tai korut tuli poistaa ennen mittauksia. Tutkittavien paino ja rasvaprosentti saatiin laitteen valmistajan Lookin' Body -analysointiohjelmasta.

#### **6.3.2 Voima- ja nopeustestit**

Ennen voima- ja nopeustestien aloittamista tutkittavat suorittivat viiden minuutin tasavauhtisen lämmittelyn tasatyöntämällä rullasuksilla Jyväskylän Hippos-hallissa 200 metrin rataa ympäri. Tämän jälkeen he suorittivat kahdesta kolmeen harjoitussuoritusta hieman maksimia pienemmällä teholla 30 metrin tasatyöntöä varten.

30 metrin tasatyöntö suoritettiin siten, että tutkittava hiihti tasatyöntämällä maksimaalisesti Hippos-hallin juoksuradalle 30 metrin etäisyydelle toisistaan asetettujen valokennojen läpi. Suoritus toistettiin vähintään kolmesti tai kunnes muutos edelliseen oli alle 5 % parempi. Tulokseksi kirjattiin parhaaseen suoritukseen kulunut aika. Suoritusten välillä oli kahden minuutin

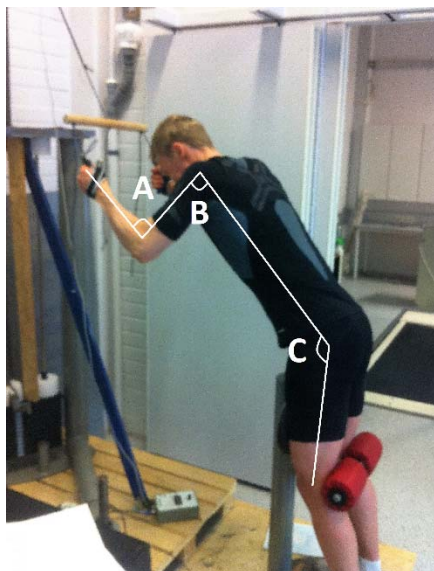
lepotauko, jonka aikana tutkittava siirtyi takaisin lähtöpaikalle. Lähtö tapahtui siten, että tutkittava asetti mononsa kärjet viivalle, joka oli yhden metrin mittauksen aloittaneen valokennon takana. Lähtöasennossa sauvojen tuli olla samalla tasolla siteiden takapuolella ja ensimmäisen työnnön tuli lähteä siten, että sauvat olivat maassa. Näin pystyttiin minimoimaan erilaisten lähtöstrategioiden vaikutus tulokseen, koska tarkoitus oli havaita lajinomaisissa voimantuotto-ominaisuuksissa tapahtuneita muutoksia mittauskertojen välillä. Lähtöasento on havainnollistettu kuvassa 7. Tutkittavat käyttivät testissä omia sauvojaan, mutta niiden tuli olla samat jokaisella testikerralla, sillä muun muassa sauvan pituuden on raportoitu vaikuttavan tuloksiin lyhyissä maksimaalisissa tasatyöntösuorituksissa (Nilsson ym. 2003; Hansen & Losnegard 2010). Luonnollisesti myös erot sauvojen jäykkyyksissä vaikuttavat niiden voimavälityskykyyn. Mikkola ym. (2010) käyttivät vastaavaa testiä tutkimuksessaan, mutta siinä tutkittavat hiihtivät 50 metriä, josta viimeisen 30 metrin aika mitattiin. Tässä tutkimuksessa haluttiin korostaa kiihdytyksen merkitystä, joten pilottimittausten perusteella päädyttiin asettamaan lähtöpaikka yhden metrin ennen mittauksen aloittanutta valokennoa. Testistä saatiin tulokseksi 30 metrin kokonaisaika (TT<sub>30</sub>), ensimmäiseen 10 metriin kulunut aika (TT<sub>10, kiihdytys</sub>) sekä viimeiseen 20 metriin kulunut aika (TT<sub>20, lentävä</sub>).



KUVA 7. 30 metrin tasatyöntötestin lähtö.

Tämän jälkeen suoritettiin isometrisen maksimivoiman testi jalkaprässissä, kevennyshyppy ja staattinen hyppy lisäpainolla. Näitä testejä ei käytetty tässä tutkimuksessa, mutta niistä raportoi Lauri Hassi omassa pro gradu -tutkielmassaan.

Tasatyöntövedot suoritettiin niitä varten rakennetulla laitteella (kuva 8). Isometrisessä tasatyöntövedossa (TT-veto<sub>isom</sub>) painopakan liikkuminen oli estetty. Tutkittavan tuli vetää tasatyöntönomaisesti vastusta vastaan maksimaalisesti pyrkien saavuttamaan maksimivoima mahdollisimman nopeasti, mutta kuitenkin niin kauan kuin mittaushenkilöstö jatkoi kannustusta (3–5 sekuntia). Näin pyrittiin varmistamaan maksimaalisen tuloksen saaminen. Vedon aikana alkuasentoa varten haetuissa vartalon kulmissa ei saanut tapahtua muutoksia, mitä yksi mittaaja tarkkaili suorituksen aikana silmämääräisesti. Tulokseksi kirjattiin suoritus, jossa saavutettiin korkein maksimivoima (TT-veto<sub>isom</sub>  $F_{max}$ ). Dynaamisessa tasatyöntövedossa (TT-veto<sub>dyn</sub>) painopakkaan asetettiin vastukseksi 50 % isometrisen suorituksen maksimivoimasta pyöristäen lähimpään 2,5 kg:aan. Tämä todettiin pilottimittauksissa parhaaksi toteutustavaksi. Tutkittavan tuli suorittaa yksi tasatyöntöliike maksimaalisella nopeudella painopakkaa vastaan. Tulokseksi kirjattiin parhaan maksimithehon tuottaneesta suorituksesta maksimiteho (TT-veto<sub>dyn</sub>  $P_{max}$ ) ja keskiteho (TT-veto<sub>dyn</sub>  $P_{avg}$ ). Molemmissa liikkeissä oli sama alkuasento, jossa tutkittavan kyynärkulman (kuva 8, A) tuli olla 90°, olkanivelen kulman (kuva 8, B) 75–80° ja lantiokulman (kuva 8, C) 155–165°. Nämä kulmarajat todettiin pilottimittauksissa soveltuviksi sekä lyhyille, keskipitkille että pitkille tutkittaville. Tutkittavan tuli levätä sauvaremmien varassa siten, että kevennys oli maksimissaan 5 kg. Kummassakin liikkeessä suoritus toistettiin vähintään kolmesti tai kunnes muutos edelliseen oli alle 5 % parempi. Virheelliset suoritukset hylättiin. Suoritusten välillä oli yhden minuutin lepotauko.



KUVA 8. Tasatyöntövedossa käytetty laite ja alkuasento.

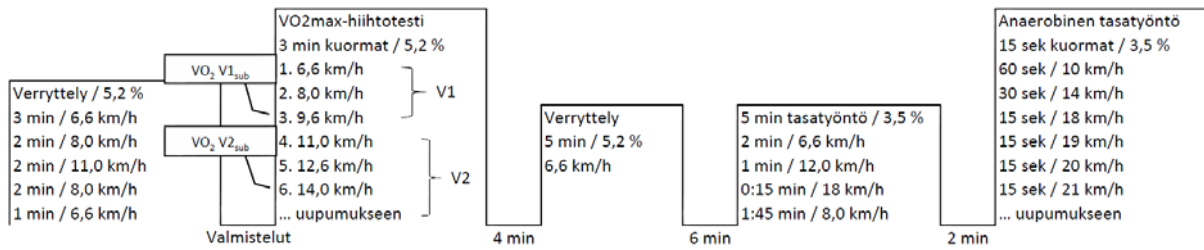
Penkkipunnerruksen yhden toiston maksimi suoritettiin levytangolla ja lisäpainoilla siten, että jalat oli nostettu penkille (kuva 9). Oteleveys (etusormien väli) oli 70 cm. Samaa oteleveyttä käyttivät myös Stöggl ym. (2011). Tanko tuli laskea hallitusti alas siten, että se kosketti rintalastaa, minkä jälkeen se tuli työntää maksimaalisesti ylös. Jalkapohjat ja lantio tuli pitää suorituksen aikana penkissä kiinni. Lämmittely suoritettiin siten, että ensin tutkittava teki kuudesta kahdeksaan toistoa 50 %:n kuormalla arvioidusta yhden toiston maksimistaan, ja sitten minuutin lepotauon jälkeen kolme toistoa 75 %:n kuormalla arvioidusta yhden toiston maksimistaan. Lämmittelyä seurasi kolmen minuutin lepotauko, jonka jälkeen suoritettiin kolmesta neljään yritystä yhden toiston maksimin löytämiseksi kolmen minuutin palautuksilla. Kunkin yrityksen jälkeen kuormaa kasvatettiin 2,5–5 kg, kunnes tutkittava ei pystynyt enää nostamaan kuormaa ylös. Vastaavaa protokollaa käyttivät myös Stöggl ym. (2011). Tuloksiksi saatiin nostetun absoluuttisen tuloksen (PP 1RM<sub>abs</sub>) lisäksi kehon massaan suhteutettu tulos (PP 1RM<sub>suht</sub>).



KUVA 9. Penkkipunnerruksen asento.

### 6.3.3 Hiihtotestit

Lajinomaisen suorituskyvyn testeinä käytettiin maksimaalisen hapenoton testiä luisteluteknikalla (hiihtotesti) sekä anaerobista tasatyöntötestiä (anaTT). Molemmat testit suoritettiin rulla-hiihtomatolla (RL 3500, Rodby Innovation AB, Södertälje, Ruotsi) hiihtäen käyttäen jokaisella testikerralla samoja rullasuksia (Marwe Skating 610, US0, Marwe Oy, Hyvinkää, Suomi). Sauvojen (One Way Diamond Storm Premio, One Way Sport Oy, Vantaa, Suomi) pituuden tutkitavat saivat valita itse valikoimasta 2,5 cm välein kumpaankin testiin erikseen. Testiprotokolla on esitelty kuvassa 10.



KUVA 10. Hiihtotestien protokolla.

Maksimaalisen hapenoton testi suoritettiin 5,2 %:n ( $3^\circ$ ) ylämäkeen kolmen minuutin kuormina vuoroin 1,4 km/h ja 1,6 km/h nopeuden nostoilla. Ensimmäisen kuorman nopeudeksi valittiin pilottitesteistä saatujen kokemusten perusteella 6,6 km/h, millä varmistettiin, että jokainen tutkittava pystyy hiihtämään useamman kuorman ennen aerobista kynnystään. Ensimmäiset kolme kuormaa (6,6 km/h, 8,0 km/h, 9,6 km/h) tutkittavat hiihtivät V1-luistelutekniikalla (kuokka) ja loput (11,0 km/h alkaen) V2-luistelutekniikalla (wassberg). Kuormien välissä matto pysäytettiin noin 20 sekunnin ajaksi verinäytteen ottamiseksi sormenpäältä veren laktaattikonentraation määrittämistä varten siihen tarkoitettulla laitteella (Biosen C-line, EKF Diagnostics, Magdeburg, Saksa). Testi päättyi, kun tutkittava ei pystynyt enää ylläpitämään maton nopeutta.

Hapenkulutus määritettiin jatkuvalla hengitys hengitykseltä mittauksella, jossa käytettiin kannettavaa kaasuanalysaattoria (Oxycon Mobile, Jaeger, Hoechberg, Saksa). Ennen kutakin testiä kalibroitiin ilmavirtausmittari automaattisella tietokoneohjatulla virtauskalibrointiohjelmalla ja kaasuanalysaattori vakioidulla kaasuseoksella (16 % O<sub>2</sub>, 5 % CO<sub>2</sub>). Korkein testissä saavutettu hapenkulutus (VO<sub>2peak</sub>) määritettiin korkeimpana yhtäjaksoisen 60 sekunnin jakson keskiarvona. Submaksimaalisten kuormien hapenkulutus taloudellisuuden arvioimiseksi määritettiin V1-luistelutekniikalle (kuokka) (VO<sub>2</sub> V1<sub>sub</sub>) 9,6 km/h nopeuden kuorman ja V2-luistelutekniikalle (wassberg) (VO<sub>2</sub> V2<sub>sub</sub>) 14,0 km/h kuorman korkeimpana yhtäjaksoisen 60 sekunnin jakson keskiarvona.

Anaerobinen tasatyöntötesti suoritettiin yhtäjaksoisena kuormituksena 3,5 %:n ( $2^\circ$ ) ylämäkeen. Ensimmäisen kuorman nopeus oli 18,0 km/h ja matto kiihtyi 15 sekunnin välein 1,0 km/h. Testi päättyi, kun tutkittava ei enää pystynyt ylläpitämään maton nopeutta. Maksimaaliseksi anaerobiseksi nopeudeksi (anaTT V<sub>max</sub>) määritettiin nopeus viimeiseltä kuormalta, jota tutkittava pystyi hiihtämään vähintään 10 sekuntia. Vastaavaa protokollaa käyttivät Stöggel ym. (2011), mutta



10 sekunnin kuormilla ja yhden asteen kulmalla. Käytetty protokolla todettiin kuitenkin pilot-titesteissä paremmin soveltuvaksi tähän tutkimukseen, jotta testin kesto asettuisi lähelle sprinttikilpailuiden kestoja (2–3 min).

#### **6.3.4 Tilastolliset analysointimenetelmät**

Tulosten tilastolliseen analysointiin käytettiin IBM SPSS Statistics 23.0 -ohjelmaa (IBM Corp., Armonk, NY, Yhdysvallat). Analysoitaville muuttujille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat ja niiden normaalijakautuneisuus tarkistettiin. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin  $p < 0,05$  ja tilastollisesti suuntaa-antavan tuloksen rajaksi  $p < 0,10$ .

Mitatuissa muuttujissa harjoituskauden aikana tapahtuneita muutoksia tarkasteltiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä. Käytännössä tähän käytettiin SPSS:n General Linear Model -analyysin ”repeated measures” -toimintoa. Mikäli Mauchly’n sfäärisyys ei toteutunut, tulokset tulkittiin Greenhouse-Geisserin korjauksella. Eri mittauskertojen väliset parivertailut kullekin muuttujalle tehtiin Bonferroni-korjausta käyttäen. Koska lokakuun mittausen pitkän hiihtotestin submaksimaalisten V1- (kuokka) ja V2-luistelutekniikoiden (wassberg) kuormien hapenkulutukset noudattivat likimain normaalijakaumaa ja kaikki muut muuttujat olivat normaalisti jakautuneita kaikilla mittauskeroilla, tulokset analysoitiin parametrisilla testeillä.

Kaikille muuttujille laskettiin lisäksi lokakuun ja toukokuun arvon välinen erotus omaksi muuttujakseen. Koska kaikki näin saadut muutosmuuttujat noudattivat normaalijakaumaa, tarkasteltiin niiden välisiä korrelaatioita riippuvien otosten kaksisuuntaisella t-testillä.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Muutokset harjoittelukauden aikana

Pitkässä hiihtotestissä muutos välillä toukokuusta heinäkuuhun ( $p=0,066$ ) ja kokonaismuutos välillä toukokuusta lokakuuhun ( $p=0,064$ ) olivat tilastollisesti suuntaa-antavia. Varianssianalyysin perusteella vaihtelu harjoituskauden aikana oli tilastollisesti merkitsevää ( $p=0,012$ ). Anaerobisen tasatyöntötestin muutos oli kaikilla analysoiduilla väleillä tilastollisesti merkitsevä (toukokuu–heinäkuu  $p=0,031$ , heinäkuu–lokakuu  $p=0,000$ , toukokuu–lokakuu  $p=0,000$ ). Varianssianalyysin perusteella vaihtelu harjoituskauden aikana oli niin ikään tilastollisesti merkitsevää ( $p=0,000$ ). Testistä laskettu maksimaalisen anaerobisen nopeuden muutos oli tilastollisesti merkitsevä väleillä heinäkuusta lokakuuhun ( $p=0,000$ ) sekä toukokuusta lokakuuhun ( $p=0,001$ ). Muissa muuttujissa ei havaittu tilastollista merkitsevyyttä. (Taulukko 6.)

Pitkässä VO<sub>2</sub>max-hiihtotestissä tutkittavien loppuaika kasvoi harjoituskauden aikana keskimäärin  $96 \pm 121$  s ( $6,0 \pm 8,3$  %) ja lyhyessä anaerobisessa tasatyöntötestissä  $22,5 \pm 13,7$  s ( $22,0 \pm 15,2$  %) (kuva 11). Laskennallinen maksimaalinen anaerobinen nopeus kasvoi keskimäärin  $1,4 \pm 1,0$  km/h. Pitkässä hiihtotestissä yhdeksällä tutkittavalla tapahtui kehitystä, kun taas kolmella tulos heikkeni ensimmäisestä mittauskerrasta. Anaerobisessa tasatyöntötestissä kaikkien kahdentoista tutkittavan tuloksessa tapahtui kehitystä harjoituskauden aikana. Kaikkien näiden muuttujien varianssi oli tilastollisesti merkitsevä siten, että voidaan sanoa yleisen trendin olleen kohti parempaa tulosta (taulukko 6).

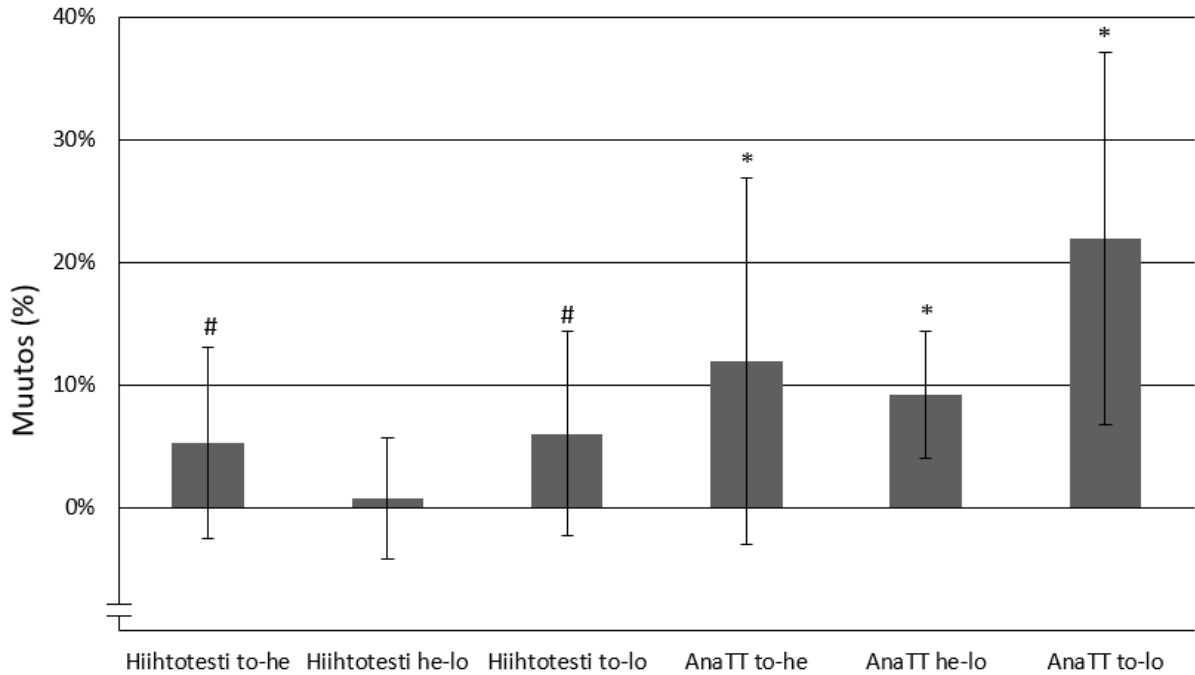
Hapenkulutus V1-luistelutekniikalla (kuokka)  $9,6$  km/h nopeudella muuttui harjoituskauden aikana keskimäärin  $-0,5 \pm 1,1$  ml/kg/min ( $-1,4 \pm 3,1$  %) ja V2-luistelutekniikalla (wassberg)  $14,0$  km/h nopeudella  $-0,8 \pm 1,4$  ml/kg/min ( $-1,4 \pm 2,6$  %). Mitattu huippuhapenkulutus muuttui keskimäärin  $0,4 \pm 4,1$  ml/kg/min ( $0,9 \pm 6,6$  %). Muutokset tai varianssit eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä (taulukko 6). (Kuva 12.)

Penkkipunnerruksen absoluuttinen tulos muuttui harjoituskauden aikana keskimäärin  $3,5 \pm 4,6$  kg ( $4,3 \pm 5,4$  %) ja suhteellinen tulos  $3,7 \pm 5,7$  prosenttiyksikköä ( $2,6 \pm 3,2$  %) (kuva 13). Yhdellä tutkittavalla muutos oli negatiivinen, kun taas muilla yhdeksällä tulos kehittyi harjoituskauden aikana. Muuttujien varianssit ajan suhteen olivat tilastollisesti merkitseviä ( $p=0,035$

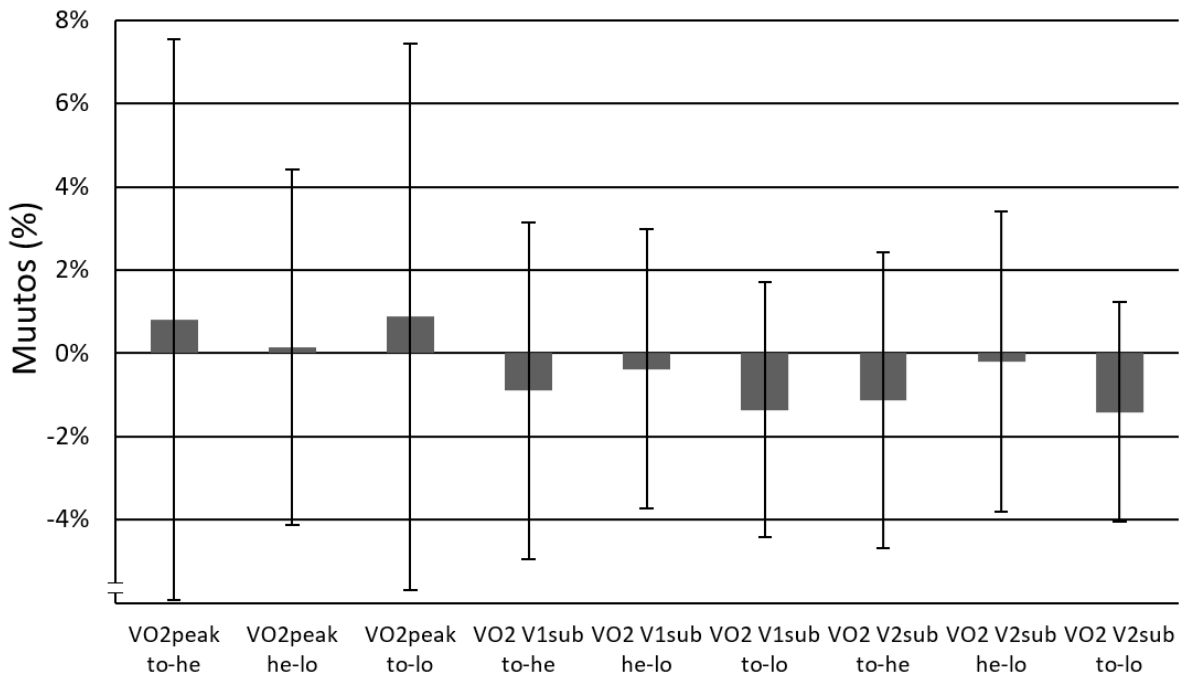
ja  $p=0,039$ ) ja absoluuttisen tuloksen muutos toukokuusta heinäkuuhun tilastollisesti suuntaantava ( $p=0,096$ ).

TAULUKKO 6. Mitattujen muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat toukokuussa (To), heinäkuussa (He) ja lokakuussa (Lo) sekä varianssin (ajan suhteen) ja muutosten tilastolliset merkitsevyydet näiden välillä. Var varianssin merkitsevyys, \* tilastollisesti merkitsevä ( $p<0,05$ ), # tilastollisesti suuntaantava ( $p<0,10$ ).

|   | n  | To            | He            | Lo            | Var           | To-He         | He-Lo         | To-Lo         |
|---|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Hiihtotesti (min)                             | 12 | 29:10 ± 03:15 | 30:33 ± 02:37 | 30:45 ± 02:38 | <b>0,012*</b> | <b>0,066#</b> | 1,000         | <b>0,064#</b> |
| VO <sub>2peak</sub> (ml/kg/min)               | 12 | 64,7 ± 5,6    | 65,0 ± 4,8    | 65,0 ± 4,9    | 0,925         | 1,000         | 1,000         | 1,000         |
| VO <sub>2</sub> V <sub>1sub</sub> (ml/kg/min) | 12 | 37,9 ± 1,9    | 37,5 ± 2,5    | 37,4 ± 2,2    | 0,414         | 1,000         | 1,000         | 0,418         |
| VO <sub>2</sub> V <sub>2sub</sub> (ml/kg/min) | 12 | 51,8 ± 2,7    | 51,2 ± 2,9    | 51,0 ± 2,2    | 0,321         | 0,893         | 1,000         | 0,259         |
| AnaTT (min)                                   | 12 | 01:47 ± 00:17 | 01:59 ± 00:21 | 02:09 ± 00:20 | <b>0,000*</b> | <b>0,031*</b> | <b>0,000*</b> | <b>0,000*</b> |
| AnaTT V <sub>max</sub> (km/h)                 | 12 | 24,1 ± 1,1    | 24,8 ± 1,5    | 25,5 ± 1,3    | <b>0,001*</b> | 0,163         | <b>0,000*</b> | <b>0,001*</b> |
| TT <sub>30</sub> (s)                          | 11 | 5,56 ± 0,13   | 5,54 ± 0,19   | 5,51 ± 0,17   | 0,229         | 1,000         | 0,890         | 0,392         |
| TT <sub>10</sub> , kiihdytys (s)              | 11 | 2,43 ± 0,10   | 2,43 ± 0,11   | 2,42 ± 0,11   | 0,584         | 1,000         | 1,000         | 1,000         |
| TT <sub>20</sub> , lentävä (s)                | 11 | 3,13 ± 0,06   | 3,11 ± 0,10   | 3,09 ± 0,11   | 0,123         | 0,980         | 0,792         | 0,368         |
| TT-veto <sub>isom</sub> F <sub>max</sub> (N)  | 12 | 730 ± 189     | 752 ± 152     | 775 ± 146     | 0,301         | 1,000         | 0,732         | 0,603         |
| TT-veto <sub>dyn</sub> P <sub>avg</sub> (W)   | 12 | 640 ± 143     | 641 ± 108     | 649 ± 112     | 0,784         | 1,000         | 1,000         | 1,000         |
| TT-veto <sub>dyn</sub> P <sub>max</sub> (W)   | 12 | 1278 ± 270    | 1277 ± 270    | 1255 ± 252    | 0,903         | 1,000         | 1,000         | 1,000         |
| PP 1RM <sub>abs</sub> (kg)                    | 10 | 85,3 ± 10,8   | 87,8 ± 10,1   | 88,8 ± 10,4   | <b>0,035*</b> | <b>0,096#</b> | 0,504         | 0,118         |
| PP 1RM <sub>suht</sub> (%)                    | 10 | 116,0 ± 9,6   | 118,9 ± 8,1   | 119,7 ± 8,4   | <b>0,039*</b> | 0,132         | 1,000         | 0,214         |

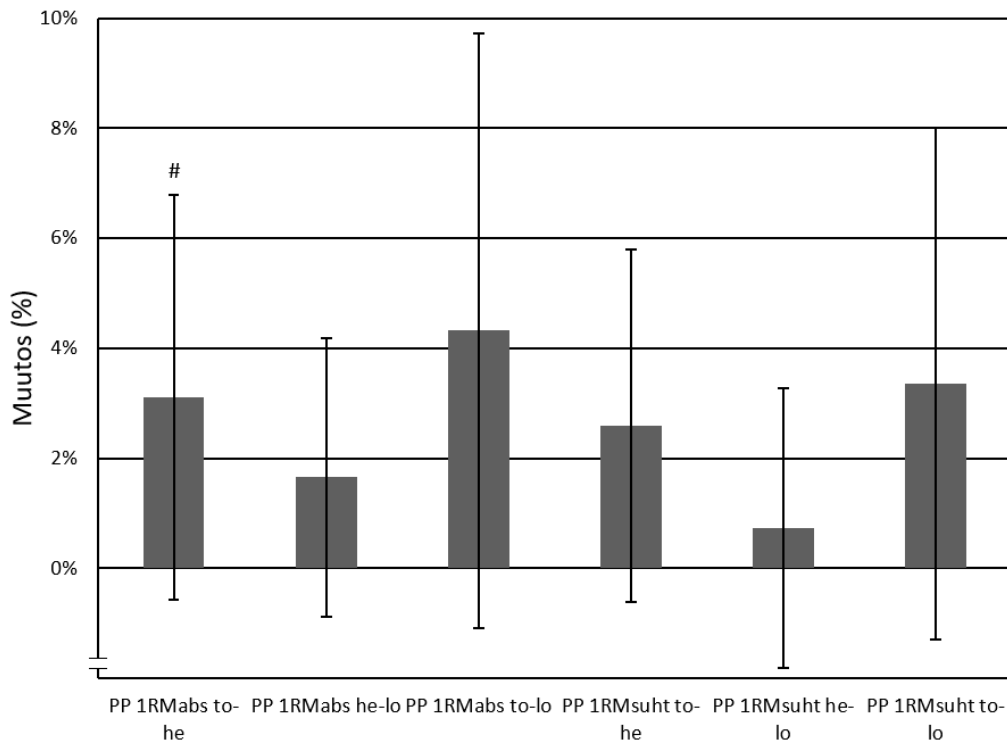


KUVA 11. Hiihtotestien tuloksien suhteelliset muutokset toukokuusta-heinäkuuhun (to-he), heinäkuusta lokakuuhun (he-lo) sekä toukokuusta lokakuuhun (to-lo). \* Tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ), # tilastollisesti suuntaa-antava ( $p < 0,10$ ).



KUVA 12. Hapenkulutuksen suhteelliset muutokset V1-luistelutekniikalla (kuokka) (VO<sub>2</sub> V<sub>1sub</sub>) ja V2-luistelutekniikalla (wassberg) (VO<sub>2</sub> V<sub>2sub</sub>) submaksimaalisilla nopeuksilla (9,6

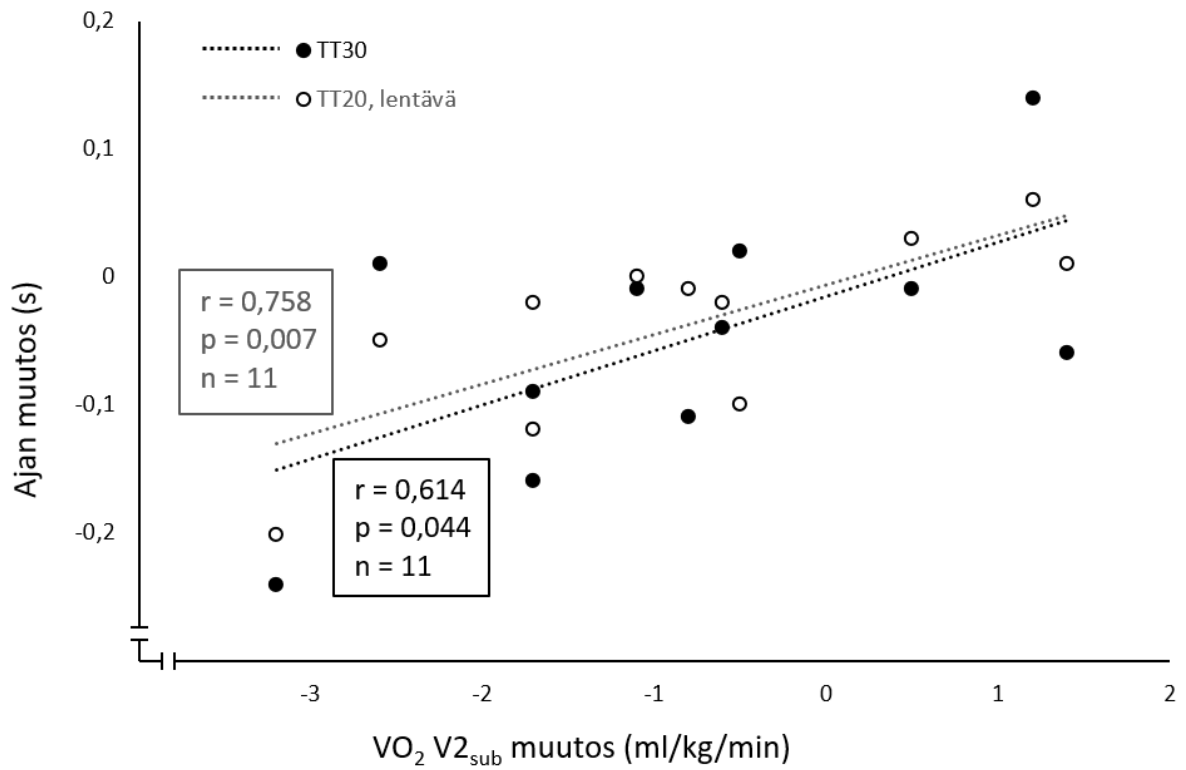
km/h ja 14,0 km/h) toukokuusta-heinäkuuhun (to-he), heinäkuusta lokakuuhun (he-lo) sekä toukokuusta lokakuuhun (to-lo).



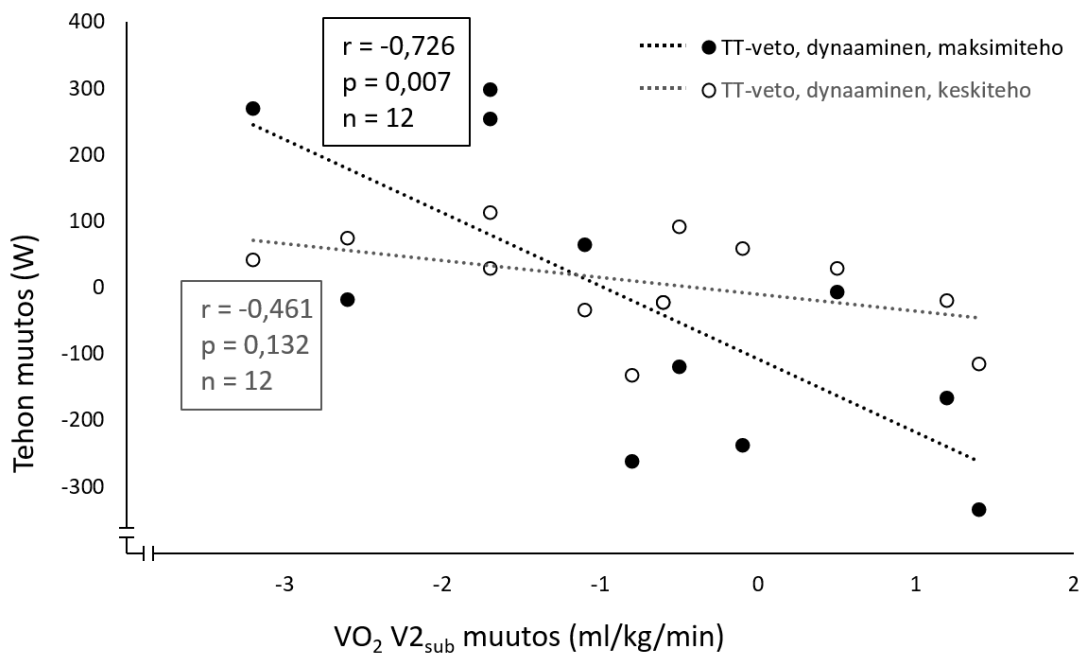
KUVA 13. Penkkipunnerruksen absoluuttisten (PP 1RM<sub>abs</sub>) ja kehon massaan suhteutettujen (PP 1RM<sub>suht</sub>) tulosten suhteelliset muutokset toukokuusta heinäkuuhun (to-he), heinäkuusta lokakuuhun (he-lo) sekä toukokuusta lokakuuhun (to-lo). \* Tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ), # tilastollisesti suuntaa-antava ( $p < 0,10$ ).

## 7.2 Muutosten väliset korrelaatiot

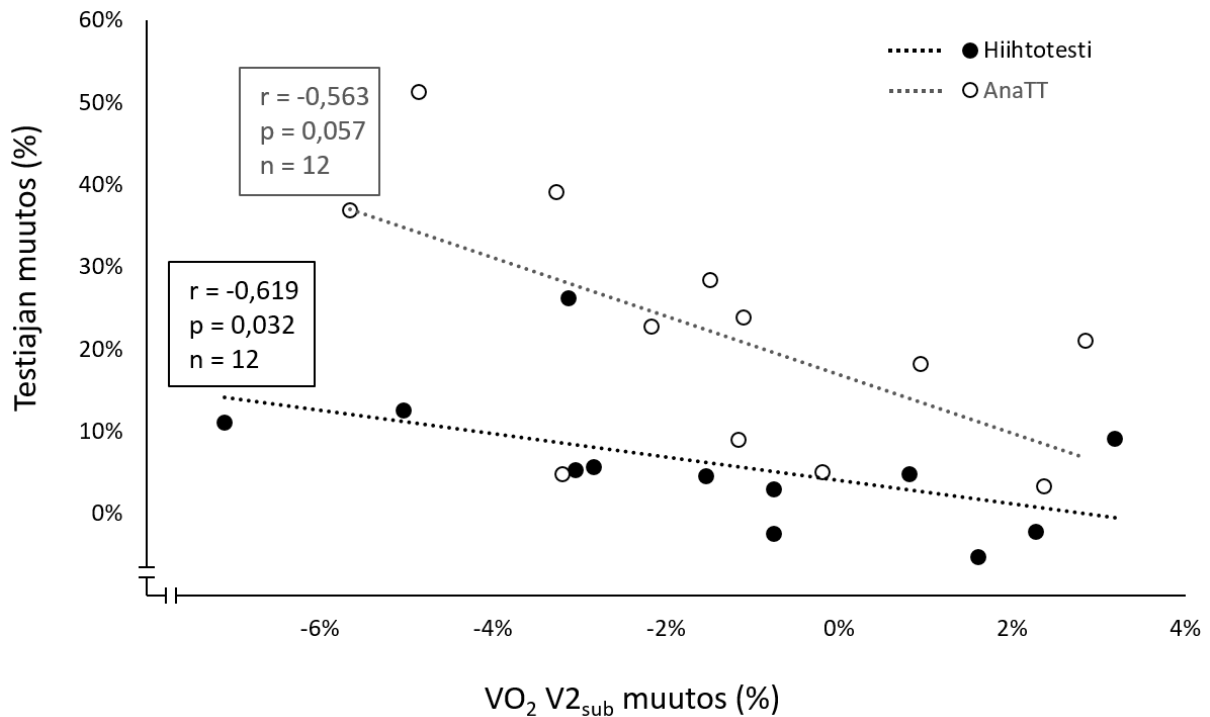
V2-luistelutekniikan (wassberg) taloudellisuuden kehittymisen ja lentävän lähdön 20 metrin tasatyönön ( $r=0,758$ ;  $p=0,007$ ) (kuva 14) sekä dynaamisen tasatyöntövedon maksimitohon ( $r=-0,726$ ;  $p=0,007$ ) (kuva 15) kehittymisten välillä havaittiin vahvat korrelaatiot, jotka olivat myös tilastollisesti merkitseviä. Lisäksi sen ja 30 metrin tasatyönön kokonaisajan ( $r=0,614$ ;  $p=0,044$ ) (kuva 14) sekä pitkän hiihtotestin ( $r=-0,619$ ;  $p=0,032$ ) (kuva 16) kehittymisten välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä kohtalainen korrelaatio. Anaerobisen tasatyöntötestin kehittymisen ja V2-luistelutekniikan taloudellisuuden kehittymisen välillä havaittiin kohtalainen tilastollisesti suuntaa-antava korrelaatio ( $r=-0,563$ ;  $p=0,057$ ) (kuva 16). Sen sijaan dynaamisen tasatyöntövedon keskitehon kehittyminen ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi V2-luistelutekniikan taloudellisuuden kehittymisen kanssa ( $r=-0,461$ ;  $p=0,132$ ) (kuva 15).



KUVA 14. 30 metrin tasatyönnön kokonaisajan (TT30) ja jälkimmäisen 20 metrin ajan (TT20, lentävä) muutokset V2-luistelutekniikan (wassberg) taloudellisuuden ( $VO_2 V_{2sub}$ ) muutoksen suhteen.



KUVA 15. Dynaamisen tasatyöntövedon keski- ja maksimitehojen muutokset V2-luistelutekniikan (wassberg) taloudellisuuden ( $VO_2 V_{2sub}$ ) muutoksen suhteen.

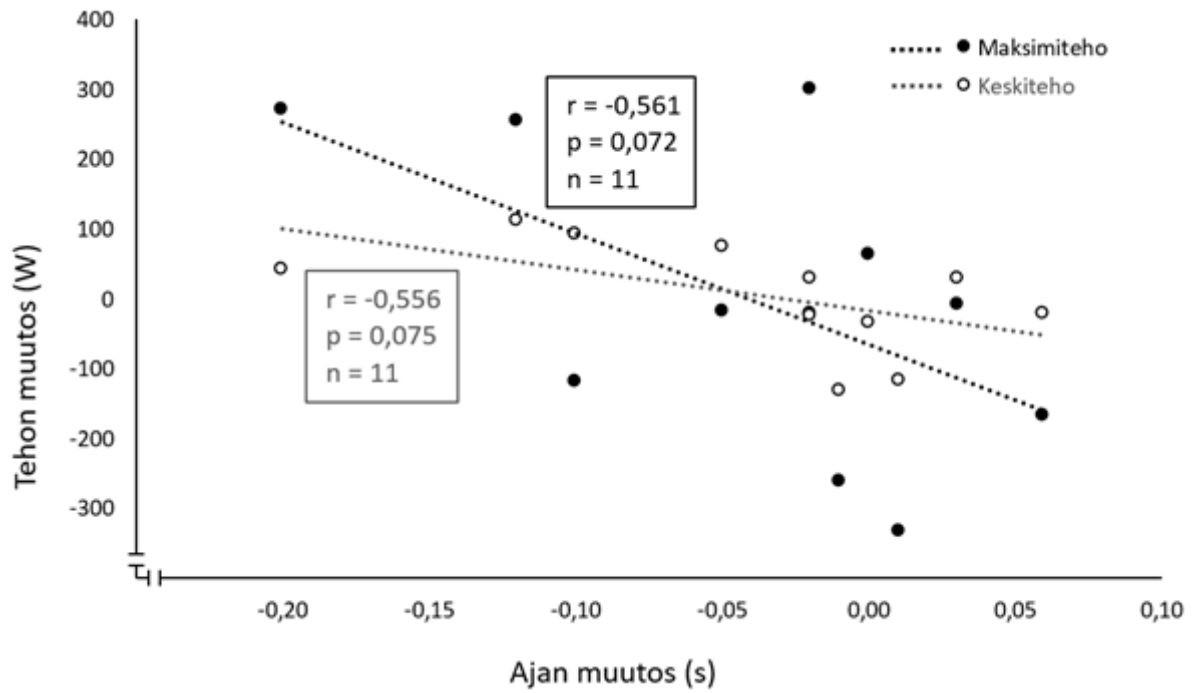


KUVA 16. Anaerobisen tasatyöntötestin (AnaTT) ja pitkän hiihtotestin suhteelliset muutokset V<sub>2</sub>-luistelutekniikan (wassberg) taloudellisuuden muutoksen (VO<sub>2</sub> V<sub>2sub</sub>) suhteen.

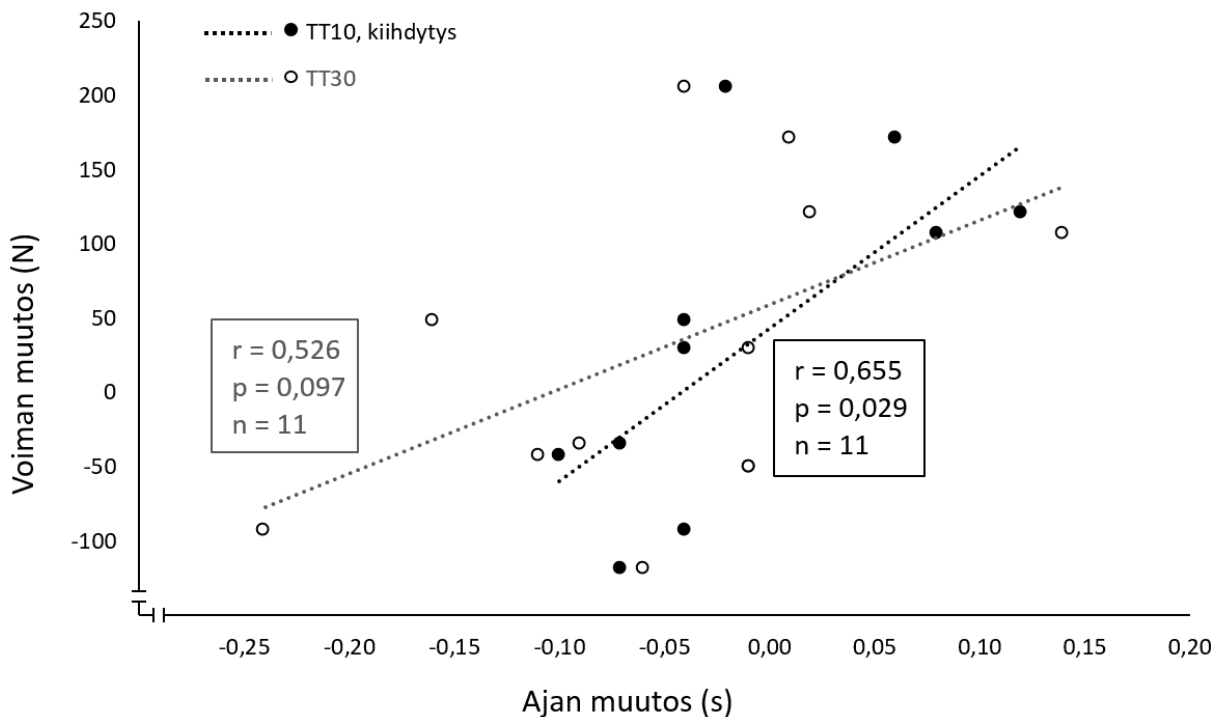
30 metrin tasatyöntön kokonaisajan kehittyminen korreloi vahvasti saman testin viimeisten 20 metrin ajan kehittymisen ( $r=0,726$ ;  $p=0,011$ ) ja kohtalaisesti ensimmäisen 10 metrin ajan kehittymisen ( $r=0,667$ ;  $p=0,025$ ) kanssa (taulukko 7). Jälkimmäisen 20 metrin ajan kehittyminen korreloi tilastollisesti suuntaa-antavasti dynaamisen tasatyöntövedon keskitehon ( $r=-0,556$ ;  $p=0,075$ ) ja maksimitehon ( $r=-0,561$ ;  $p=0,072$ ) kehittymisen kanssa (kuva 17). Sen sijaan isometrisen tasatyöntövedon maksimivoiman kehittyminen korreloi tilastollisesti merkitsevästi 30 metrin tasatyöntön ensimmäisen 10 metrin ajan heikkenemisen ( $r=0,655$ ;  $p=0,029$ ) sekä tilastollisesti suuntaa-antavasti 30 metrin kokonaisajan heikkenemisen kanssa ( $r=0,526$ ;  $p=0,097$ ) (kuva 18).

Muiden muuttujien muutosten välillä ei havaittu korrelaatiota. Kaikkien voima-nopeus- ja hiihtosuorituskykymuuttujien muutosten väliset korrelaatiot on esitetty taulukossa 7.

Anaerobisen tasatyöntötestin ajan kehittyminen korreloi vahvasti pitkän hiihtotestin ajan kehittymisen kanssa ( $r=0,716$ ;  $p=0,009$ ) (kuva 19). Sekä V<sub>1</sub>- että V<sub>2</sub>-luistelutekniikan taloudellisuuden kehittymisen ja pitkän hiihtotestin kehittymisen välillä havaittiin tilastollisesti suuntaa-antavat kohtalaiset korrelaatiot (V<sub>1</sub>:  $r=-0,524$ ,  $p=0,080$ ; V<sub>2</sub>:  $r=-0,554$ ,  $p=0,062$ ).



KUVA 17. Dynaamisen tasatyöntövedon maksimi- ja keskitehon muutos 30 metrin tasatyöntön jälkimmäisen 20 metrin ajan muutoksen suhteen.

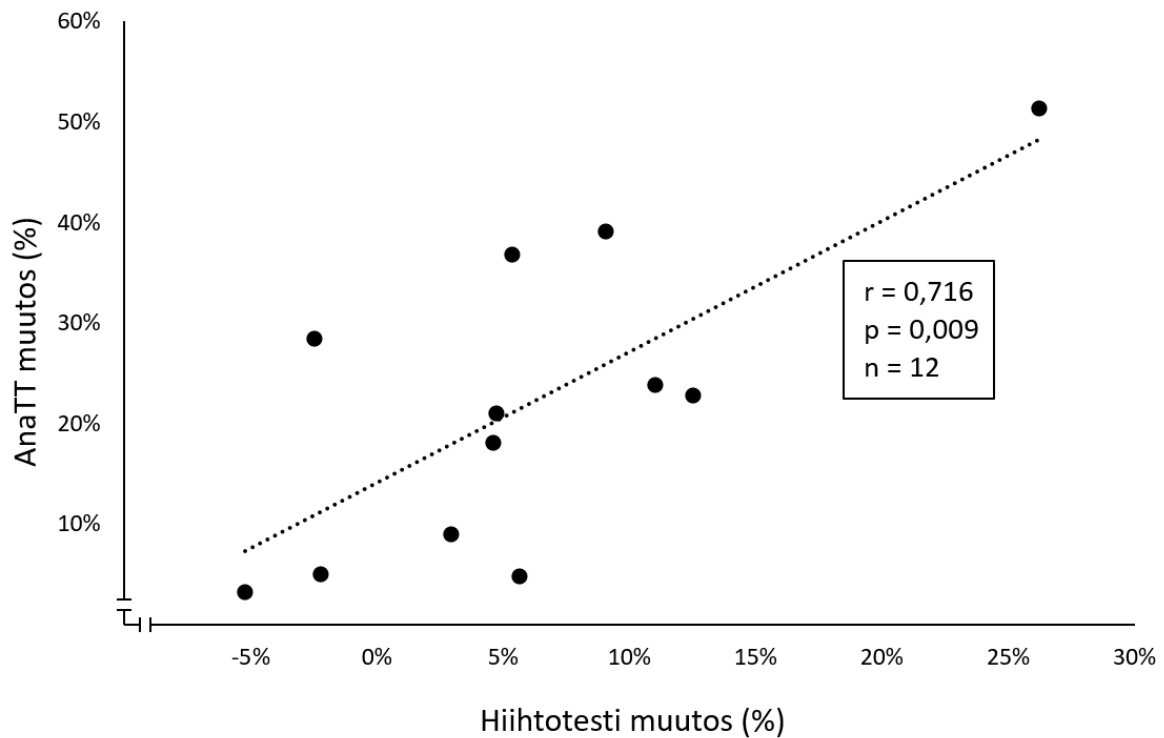


KUVA 18. Isometrisen tasatyöntövedon maksimivoiman muutos 30 metrin tasatyöntön kokonaisajan ja ensimmäisen 10 metrin ajan muutosten suhteen.



TAULUKKO 7. Toukokuusta lokakuuhun tapahtuneiden muutosten väliset korrelaatiot voima- nopeus- sekä hiihtosuorituskykymuuttujien välillä. Suluissa korrelaation merkitsevyys (p- arvo). \* Tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ), # tilastollisesti suuntaa-antava ( $p < 0,10$ ).

|                                     | TT <sub>30</sub>                | TT <sub>kiihdytys</sub>         | TT <sub>20, lentävä</sub>       | TT-ve-<br>to <sub>isom</sub> F <sub>max</sub> | TT-veto <sub>dyn</sub><br>P <sub>avg</sub> | TT-veto <sub>dyn</sub><br>P <sub>max</sub> | PP 1RM <sub>abs</sub> | PP<br>1RM <sub>suht</sub> |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|--|--|-----------------------|---------------------------|
| Hiihtotesti                         | -0,017<br>(0,960)               | 0,318<br>(0,341)                | -0,316<br>(0,344)               | 0,000<br>(0,999)                              | 0,428<br>(0,165)                           | 0,383<br>(0,219)                           | -0,234<br>(0,516)     | -0,131<br>(0,718)         |
| VO <sub>2peak</sub>                 | 0,069<br>(0,839)                | 0,295<br>(0,378)                | -0,179<br>(0,598)               | 0,099<br>(0,760)                              | 0,185<br>(0,564)                           | -0,182<br>(0,571)                          | 0,031<br>(0,933)      | 0,041<br>(0,910)          |
| VO <sub>2</sub> , V1 <sub>sub</sub> | 0,080<br>(0,814)                | -0,440<br>(0,176)               | 0,514<br>(0,106)                | 0,018<br>(0,957)                              | -0,318<br>(0,314)                          | -0,193<br>(0,547)                          | 0,022<br>(0,953)      | 0,157<br>(0,665)          |
| VO <sub>2</sub> , V2 <sub>sub</sub> | <b>0,614</b><br><b>(0,044*)</b> | 0,072<br>(0,834)                | <b>0,758</b><br><b>(0,007*)</b> | 0,063<br>(0,847)                              | -0,461<br>(0,132)                          | <b>-0,726</b><br><b>(0,007*)</b>           | 0,265<br>(0,460)      | -0,001<br>(0,997)         |
| AnaTT                               | -0,375<br>(0,256)               | -0,107<br>(0,755)               | -0,404<br>(0,218)               | -0,474<br>(0,120)                             | -0,029<br>(0,928)                          | 0,266<br>(0,403)                           | -0,166<br>(0,647)     | -0,052<br>(0,887)         |
| TT <sub>30</sub>                    |                                 | <b>0,667</b><br><b>(0,025*)</b> | <b>0,726</b><br><b>(0,011*)</b> | <b>0,526</b><br><b>(0,097#)</b>               | -0,072<br>(0,834)                          | -0,518<br>(0,102)                          | 0,015<br>(0,969)      | -0,171<br>(0,660)         |
| TT <sub>kiihdytys</sub>             | <b>0,667</b><br><b>(0,025*)</b> |                                 | -0,028<br>(0,935)               | <b>0,655</b><br><b>(0,029*)</b>               | 0,499<br>(0,118)                           | -0,145<br>(0,670)                          | 0,307<br>(0,421)      | 0,169<br>(0,663)          |
| TT <sub>20, lentävä</sub>           | <b>0,726</b><br><b>(0,011*)</b> | -0,028<br>(0,935)               |                                 | 0,101<br>(0,768)                              | <b>-0,556</b><br><b>(0,075#)</b>           | <b>-0,561</b><br><b>(0,072#)</b>           | -0,273<br>(0,478)     | -0,394<br>(0,293)         |



KUVA 19. Anaerobisen tasatyöntötestin (AnaTT) suhteellinen muutos pitkän hiihtotestin suhteellisen muutoksen suhteen.

## 8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, millaisia muutoksia hiihtosuorituskyvyssä ja ylävartalon voimantuotto-ominaisuuksissa tapahtuu hiihtäjillä harjoittelukauden aikana, ja onko ylävartalon voimantuotto-ominaisuuksissa tapahtuvilla muutoksilla yhteyttä hiihtosuorituskykyä määrittäviin tekijöihin. Hiihtosuorituskyvyn osalta tutkimuksen päähavaintona oli, että anaerobinen tasatyöntösuorituskyky kehittyi, kun taas pitkäaikaisessa hiihtosuorituskyvyssä, hiihdon taloudellisuudessa tai maksimaalisessa hapenottokyvyssä ei tapahtunut kehitystä. Pitkäaikaisessa hiihtosuorituskyvyssä voitiin kuitenkin odottaa kehitystä tapahtuvan pidemmällä aikavälillä. Ylävartalon voimantuotto-ominaisuuksien osalta tutkimuksen päähavaintona oli, että ylävartalon maksimivoima kehittyi alkukesän aikana, minkä jälkeen saavutettu taso pysyi yllä, mutta räjähtävässä voimantuotossa muutoksia ei tapahtunut. Anaerobisen tasatyöntösuorituskyvyn kehittyminen oli yhteydessä pitkäaikaisen hiihtosuorituskyvyn kehittymiseen ja ylävartalon räjähtävän voimantuoton kehittyminen yhteydessä hiihdon taloudellisuuden kehittymiseen. Ylävartalon maksimivoiman kehittyminen ei sen sijaan ollut yhteydessä hiihtosuorituskyvyn kehittymiseen.

Tutkimustulosten perusteella hiihtäjien kannattaa pyrkiä kehittämään ylävartalon räjähtävää voimantuottoa sekä lajinomaista anaerobista suorituskykyä, sillä tällöin on odotettavista kehitystä myös pitkäaikaisessa hiihtosuorituskyvyssä. Ylävartalon maksimivoimatasoja kehitettäessä on suunniteltava tarkoin myös, miten mahdollisesti kehittynyt maksimivoima saadaan siirrettyä lajisuorituksen voimantuottoon. Tämän tutkimuksen perusteella tällä tutkittavajoukolla harjoittelun painopisteet ovat hyvin yksilölliset, sillä toisilla tutkittavilla kehitys voimantuotto-ominaisuuksia mittaavissa testeissä oli selvää, kun taas toisilla muutoksia ei tapahtunut lainkaan tai se oli negatiivista, mutta silti lähes kaikki kehittyivät hiihtosuorituskykyä mitanneissa testeissä.

### 8.1 Muutokset hiihtosuorituskyvyssä

Pitkän hiihtotestin loppuajassa tapahtunut kehitys ei ollut tilastollisesti merkitsevä mittausajankohtien välillä, mutta toukokuusta heinäkuuhun ja toukokuusta lokakuuhun oli kuitenkin havaittavissa tilastollisesti suuntaa-antava trendi kehityksestä. Varianssi mittausajankohtien välillä oli tilastollisesti merkitsevä, joten pitkällä aikavälillä kehitystä voitaisiin odottaa. Mikäli

aineistosta poistettaisiin ne kolme tutkittavaa, joiden testitulos heikkeni, olisi muutos toukuusta lokakuuhun tilastollisesti merkitsevä. Havaintoihin nojaten voitaneen sanoa maksimaalisen suorituskyvyn kehittyvän harjoittelukauden aikana (toukokuu–lokakuu), kuten odotettiin.

Hiihdon taloudellisuudessa V1- tai V2-luistelutekniikalla ei tapahtunut kehitystä, toisin kuin hypoteesina oletettiin. Erot tutkittavien välillä olivat kuitenkin huomattavia. Tämä voi johtua tutkittavien erilaisista tavoitteista kilpailukauden alun suhteen ja näin harjoittelun erilaisista painotuksista erityisesti lokakuun aikana, sillä korkeimman tason hiihtäjillä oli edessään hyvin pian ensimmäisiä näyttökilpailuita kansainvälisiin kilpailuihin valitsemista varten, kun taas osalla tärkeitä kilpailuita tuli vasta myöhemmin talvella. Taso tutkittavien joukossa oli siis selkeästi vaihtelevampi kuin esimerkiksi Losnegardin ym. (2013) tutkimuksessa, jossa vastaavalla aikavälillä taloudellisuus kehittyi. Toisaalta hiihto vaatii myös erittäin korkeaa teknistä osaamista, joten tekniikan kehittyminen voi myös selittää taloudellisuuden kehittymistä harjoituskauden aikana tuossa tutkimuksessa. Losnegard ym. (2013) kuvailevat tutkittaviensa olleen huipputasoa, joista moni kansainvälistä huipputasoa, joten heidän voi olettaa olleen myös hyvin ammattitaitoisessa valmennuksessa, jossa tekniikan yksityiskohtiin on osattu panostaa. Tässä tutkimuksessa taso oli vaihtelevampi ja erityisesti ääripäät kauempana toisistaan. Taloudellisuuden kehittymisestä olisi etua, sillä esimerkiksi Sandbakk ym. (2010) ovat havainneet sen olevan eniten maailman huippuja ja kansallisen tason kärkihiihtäjiä erotteleva tekijä. Hypoteesin mukaisesti ja samoin kuin Losnegardin ym. (2013) tutkimuksessa myöskään maksimaalinen hapenkulutus ei kasvanut harjoittelukauden aikana. Suorituskyky kehittyi siis muutoin kuin taloudellisuuden tai maksimaalisen hapenkulutuksen kehittymisen kautta.

Maksimaalisessa anaerobisessa tasatyöntötestissä tapahtui tilastollisesti merkitsevää kehitystä kaikkien mittausajankohtien välillä ja myös varianssi oli tilastollisesti merkitsevä. Hypoteesin mukaisesti anaerobisessa suorituskyvyssä voidaan siis sanoa tapahtuneen selvää kehitystä (+22,0 ± 15,2 %) harjoituskauden aikana. Losnegardin ym. (2013) tutkimuksessa tulos 1000 metrin hiihtotestissä oli vastaavanlainen, joskin muutos jäi maltillisemmaksi. Toisaalta tässä tutkimuksessa käytetyssä testissä anaerobinen suorituskyky ja tasatyönnön maksiminopeus korostuivat enemmän, sillä suoritus aika jäi noin kahteen minuuttiin Losnegardin ym. (2013) käyttämän testin noin neljän minuutin sijaan. Anaerobisen suorituskyvyn ja hiihdon nopeuskapasiteetin merkitys hiihtosuorituskyvyn kannalta onkin havaittu suureksi matkasta riippumatta (Sandbakk ym. 2011; Stöggl ym. 2011; Sandbakk & Holmberg 2014), joten tällainen muutos

harjoituskauden aikana voidaan nähdä positiivisena. Kehitys tässä testissä voisi siis selittää kehitystä pitkässä hiihtotestissä paremman irtiottokyvyn ja kyvyn sietää lihasten happamuutta myötä. Tämän puolesta puhuu myös vahva tilastollisesti merkitsevä korrelaatio anaerobisen tasatyöntötestin ja pitkän hiihtotestin muutosten välillä. Toisaalta kuvasta 19 havaitaan, että hajonta oli suurta ja yhden tutkittavan piste hyvin erillään muista, mikä vaikuttaa tilastollisesti merkitsevän korrelaation saamiseen.

Mielenkiintoista on kuitenkin, että myös kaikki ne tutkittavat, joilla pitkän hiihtotestin tulos heikkeni, saavuttivat kuitenkin kehitystä tasatyönnön maksimaalisessa anaerobisessa nopeudessa. Mahdolliset ongelmat harjoittelussa voivat näkyä enemmän pitkäaikaisessa kestävyys-suorituskyvyssä, ja kun pitkässä hiihtotestissä ei saa itseään yhtä ahtaalle, voi sitä seuraavaan tasatyöntötestiin päästä parempivoimaisena.

## **8.2 Muutokset nopeus- ja voimaominaisuuksissa**

Voimantuotto-ominaisuuksia mitanneissa testeissä tapahtuneet muutokset olivat tutkittavien välillä hyvin yksilöllisiä. Osa saavutti selvää kehitystä, osalla taso pysyi samana ja osalla tulokset heikkenivät. Penkkipunnerruksen yhden toiston maksimi oli ainoa nopeus- tai voimaominaisuuksia mitannut testi, jossa varianssi oli tilastollisesti merkitsevä (sekä absoluuttinen että kehonpainoon suhteutettu tulos) mittaajajankohdian välillä. Voimassa havaitaan parhaiten kehitystä, kun harjoittelu ja testi tapahtuvat samalla tavalla (Enoka 2008, 365). Toisin kuin tutkimusta varten rakennettu tasatyöntövetolaite, penkkipunnerrus kuuluneekin helposti toteutettavana voimaharjoitteluliikkeenä useimpien hiihtäjien voimaharjoitusohjelmaan, minkä vuoksi selkein kehityskin näkyi siinä.

Tasatyöntövedossa (isometrinen maksimivoima, dynaaminen keski- ja maksimiteho) tapahtuneet muutokset olivat niin ikään hyvin yksilöllisiä eikä koko joukon keskiarvoissa tapahtunut muutosta suuntaan tai toiseen. Tasatyönnön maksiminopeutta huippukestävyysjuoksijoilla on havaittu maksimivoiman ja maksimaalisen voimantuottonopeuden heikkenevän harjoituskuorituksen kasvaessa (Fernández ym. 2015). Voikin olla, että hyvin erilaisissa harjoituskauden vaiheissa lokakuun mittauksissa olleella tutkittavajoukolla erot harjoittelun aiheuttamassa kuormittuneisuudessa ovat vaikuttaneet erityisesti maksimaalista voimantuottoa vaatineiden testien tuloksiin. Toisaalta ei ollut havaittavissa näissä testeissä heikomman tuloksen saavuttaneilla

tutkittavilla vastaavaa selkeää trendiä hiihtosuorituskykytesteissä. Palautumistilan ja suorituskyvyn välisiä yhteyksiä selvittää tässä tutkimusprojektissa tarkemmin pro gradu -tutkielmaansa Kimmo Lajunen.

Tasatyönnön (30 m) kokonaisajassa, alun 10 metrin kiihdytykseen kuluneessa ajassa aika tai lentävän 20 metrin ajassa ei tapahtunut kehitystä. Toisaalta 20 metrin lentävän ajassa voitaneen varovaisesti sanoa tutkittavajoukossa olleen havaittavissa kehityksen suuntainen. Karkeasti tutkittavat joko säilyttivät tulostasonsa tai saavuttivat maltillista kehitystä. Vain yhdellä tutkittavalla heikennys oli yli prosentin.

### 8.3 Valmennuksellinen näkökulma

Suorituskyvyssä tapahtuvien muutosten seuraaminen lajinomaisesti on hiihdossa äärimmäisen hankalaa, koska hiihtäjistä itsestään riippumattomia ulkoisia tekijöitä on paljon. Tässä tutkimuksessa vertailtiin ylävartalon suorituskyvyn eri osa-alueissa tapahtuneita muutoksia hiihtosuorituskyvyssä tapahtuneisiin muutoksiin, jotta saataisiin valmentajille tietoa siitä, minkä suorituskyvyn osa-alueiden kehittäminen on olennaista hiihtosuorituskyvyn kehittymisen kannalta, ja miten niitä voisi seurata.

Tämän tutkimuksen perusteella V2-luistelutekniikan (wassberg) taloudellisuuden kehittymisen mahdollistaa ylävartalon maksimaalisen tehontuoton kehittyminen, sillä sekä 30 metrin tasatyönnön (TT<sub>30</sub> ja TT<sub>20, lentävä</sub>) että dynaamisen tasatyöntövedon maksimitehon (TT-vet<sub>dyn</sub>, P<sub>max</sub>) kehittyminen korreloivat tilastollisesti merkitsevästi taloudellisuuden (VO<sub>2</sub>, V<sub>2sub</sub>) kehittymisen kanssa. Tämä ei ole yllättävää, sillä maksimivoiman ja -tehon kasvaessa on sama eteenpäin vievä voimantuotto suhteessa helpompaa saavuttaa. Hiihdon taloudellisuuden seuranta on perusteltua, koska sillä on suuri rooli menestyksen kannalta (Sandbakk ym. 2010). Tässä tutkimuksessa havaittiin myöskin V2-luistelutekniikan taloudellisuuden kehittymisen korreloivan tilastollisesti merkitsevästi pitkän hiihtotestin loppuajan kehittymisen kanssa (kuva 16). On siis hyödyllistä harjoitella ylävartalon räjähtävää voimantuottoa pystyäkseen kehittämään hiihdon taloudellisuutta ja näin suorituskykyä. Taloudellisuuden kehittymistä seurataan tyypillisesti muutoksina hapenkulutuksessa vakionopeudella, mihin vaaditaan poikkeuksetta laboratorioolosuhteet. Näin ollen, mikäli säännöllinen testaaminen laboratorio-olosuhteissa ei ole mahdollista, voi olla perusteltua seurata taloudellisuuteen vaikuttavien ominaisuuksien kehittymistä harjoituskauden aikana.

Kehittyminen anaerobisessa tasatyöntötestissä näkyi myös kehityksenä pitkässä hiihtotestissä (kuva 19). Kuten on jo todettukin, anaerobisen suorituskyvyn ja hiihdon nopeuskapasiteetin merkitys hiihtosuorituskyvyn kannalta on suuri kaikilla matkoilla (Alsobrook ja Heil 2008; Sandbakk ym. 2011; Stöggl ym. 2011; Sandbakk & Holmberg 2014). Tällaisesta lyhyemmästä testistä voidaan saada enemmän informaatiota harjoituskauden aikana, sillä se voidaan toteuttaa useammin ja huomattavasti helpommin kuin perinteinen pitkä uupumukseen asti suoritettava  $VO_{2max}$ -testi. Yhdistettynä ylävartalon hetkellistä maksimitehoa ja tasatyönnön maksiminopeutta mittaaviin testeihin saadaan jo hyvin laajalti tietoa suorituskyvyn kehittymisestä kohtuullisen yksinkertaisilla menetelmillä.

Ylävartalon maksimivoiman kehittyminen ei tässä tutkimuksessa ollut yhteydessä lyhyt- tai pitkäaikaisen hiihtosuorituskyvyn kehittymiseen. Vaikka ylävartalon maksimivoiman on havaittu olevan yhteydessä parempaan lyhytaikaiseen hiihtosuorituskykyyn (Mikkola ym. 2010) sekä hiihdon taloudellisuuteen (Hoff ym. 1999; Østerås ym. 2002; Mikkola ym. 2007), ei sen kehittyminen kuitenkaan näyttäisi takaavan hiihtosuorituskyvyn tai hiihdon taloudellisuudenkaan kehittymistä. Vastaavan havainnon tekivät myös Stöggl ym. (2011) nostaten esille hiihdon vaatimukset korkealle tekniselle osaamiselle. Hyvät ylävartalon voimatasot mahdollistavat V2-luistelutekniikan (wassberg) runsaamman käytön ja oikean hiihtoasennon ylläpitämisen (Jonsen & Laaksonen 2015). Ylävartalon maksimivoiman kehittämistä on siis hyötyä, mikäli siinä on puutteita, mutta kehityksen saaminen lajisuoritukseen vaatii myös tekniikan hallitsemista ja räjähtävien lajinomaisten suoritusten harjoittelua. Olennaista on hiihtäjän kyky muuntaa aineenvaihdunnasta saamaansa energiaa vauhdiksi (Mahood ym. 2001; Sandbakk ym. 2010; Sandbakk ym. 2011), ei välttämättä maksimaalinen voimantuotto, sillä esimerkiksi väärään suuntaan tuotettuna se ei vie tehokkaasti eteenpäin.

#### **8.4 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet**

Kokonaisuutena koko tutkimusprojektin toteuttaminen onnistui erittäin hyvin ottaen huomioon sen laajuuden. Kaikki mukaan lähteneet tutkittavat kävivät läpi kaikki mittauskerrat ja suorittamatta jääneitä testejä tuli vain muutama. Tämänkaltaisen tutkimuksen toteuttaminen vaatii runsasta yhteydenpitoa tutkittaviin onnistuakseen, minkä voi näin ollen todeta onnistuneen hyvin.

Hajonnat tilastollisen merkitsevyyden saavuttaneissa muutosten välisiä yhteyksiä tarkastelleissa muuttujissa olivat melko suuria, mikä heikentää niiden todellista merkitystä. Suuremmalla tutkittavajoukolla voitaisiin saada selkeämpi kuva siitä, mikä merkitys nyt havaituilla yhteyksillä todellisuudessa on.

Isometrinen tasatyöntövedo oli testinä erittäin haastava. Havaittu yhteys sen kehittymisen ja 30 metrin tasatyöntön heikkenemisen välillä voidaan kyseenalaistaa, sillä tulokset isometrisessä tasatyöntövedossa vaihtelivat tutkittavilla mittauskertojen välillä hyvin epäloogisesti, mikä näkyy kuvassa 18 suurena hajontana. Tekniikan tarkkailu testissä oli erittäin hankalaa, joten jälkikäteen voidaan todeta, että suoritusasennon vakiointi olisi pitänyt tehdä jollakin muulla tavalla.

Dynaamisessa tasatyöntövedossa olisi kenties voitu saada paremmin tutkittavilla tapahtuneita muutoksia mittauskertojen välillä esille, jos vastus olisi ollut jokaisella kerralla vakio, sillä eri kuormilla saavutetaan eri maksimiteho (Izquierdo ym. 2002). Nyt se määritettiin joka kerralla uudelleen isometrisen tasatyöntövedon tuloksen perusteella.

Olisi ollut hyvä mitata hiihtotesteistä myös sauvavoimia, jolloin nopeus- ja voimatesteistä saatuja muuttujia olisi voitu verrata myös niihin. Näin olisi kenties saatu yksityiskohtaisempaa tietoa siitä, millä tavalla muutokset nopeus- ja voimaominaisuuksissa näkyivät kunkin hiihtosyklin sisäisissä vauhtiin vaikuttavissa tekijöissä, joita tässä ei huomioitu lainkaan.

## **8.5 Johtopäätökset**

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella hiihtäjien kannattaa pyrkiä kehittämään ylävartalon räjähtävää voimantuottoa sekä lajinomaista anaerobista suorituskykyä, sillä tällöin on odotettavissa kehitystä myös hiihdon taloudellisuudessa ja pitkäaikaisessa hiihtosuorituskyvyssä. Ylävartalon maksimivoimatason kehittyminen ei korreloinut hiihtosuorituskyvyn kehittymisen kanssa, joten maksimivoimaharjoittelun jälkeen on suunniteltava huolellisesti myös, miten mahdollinen kehitys saadaan siirrettyä lajisuorituksen voimantuottoon. Hyvin yksilölliset muutokset eri testeissä kuvannevat hyvin erilaisia harjoittelun painotuksia tällä tutkittavajoukolla.

Kestävyys suorituskyvyn muutkin osatekijät sekä erityisesti kunkin yksilön omat vahvuudet ja heikkoudet on kuitenkin huomioitava harjoittelun painotuksissa. Esimerkiksi jo valmiiksi erittäin vahvalle, lajisuorituksissa nopealle ja hyvällä rytminvaihtokyvyllä varustetulle hiihtäjälle riittänee edellä mainittujen ominaisuuksien ylläpitäminen, kun taas selvästi hitaamman tyyppisen hiihtäjän kannattanee uhrata voima- ja nopeusharjoittelulle harjoitusjakso jos toinenkin.



## LÄHTEET

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Crameri, R., Magnusson, S. P & Kjær, M. 2011. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, e298–e307.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. 2002. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology* 93, 1318–1326.
- Alsobrook, N. G. & Heil, D. P. 2009. Upper body power as a determinant of classical cross-country ski performance. *European Journal of Applied Physiology* 105, 633–641.
- Andersen, J. L. & Aagard, P. 2000. Myosin Heavy Chain IIX Overshoot in Human Skeletal Muscle. *Muscle & Nerve* 23, 1095–1104.
- Anderson, E. Supej, M., Sandbakk, Ø., Sperlich, B., Stöggl, T. & Holmberg, H. 2010. Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system. *European Journal of Applied Physiology* 110, 585–595.
- Asmussen, E. & Bonde-Petersen, F. 1974. Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica* 92, 537-545.
- Basset, D. R. & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 12 (1), 70–84.
- Bastiaans, J. J., van Diemen, A. B. J. P., Veneberg, T. & Jeukendrup, A. E. 2001. The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology* 86, 79–84.
- Bazyler, C. D., Abbott, H. A., Bellon, C. R., Taber, C. B. & Stone, M. H. 2015. *Strength Training for Endurance Athletes: Theory to Practice*. *Strength and Conditioning Journal* 37 (2), 1–12.
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M. & Carson, B. P. 2014. The Effect of Strength Training on Performance in Endurance Athletes. *Sports Medicine* 44, 845–865.
- Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T., McEniery, M. & Carey, M. F. 1999. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31 (6), 886–891.

- Bouchard, C., Lesage, R., Lortie, G., Simoneau, J., Hamel, P., Boulay, M. R., Pérusse, L., Thériault, G. & Leblanc, C. 1986. Aerobic performance in brothers, dizygotic and monozygotic twins. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 18 (6), 639–646.
- Calbet, J. A. L, Holbmer, H., Rosdahl, H., van Hall, G., Jensen-Urstad, M. & Saltin, B. 2005. Why do arms extract less oxygen than legs during exercise? *American journal of physiology: Regulatory, integrative and comparative physiology* 289, R1448–R1458.
- Campos, G. E. R, Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J. & Taron, R. S. 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology* 88, 50–60.
- Craib, M. W., Mitchell, V. A., Fields, K. B., Cooper, T. R., Hopewell, R. & Morgan, D. W. 1996. The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28, 737–743.
- Ehsani, A.A., Hagberg, J. M. & Hickson, R. C. 1978. Rapid changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning. *The American Journal of Cardiology* 42 (1), 52–56.
- Eklund, D., Pulverenti, T., Bankers, S., Avela, J., Newton, R., Schuman, M. Häkkinen, K. 2014. Neuromuscular Adaptations to Different Modes of Combined Strength and Endurance Training. *International Journal of Sports Medicine* 36, 120–129.
- Enoka, R. M. 2008. *Neuromechanics of human movement*. 4. painos. Champaign, IL: Human Kinetics.
- FIS. 2015. *The international ski competition rules: Book II, Cross-country*.
- Gaskill, S. E., Serfass, R. C. & Rundell, K. W. 1999. Upper Body Power Comparison Between Groups of Cross-Country Skiers and Runners. *International Journal of Sports Medicine* 20, 290–294.
- Guglielmo, L. G. A., Greco, C. C. & Denadai, B. S. 2009. Effects of Strength Training on Running Economy. *International Journal of Sports Medicine* 30, 27-32.
- Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T. & Foster, C. 1988. Potential for strength and endurance performance. *Journal of Applied Physiology* 65 (5), 2285-2290.
- Hickson, R. C., Rosenkoetter, M. A. & Brown. M. M. 1980. Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 12 (5), 336-339.

- Hoff, J., Gran, A. & Helgerud, J. 2002. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 12 (5), 288–295.
- Hoff, J., Helgerud, J. & Wisløff, U. 1999. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31 (6), 870–877.
- Holmberg, H. The elite cross-country skier provides unique insights into human exercise physiology. 2015. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 25 (4), 100–109.
- Holmberg, H., Lindinger, T., Stöggl, E. Eitzlmair, E. & Müller, E. 2005. Biomechanical Analysis of Double Poling in Elite Cross-Country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37 (5), 807–818.
- Holmberg, H., Rosdahl, H. Svedenhag, J. 2007. Lung function, arterial saturation and oxygen uptake in elite cross country skiers: influence of exercise mode. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 17, 437–444.
- Izquierdo, M., Ibáñez, J., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Ruesta, M. & Gorostiaga, E. M. 2004. Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road cyclists. *Journal of Sports Sciences* 22, 465–478.
- Jonsson, M. & Laaksonen, M. S. 2015. Differences in Range of Motion and Feet Pressure Between Skiing With and Without Rifle in Female Biathletes. Teoksessa Radmann, A., Hedenborg, S. & Tsolakidis, E. (toim.) *Book of Abstracts. 20th Annual Congress of the European College of Sport Science*, 52.
- Keskinen, K. L. 2007. Kuormitusfysiologia: Hengitys- ja verenkiertoelimistö ja kuormitus. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K., L. & Häkkinen, K. (toim.) *Urheiluvalmennus 2. Painos. Lahti: VK-Kustannus Oy*, 73–96.
- Koninckx, E., Van Leemputte, M. & Hespel, P. 2010. Effect of isokinetic cycling versus weight training on maximal power output and endurance performance in cycling. *European Journal of Applied Physiology* 109, 699–708.
- Kubo, K., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. 2002. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of Physiology* 538 (1), 219–226.
- Lindinger, S. J., Holmberg, H., Müller, E. & Rapp, W. 2009. Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology* 106, 353–363.

- Losnegard, T., Mikkelsen, K., Rønnestad, B. R., Hallén, J., Rud, B., Raastad, T. 2011. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, 389–401.
- Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M. & Hallén, J. 2013. Seasonal variations in  $\dot{V}O_{2\max}$ ,  $O_2$ -cost,  $O_2$ -deficit, and performance in elite cross-country skiers. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 27 (7), 1780–1790.
- Mahood, N. V., Kenefick, R. W., Kertzer, R. & Quinn, T. J. 2001. Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33 (8), 1379–1384.
- Mikkola, J., Laaksonen, M., Holmberg, H., Vesterinen, V., & Nummela, A. 2010. Determinants of a simulated cross-country skiing sprint competition using V2 skating technique on roller skis. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (4), 920–928.
- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A. T., Paavolainen, L. M. & Häkkinen, K. 2007. Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 21 (2), 613-620.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K. & Nummelela, A. 2011. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *Journal of Sports Sciences* 29 (13), 1359-1371.
- Munekani, I. & Ellapen, T. J. 2015. Does concurrent strength and endurance training improve endurance running? A systematic review. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance*. 46–58.
- Ng A. V., Demment R. B., Bassett D. R., Bussan M. J., Clark R. R., Kuta J. M. & Schauer J. E. 1988. Characteristics and Performance of Male Citizen Cross-Country Ski Racers. *International Journal of Sports Medicine* 9, 205–209.
- Niinimaa, V., Dyon, M. & Shephard, R. J. 1978. Performance and efficiency of intercollegiate cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 10 (2), 91–93.
- Nummela, A., Keskinen, K. L. & Vuorimaa, T. 2007. Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta: Kestävyys. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K., L. & Häkkinen, K. (toim.) *Urheilualmennus 2. Painos*. Lahti: VK-Kustannus Oy, 333–363.

- Oliveira, F. B. D., Oliveira, A. S. C., Rizatto, G. F. & Denadai, B. S. 2013. Resistance Training for Explosive and Maximal Strength: Effects on Early and Late Rate of Force Development. *Journal of Sports Science and Medicine* 12, 402–408.
- Paavolainen, L. M., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology* 86 (5), 1527–1533.
- Rusko, H. 2003. *Handbook of Sports Medicine and Science: Cross-country skiing*. Oxford, UK: Blackwell Science, Ltd.
- Rønnestad, B. R. & Mujika, I. 2014. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24, 603–612.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A. & Raastad, T. 2010. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology* 108, 965–975.
- Rønnestad, B. R., Kojedal, Ø., Losnegard, T., Kvamme, B. & Raastad, T. 2012. Effect of heavy strength training on muscle thickness, strength, jump performance, and endurance performance in well-trained Nordic Combined athletes. *European Journal of Applied Physiology* 112, 2341–2352.
- Sandbakk, Ø., Ettema, G. & Holmberg H. 2014. Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24 (1), 28–33.
- Sandbakk, Ø. & Holmberg, H. 2014. A Reappraisal of Success Factors for Olympic Cross-Country Skiing. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 9, 117–121.
- Sandbakk, Ø., Holmberg, H., Leirdal, S. & Ettema, G. 2010. Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *European Journal of Applied Physiology* 109, 473–481.
- Sandbakk, Ø., Holmberg, H., Leirdal, S. & Ettema, G. 2011. The physiology of world-class sprint skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, e9–e16.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J. & Hawley, J. A. 2006. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 20 (4), 947–954.

- Smith, G. A., Nelson, R. C., Feldman, A. & Rankinen, J. L. 1989. Analysis of V1 Skating Technique of Olympic Cross-Country Skiers. *International Journal of Sports Biomechanics* 5, 185–207.
- Stöggl, T., Lindinger, S. & Müller, E. 2007. Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 17, 362–372.
- Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M. & Holmberg, H. 2011. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, 791–803.
- Støren, Ø., Helgerud, J., Støa, E. M. & Hoff, J. 2008. Maximal Strength Training Improves Running Economy in Distance Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40 (6), 1087–1092.
- Sunde, A., Støren, Ø., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. 2010. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (8), 2157–2165.
- Tønnessen, E., Sylta, Ø., Haugen, T. A., Hem, E., Svendsen, I. S. & Seiler, S. 2014. The Road to Gold: Training and Peaking Characteristics in the Year Prior to a Gold Medal Endurance Performance. *PLoS ONE* 9 (7): e101796. doi:10.1371/journal.pone.0101796
- Østerås, H., Helgerud, J. & Hoff, J. 2002. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *European Journal of Applied Physiology* 88, 255–263.