

**YLÄVARTALON MAKSIMIVOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUS
TASATYÖNNÖN SUORITUSKYKYYN NUORILLA NAISHIIHTÄJILLÄ**

Pietu E. A. Korhonen

Valmennus- ja testausopin Pro-gradu tutkielma

Kevät 2019

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat:

V. Linnamo

O. Ohtonen

TIIVISTELMÄ

Pietu E. A. Korhonen (2019). Ylävartalon maksimivoimaharjoittelun vaikutus tasatyönnön suorituskykyyn nuorilla naishiihtäjillä. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Pro gradu – tutkielma, 48 s.

Voimaharjoittelun edut kestävyysurheilussa on alettu ymmärtää vasta viime vuosikymmeninä. Voimaharjoittelulla voidaan saavuttaa merkittäviä etuja suorituksen taloudellisuudessa. Samaan aikaan maastohiihto kilpaurheiluna on muuttunut yhä kovavauhtisemmaksi ja yhteislähtö-, sekä sprinttikilpailujen myötä tehokkaampaa irtiottokykyä vaativaksi lajiksi. Myös hiihtotekniikat ovat kehittyneet 2000-luvulla ja ylävartalon tehontuoton merkitys on kasvanut etenkin perinteisellä hiihtotavalla.

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään ylävartalon maksimaalisen voimaharjoittelun mahdollisia vaikutuksia nuorten naishiihtäjien tasatyönnön suorituskykyyn. Koehenkilöiksi valikoitui seitsemän hiihtäjää ($21,5 \pm 4,9$ vuotta, $168,0 \pm 4,0$ cm, $60,8 \pm 6,1$ kg, $n = 7$), jotka jaettiin kahteen ryhmään. Voimaharjoitteluryhmä (INT, $n=3$) suoritti kahdeksan viikon ylävartaloon kohdistuneen nonlineaarisen maksimivoimaharjoitteluohjelman, kun taas kontrolliryhmä (KON, $n=4$) harjoitteli normaalin ohjelmansa mukaan, kuitenkin niin, että he eivät suorittaneet ylävartalon voimaharjoittelua. Koehenkilöt suorittivat pohjamittauksena maksimaalisen hapenototestin sauvakävelen. Varsinaiset alku ja loppumittaukset koostuivat antropometrisistä testeistä, kolmesta eri voimatestistä (penkkipunnerrus 1RM, ylätalja 1RM ja penkkipunnerrus minuutin toistotestinä), sekä rullahiihtäen tehdyistä maksiminopeustestistä ja kestävyys-testistä.

Antropometrisissä mitoissa ei havaittu merkittäviä muutoksia. Maksimaalisessa hapenotossa ei myöskään havaittu suuria muutoksia. Sen sijaan voimatesteissä harjoitteluryhmä paransi selvästi (BP_{1RM} $p < 0,05$), kun taas kontrolliryhmän tulokset jopa hieman laskivat osassa testeistä. Nopeustestin loppuaika parani kummallakin ryhmällä merkittävästi (KON $p < 0,05$, INT $p = 0,005$) ja harjoitteluryhmällä myös pitkän testin loppuaika parani merkittävästi ($p < 0,05$). Veren laktaattipitoisuus laski harjoitteluryhmällä merkittävästi pitkän hiihtotestin 4. ja 5. kuoralla ($p < 0,05$). Loppumittauksissa BP_{1RM} korreloi positiivisesti pitkän hiihtotestin loppuajan kanssa.

Ylävartalon voimaharjoittelusta näyttäisi olevan etua nuorten naishiihtäjien tasatyöntötekniikan suorituskykyyn. Voimaharjoittelu ei vaikuttanut negatiivisesti suhteelliseen maksimaalisen hapenottoon ja suoritusten loppuajat paranivat merkittävästi, josta voidaan päätellä suoritusten taloudellisuuden parantuneen.

ABSTRACT

Pietu E. A. Korhonen (2019). Effects of upper-body maximum strength training on double poling performance on young female skiers. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, masters thesis, 48 pages.

Skating and modern double poling require great upper-body power output and thus it has become one of major success factors in contemporary cross-country skiing (Sandbakk & Holmberg 2014). However, a recent study by Skattebo et al. (2016) suggests that increased upper-body strength after linear strength training has no effect on DP performance in young female skiers. The aim of the present study was to examine if double poling performance could be improved by a specific upper body nonlinear strength training program of eight weeks in female participants.

7 female cross-country skiers (age $21,5 \pm 4,9$ years) were split into two groups, one performing 8 weeks of nonlinear heavy maximal upper body strength training ($n=3$) and the other acting as a control group ($n=4$). Both groups also carried on their normal training schedule but control group was advised to avoid heavy strength training. All subjects underwent pre- and post intervention tests measuring body composition, reference maximal oxygen uptake ($VO_{2maxREF}$), upper body strength (BP_{1RM} , BP_{VOL} and PD_{1RM}), maximal DP velocity (V_{max}) and maximal oxygen uptake during DP (VO_{2maxDP}), DP intra-cycle timings, blood lactate concentration (BL) on 3-minute intervals and skiing time (DP_{TIME}) during double poling on a treadmill. All tests except $VO_{2maxREF}$ were repeated after the intervention. Shapiro-Wilk test was used as a test of normality for each variable and based on its results either nonparametric Wilcoxon-test or a t-test was used.

No significant changes in body mass or fat percent were detected in either group. Strength training group (S) managed to improve on every strength test ($BP_{1RM} +15\%$ ($p < 0,05$), $BP_{VOL} +26,8\%$ and $PD_{1RM} +14,7\%$) whereas control group (C) showed changes of $-2,5\%$, $-14,0\%$ and $+4,6\%$ respectively. Both S and C improved their end time on short and long tests, but S had bigger gains ($+51,0\%$ ($p = 0,005$) vs. $+24,3\%$ ($p < 0,05$) and $+18,9\%$ ($p < 0,05$) vs. $+5,3\%$). Relative VO_{2maxDP} increased $0,3\%$ (S) and $9,6\%$ (C). BL decreased on every measure point for both groups except for BL_{PEAK} which increased for both S and C. BL_{POST} was significantly lower than BL_{PRE} for S on 12th and 15th minute of the long DP test ($p < 0,05$).

Contrary to the study of Skattebo et al. (2016) increased strength of group S was accompanied with improved double poling performance indicated by better (higher) long test end time and only small change to VO_{2maxDP} . Differences might be explained by differences in the strength training method (nonlinear vs. linear) and by testing method (treadmill vs. DP ergometer).

KÄYTETYT LYHENTEET

1RM	yhden toiston maksimi
BP	penkkipunnerrus, bench press
BW	kehonpaino, body weight
EMG	elektromyografia
INT	interventioryhmä
KA	keskiarvo
KH	keskihajonta
KON	kontrolliryhmä
MVC	maksimaalinen tahdonalainen supistus, maximal voluntary contraction
PD	ylätalja, pull down
PET	positroniemissiotomografia
RPE	koetun uupumuksen taso, rating of perceived exertion
SK	sauvakävely
VO _{2max}	maksimaalinen hapenotto

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	1
2	PERINTEINEN HIIHTOTYYLI	3
2.1	Vuorohiihto.....	3
2.2	Tasatyöntö	4
2.3	Yksipotkuinen tasatyöntö	5
2.4	Haarakäynti.....	6
3	TASATYÖNTÖTEKNIIKAN KEHITYS JA TUTKIMUS	7
4	VOIMAHARJOITTELU KESTÄVYYSURHEILUSSA	12
4.1	Voima- ja kestävyysharjoittelun yhdistäminen	12
4.1.1	Harjoittelemattomat yksilöt	14
4.1.2	Ennestään harjoitelleet yksilöt.....	15
4.2	Voimaharjoittelu maastohiihdossa	18
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	21
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	22
6.1	Koehenkilöt	22
6.2	Tutkimusasetelma.....	22
6.3	Voimaharjoitteluohjelma	23
6.4	Testausprotokolla	25
6.4.1	Antropometriset mitat.....	25
6.4.2	Sauvakävelytesti	25
6.4.3	Voimatestit	25
6.4.4	Tasatyöntötestit.....	27
6.5	Tilastolliset menetelmät.....	29
7	TULOKSET	30

7.1	Antropometriset muutokset	30
7.2	Voimatestien tulokset	31
7.2.1	Penkkipunnerrus 1RM.....	31
7.2.2	Penkkipunnerrus, toistotesti.....	32
7.2.3	Ylätalja 1RM	33
7.3	Hiihtotestien tulokset.....	34
7.3.1	Loppuajat	34
7.3.2	Hapenotto	35
7.3.3	Veren laktaattipitoisuus	36
7.3.4	Syklimuuttujat	36
7.4	Muuttujien väliset korrelaatiot.....	37
7.4.1	PRE.....	37
7.4.2	POST	37
8	POHDINTA.....	38
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
	LÄHTEET	43

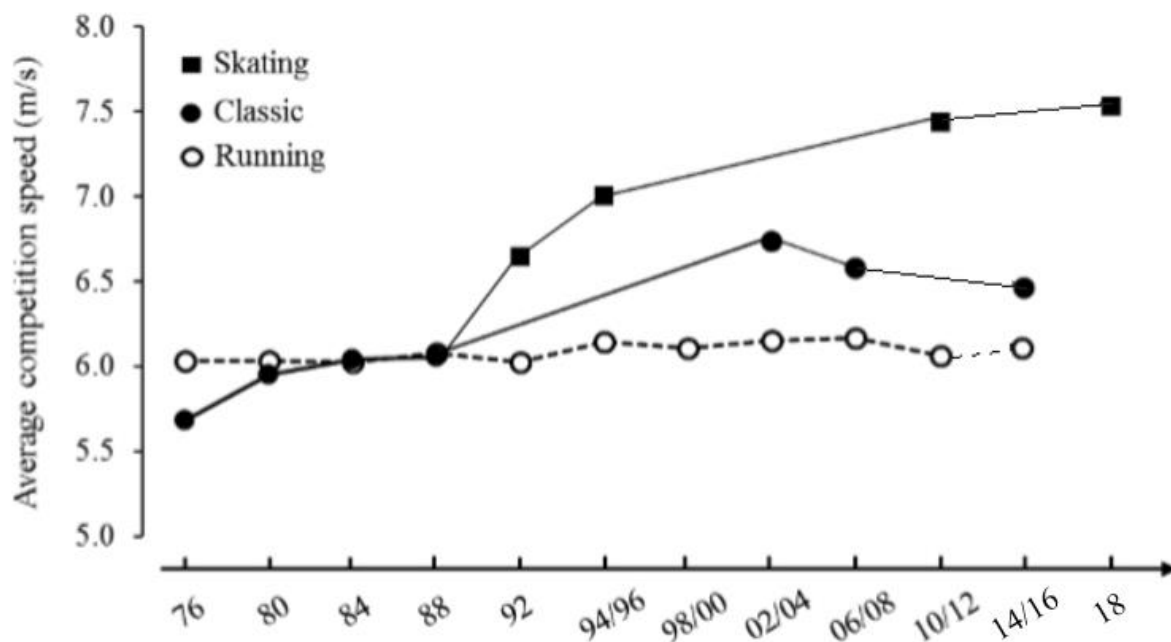
1 JOHDANTO

1980-luvulla maastohiihto kilpaurheiluna koki yhden suurimmista muutoksistaan, luisteluhiihdon virallistamisen. Luistelupotkun tekeminen hiihtosuksilla etenemisen nopeuttamiseksi ei sinänsä ole uusi keksintö, mutta sen käyttö kilpailuissa alkoi vasta 1960-luvulla hiihtosuunnituksesta ja sitten 1970-luvulla ylipitkien matkojen kisoissa. Pauli Siitonen oli ensimmäisiä, joka toi tekniikan laajempaan tietoisuuteen menestyksessään pitkillä matkoilla. Vuonna 1982 yhdysvaltalainen Bill Koch päätti kokeilla luistelutekniikkaa normaalimatkojen kisoissa. Koch saavutti Oslon MM-kisoissa pronssia 30 kilometrillä ja voitti samana talvena ensimmäistä kertaa järjestetyn hiihdon maailmancupin kokonaiskilpailun. Alkoi ketjureaktio, jossa ensin sivupotkun ja melko pian varsinaisen luisteluhiihdon käyttö kisoissa yleistyi ja sitä alettiin rajoittaa erilaisilla säännöillä, kunnes vuoden 1986 yleiskokouksessaan kansainvälinen hiihtoliitto FIS päätti jakaa maastohiihdon kahdeksi erilliseksi tyyliksi: syntyi virallisesti perinteinen hiihtotyyli ja vapaa hiihtotyyli, eli puhekielessä luistelutyyli. Kummallakin tyylillä hiihrettiin jatkossa saman verran kilpailuja niin maailmancupissa kuin arvokisoissakin. (Bengtsson 2010.)

Nyt, 30 vuotta myöhemmin keskustelu maastohiihdon ympärillä on ollut hyvin samankaltaista kuin 80-luvulla. Tasatyöntö, yksi perinteisen hiihdon alateknikoista, on varsinkin pitkillä matkoilla jo useamman vuoden ollut ainoa tekniikka, jota huippuhihtäjät käyttävät. Tasatyöntön etuna on muun muassa parempi luisto, kun pitovoiteet voidaan jättää kokonaan pois suksen pohjasta. Samalla myös suksen profiilin valinta helpottuu, kun niin sanotulle pitovoidepesälle ei ole tarvetta. Trendi ei tälläkään kertaa ole rajoittunut pitkiin matkoihin, vaan Kazakstanin Alexey Poltoranin voitti vuonna 2015 maailmancupin osakilpailun 10 kilometrin matkalla tasatyöntäen. FIS reagoi asettamalla tiukempia rajoituksia sauvan pituudelle (FIS 2016) ja tuomalla kansallisiin kisoihin kokeiltavaksi alueita, joissa tasatyöntö on kokonaan kielletty (Hiihtoliitto 2016). Omaksi tyylikseen tasatyöntöä ei vielä tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa ole julistettu, mutta varsinkin pohjoismaissa on kannettu huolta perinteisen tyylin tulevaisuudesta, kuten 80-luvullakin.

Kuluneen 30 vuoden aikana hiihtovälineet- ja reitit ovat käyneet läpi valtavan kehityksen ja kilpailujen keskinopeudet ovat kasvaneet merkittävästi (kuvio 1). Myös hiihtotekniikat ovat

hioutuneet ja muuttaneet muotoaan. Ylävartalon voimatason merkitys kummallakin tyylillä on korostunut selvästi. Aiemmin tärkeimpänä potentiaalisen menestyksen mittarina käytetty hapenotto-kyky on edelleen hyvin tärkeässä roolissa, mutta myös riittävän lihaskunnan merkitys on viime vuosina alettu ymmärtää.



KUVIO 1. 15 km perinteisen ja luisteluhiihdon, sekä juoksun 10 000 metrin olympiavoittajien keskivauhdit miesten sarjoissa vuosina 1976 – 2018 (Sandbakk & Holmberg 2014 mukailten).

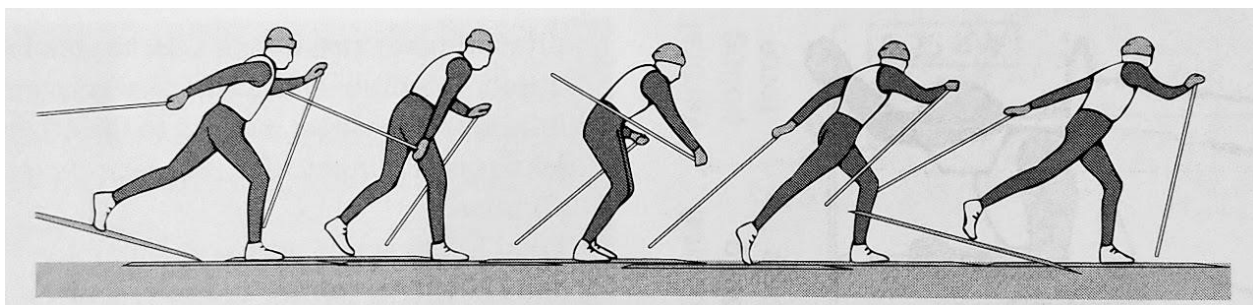
Suuri suhteellinen lihasmassa ja pieni rasvaprosentti korreloivat suoraan perinteisen hiihdon huippuvauhtiin, etenkin tasatyönnössä. Kehon mittasuhteet eivät kuitenkaan vaikuta suorituskykyyn, joten tavoiteltavat ominaisuudet ovat saavutettavissa harjoittelun myötä. (Stöggl ym. 2010.) Sukupuolten väliset erot suorituskyvyssä mies- ja naishihtäjillä eri tekniikoilla ovat sitä suuremmat, mitä enemmän työstä tehdään ylävartalolla kulloisellakin hiihtotekniikalla (Sandbakk ym. 2014).

2 PERINTEINEN HIIHTOTYYLI

Perinteinen hiihtotyyli jaetaan nykyään neljään eri alatekniikkaan. Lihastyötavaltaan perinteisen hiihto muistuttaa juoksua, sillä potkut ovat teräviä ja nopeita ja raajojen liike suuntautuu kohtisuoraan eteen ja taakse. (Smith 2003, 38.) Myös muita alatekniikoita, kuten 4-vaiheinen vuorohiihto, on ollut, mutta ne ovat jääneet pois käytöstä muun muassa hiihtovälineiden kehittymisen ja latujen koneellisen kunnossapidon myötä (Kataja 1996, 34).

2.1 Vuorohiihto

Vuorohiihdossa vastakkaisten puolien käsi ja jalka tekevät yhtä aikaa työtä ja vartalon asento on eteenpäin hyökkäävä. Liike muistuttaa hyvin paljon kävelyä ja juoksua, mutta suksen liukua hyödyntämällä liikesykli saadaan pitemmäksi (kuva 1). Vuorohiihtoa käytetään tasaisella ja ylämäessä. Mäen jyrkentyessä suksen liuku ja sauvatyöntö lyhenevät ja vartalon asento nousee pystympään. (Ojanen 2014, 46 - 47).



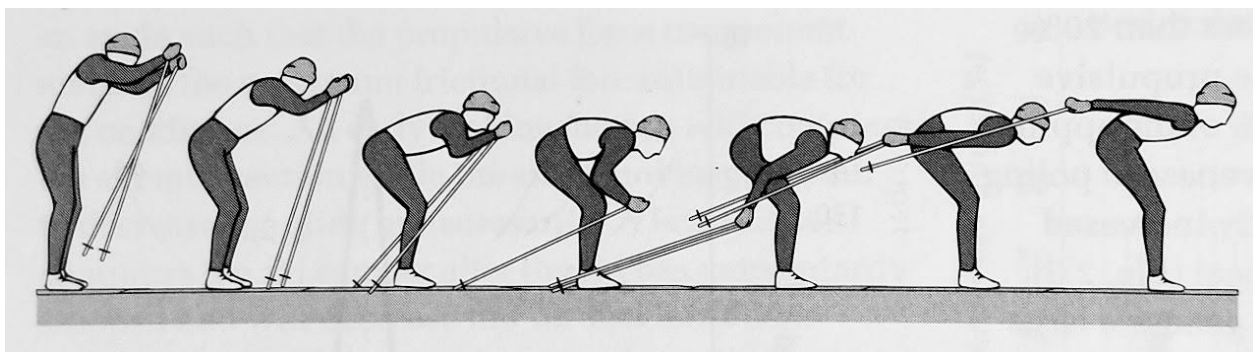
KUVA 1. Vuorohiihtosyklin puolikas (Smith 2003, 38).

Vuorohiihdossa hiihtäjä tuottaa voimaa alustaa kohden sekä suksien, että sauvojen kautta. Liukuvaiheen lopuksi sukki pysähtyy ja välittömästi seuraa terävä potku. Potkun tuottamasta voimasta suurin osa suuntautuu vertikaalisesti alustaa kohden, jolloin suksen voidepesä saadaan sulkeutumaan ja pitovoiteen ja alustan välisen kitkan avulla tuotetaan eteenpäin vievä voima. Potkun hyötysuhde on riippuvainen suksen profiilista, voitelmasta ja olosuhteista. Sauvojen kautta tuotettavan eteenpäin vievän voiman suuruus on riippuvainen sauvan kulmasta suhteessa

alustaan. Kun sauva työntön aikana kallistuu pystysuorasta lähemmäs vaakatasoa, eteenpäin vievä voima kasvaa huomattavasti. Sekä työntössä, että potkussa voidaan hyödyntää venymislyhenemissykliä voimantuoton parantamiseksi. Ylämäessä käsien voimantuoton osuus suhteessa jalkoihin kasvaa suoraan verrannollisena mäen jyrkkyyteen. (Smith 2003, 38 – 42).

2.2 Tasatyöntö

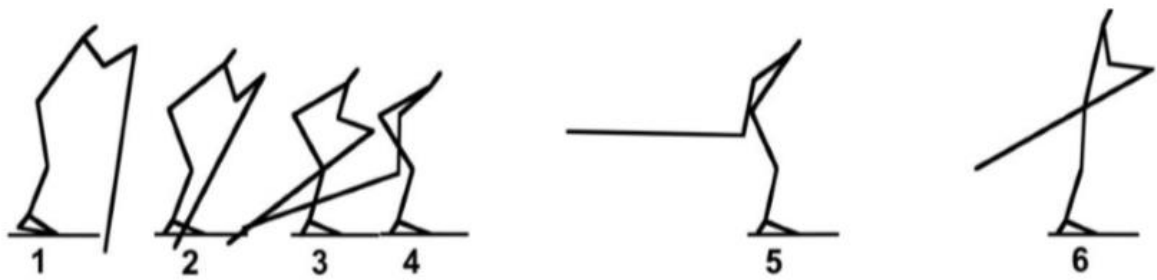
Aiemmin tasatyöntö suoritettiin lähes kokonaan käsien ja ylävartalon avulla (Smith 2003, 42) (kuva 2), mutta itse tekniikan ja hiihtotutkimuksen kehittyttyä tiedetään nykyään, että tasatyöntössä myös jalat ovat merkittävässä roolissa voimantuotossa (Holmberg ym. 2005) (kuva 3).



KUVA 2. Klassinen, syvä tasatyöntösykli pitkällä saatolla (Smith 2003, 42).

Yksi tärkeimmistä tekijöistä tehokkaan työntön aikaansaamiseksi on vartalon massakeskipisteen nostaminen mahdollisimman ylös ennen työntövaihetta. Etenkin jyrkässä ylämäessä massakeskipisteen sijainnin merkitys korostuu ja esimerkiksi kantapäiden nousukorkeus on suoraan verrannollinen saavutettuun huippuvauhtiin. Ylämäessä myös työntöjen sykliäiheys kasvaa ja syklin pituus lyhenee. (Stöggl & Holmberg, 2016.)

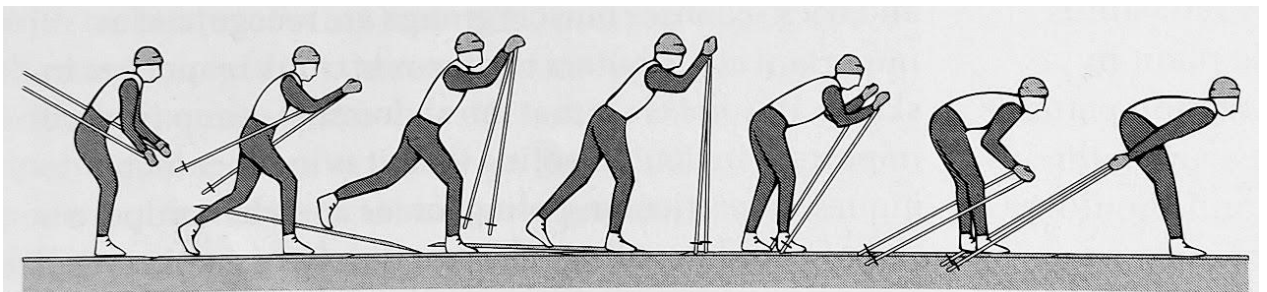
Tasatyöntöä sovelletaan myös yksipotkuisessa luistelussa, eli niin sanotussa Wassberg-tekniikassa (V2) yhdessä luistelupotkujen kanssa. Jalkojen lihastyön avulla maksimivauhdissa saavutetaan tasatyöntöön verrattuna pienempi frekvenssi, sekä lähes kolmanneksen pidemmät syklit ja sitä myötä 14 % kovempi vauhti, toisaalta hapenotontarve kasvaa myös jonkin verran. (Sandbakk ym. 2015.)



KUVA 3. Moderni tasatyöntösykli lyhyellä käsisaatolla ja pystymmällä selkäkulmalla (Holmberg ym. 2005).

2.3 Yksipotkuinen tasatyöntö

Yksipotkuisessa tasatyönnössä sauvojen työntövaiheen jälkeen suoritetaan potku toisella jalalla (kuva 4). Yleensä potkaisevaa jalkaa vuorotellaan jokaisen työnnön jälkeen. Yksipotkuisella tasatyönnöllä ei kuitenkaan voida saavuttaa samoja sykliätiheyksiä kuin tasatyönnössä. (Smith 2003, 44.)



KUVA 4. Yksipotkuinen tasatyöntösykli (Smith 2003, 44).

Yksipotkuisessa tasatyönnössä on tärkeää hallita liikesyklin oikea rytmitys, sillä muutoin tekniikan hyötysuhde kärsii. (Kataja 1996, 42). Tavoitteena on saada liukuvaihe mahdollisimman pitkäksi, jolloin oikean rytmin löytäminen helpottuu. Osa hiihtäjistä kompensoi puutteellista ylävartalon voimantuottoa käyttämällä yksipotkuista tasatyöntöä potkuttoman tasatyönnön sijaan. (Anttila & Roponen 2008, 87.)

2.4 Haarakäynti

Haarakäynti on vuorohiihdon kaltainen ylämäkitekniikka, jossa sukset ei liu'u. Sukset ovat koko kontaktiajan sisäkantillaan ja sekä potku, että työntö suuntautuvat enemmänkin sisältä ulos, kuin suoraan taaksepäin (kuva 5). Haarakäyntiä käytetään, kun vuorohiihdolla ei päästä mäkeä ylös, esimerkiksi maastonkohdan jyrkkyydestä, ladun kunnosta tai riittämättömästä pidosta johtuen. (Kataja 1996, 51 – 52.)



KUVA 5. Haarakäyntiasento (Ojanen 2014, 45).

Suksien välistä kulmaa muutetaan mäen jyrkkyyden ja pidon mukaan niin, että se pysyisi kuitenkin mahdollisimman kapeana. Askeleeseen haetaan lisäpituutta kurottamalla nilkkaa eteenpäin. (Ojanen 2014, 45.)

3 TASATYÖNTÖTEKNIIKAN KEHITYS JA TUTKIMUS

Tasatyönnön kehitys viimeisen kahdenkymmen vuoden aikana on havaittavissa hiihdon tekniikkaoppaissa. Suomen hiihtoliiton oppaassa Maastohiihto – tekniikat ja välineet (Kataja 1996, 37) todetaan seuraavaa:

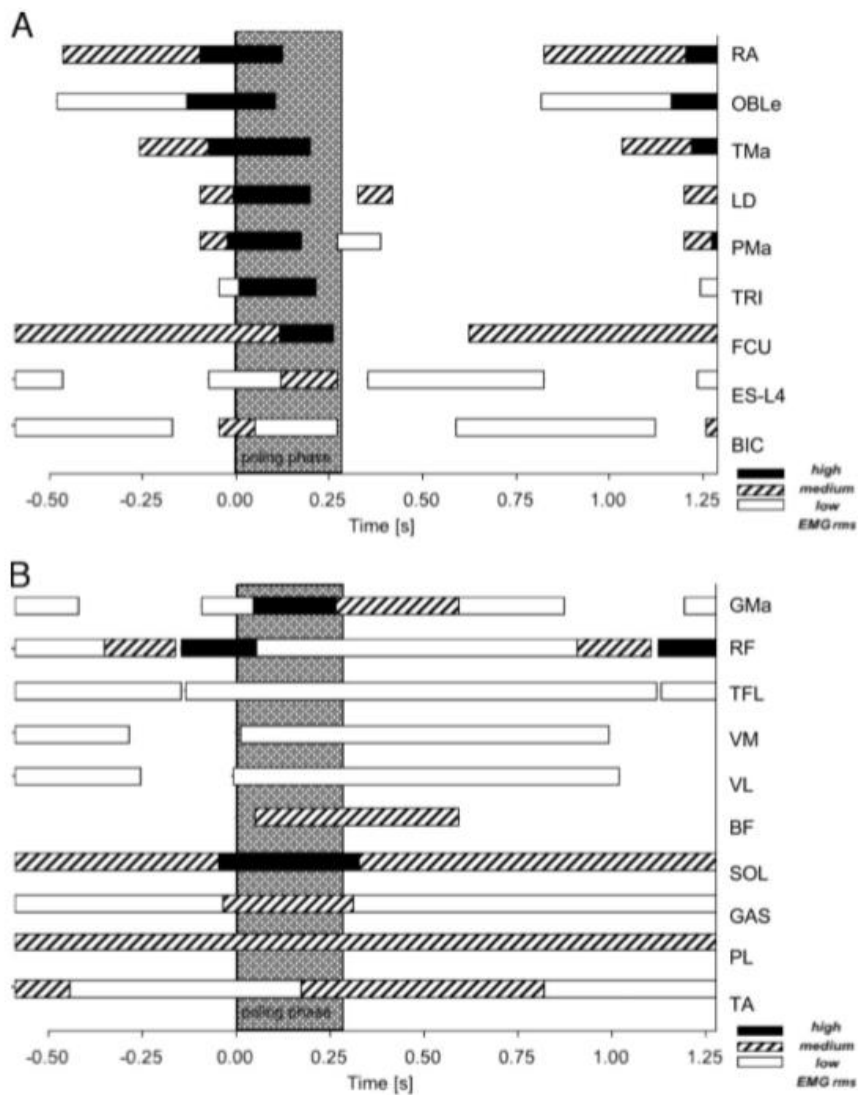
”Tasatyöntö on nopein perinteisen hiihdon etenemismuoto. Toisaalta se kuluttaa hiihtäjän voimia erittäin paljon ja siksi se soveltuu kiihdytyksiin ja kilpailuissa loppukiriin.”

Oppaassa kuvataan aikakauden oikeaoppinen, syvä ja pitkäsaattainen tasatyöntösykli, mutta mainintaan myös niin sanottu pumpputasatyöntö, jota voidaan käyttää, kun vauhtia on saatava lisättyä äkillisesti. Pumpputekniikassa kyynärkulma on pienempi, sauvakulma jyrkempi ja jalvoja käytetään tehostamaan liikettä. Teoksessa Kaikki hiihdosta (Anttila & Roponen 2008, 80 – 85) pumpputasatyöntö on nimetty sprinttitasatyönnöksi (sprinttihiihto tuli arvokisaohjelmaan vuonna 2001) ja kritisoidaan, kuinka se on alkanut syrjäyttää klassisen tasatyönnön myös normaalimatkoilla muutenkin kuin loppukireissä. Kirjassa Kehity hiihtäjänä (Ojanen 2014, 50 – 51) klassista tasatyöntöä ei enää edes mainita, vaan de facto tasatyöntötekniikka on moderni versio pumpusta, jossa jalat ovat aktiivisesti mukana ja voima tuotetaan tehokkaina sykäyksinä, joita seuraa pitkä, palauttava liukuvaihe.

Hiihtovauhti on riippuvainen sekä hiihtäjän, että välineiden ominaisuuksista. Vauhtiaan kasvatukseen hiihtäjän on tuotettava suurempi voima, kuin liikettä vastustavat voimat, kuten ilmanvastus ja kitka. Vauhti pysyy vakiona, jos tuotettu voima ja vastustavat voimat ovat yhtä suuret ja vastaavasti vauhti hiipuu, jos vastustavat voimat ovat suurempia. Hiihtäjä voi lisätä vauhtiaan joko tihentämällä sykliä (eli kasvattamalla frekvenssiä) tai pidentämällä syklin pituutta. (Ohtonen & Mikkola 2016, 493.)

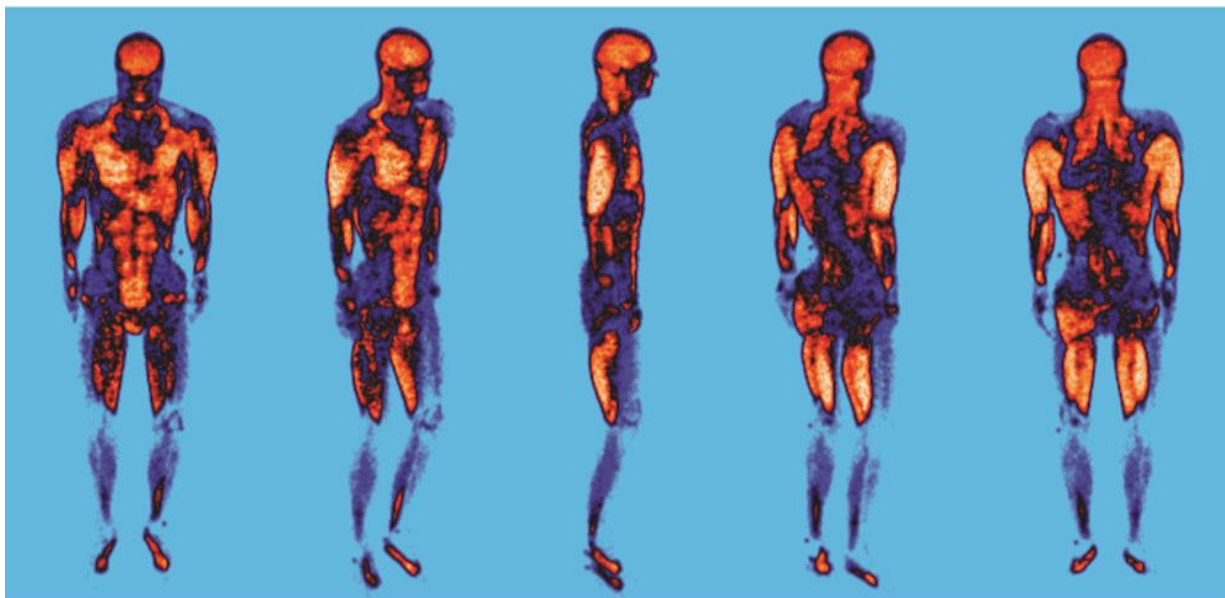
Yksi tasatyöntösykli koostuu työntövaiheesta ja liukuvaiheesta. Ennen työntöä hiihtäjä nousee päkiöilleen nostaakseen massakeskipisteensä mahdollisimman ylös. Tämän jälkeen painopiste tiputetaan nopeasti alas ja voima välitetään alustaan sauvoja pitkin. Sauvojen iskeydyttyä alustaan seuraa ketjutettu lihastyö, johon osallistuvat sekä ylä-, että alavartalon lihakset (kuvio 2).

Sauvojen iskeytyessä maahan voidaan havaita voimapiikki, joka ei kuitenkaan vie hiihtäjää eteenpäin vaan johtuu yksinomaan sauvan iskuvaikutuksesta. Sen sijaan sauvojen kallistuessa kohti vaakatasoa, tulee toinen, impulssiltaan huomattavasti suurempi voimantuottovaihe, joka on varsinainen eteenpäin vievä tekijä (kuvio 3). Onkin tärkeää, että suurin voima saadaan tuotettua pienemmillä sauvakulmilla. Näin voima kohdistuu alustaan nähden enemmän horisontaalisesti kuin vertikaalisesti ja vie hiihtäjää tehokkaammin eteenpäin. (Holmberg ym. 2005).



KUVIO 2. Tasatyöntösykliin osallistuvat ylä- (A) ja alavartalon (B) lihakset EMG-datan perusteella. Sauvojen työntövaihe on kuvattu harmaalla osalla. (Holmberg ym. 2005).

Tasatyöntöön osallistuvia lihaksia on tutkittu myös positroniemissiotomografian (PET) avulla (kuva 6). Tekniikalla saadaan kuvannettua kunkin lihaksen käyttämän glukoosin määrää ja sen myötä tasatyönnössä käytettävät lihakset, joista tärkeimmät olivat triceps brachii, latissimus dorsi, teres major ja pectoralis-lihakset, sekä deltoideuksen takaosa. (Bojsen-Møller ym. 2010).



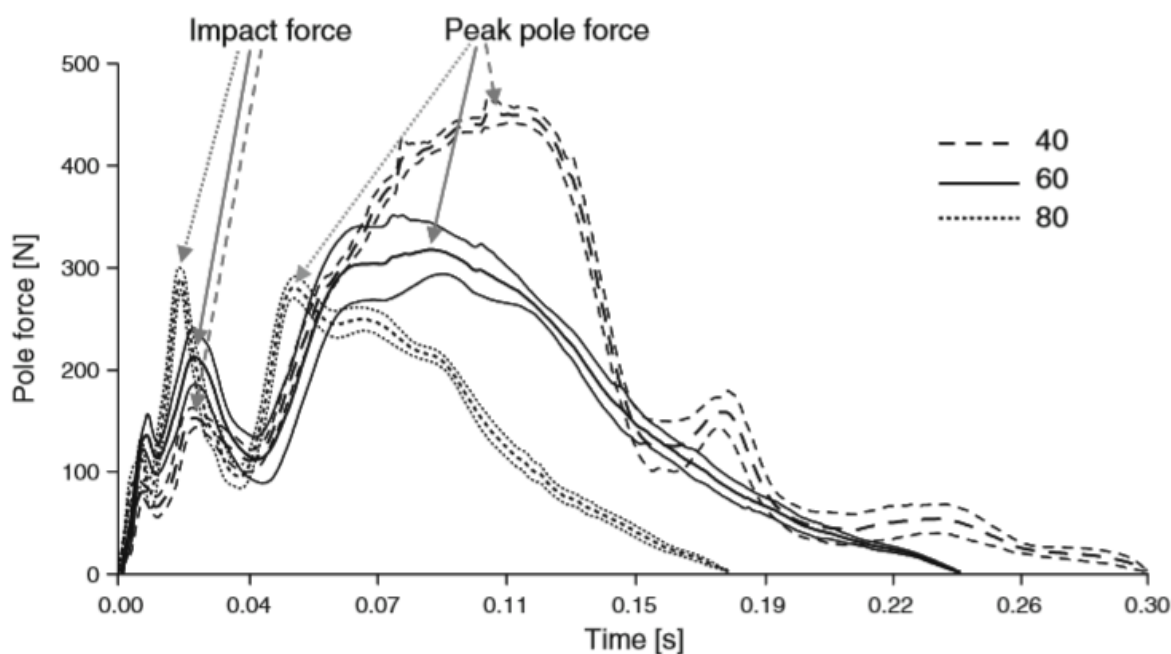
KUVA 6. Tasatyönnössä käytettävät lihakset glukoosin käytön perusteella. Huomattavaa on muun muassa takareisien voimakas käyttö. (Bojsen-Møller ym. 2010.)

Holmberg ym. (2005) tunnistivat huippuhiitäjillä kaksi erilaista tasatyöntötapaa. Nopeammat hiihtäjät hiihtivät niin sanotusti ”kynärpäät leveällä”, kun taas hitaammat hiihtäjät hiihtivät kynärpäät lähellä vartaloa. Leveällä asennolla hiihtävillä kynärpään ja lantion nivelkulmat olivat pienempiä, joka johti sauvojen pystympään asentoon työntövaiheen alussa. Näin pystytettiin tuottamaan suurempi huippuvoima työnnön alussa. Vaikka voimantuottoaika oli leveän asennon hiihtäjillä lyhyempi, oli voimaimpulssi kuitenkin kokonaisuutena suurempi, kuin kapean asennon hiihtäjillä.

Hiihdossa pelkkä raaka voima ei ole kaikki kaikessa, vaan hiihtäjän on osattava tuottaa voimaa oikea-aikaisesti liikesykliissä. Nopeammat hiihtäjät pystyvät koordinoimaan tekniikkaansa paremmin ja muuttavat hiihtotyylään maksimivauhdin lähestyessä. (Stöggl ym. 2011.) Huippu-

hiihtäjät pystyvät myös hyödyntämään venymis-lyhenemissykliä etenkin triceps brachii lihaksessa tuottaakseen suuremman voiman (Lindinger ym. 2009). Triceps brachiin lisäksi myös latissimus dorsi lihaksessa tapahtuvaa venymis-lyhenemissykliä voidaan hyödyntää etenkin kovissa vauhdeissa ja sen suuruus on suoraan verrannollinen tasatyön suorituskykyyn (Zoppi-rolli ym. 2013). Ylämäkeen hiihdetessä voimantuottoaika pitenee ja voimaimpulssi kasvaa, sekä massakeskipiste nousee ylemmäs ennen työntöä, kun taas sauvojen eteen heilautusvaihe lyhenee merkittävästi. Sauvavoimat suuntautuivat myös tehokkaammin, jolloin suurempi osa tuotetusta voimasta vei hiihtäjää eteenpäin. (Stöggli & Holmberg 2016.)

Lindinger ja Holmberg (2011) havaitsivat huippuhihtäjien tasatyönössä tuottaman sauvavoiman olevan riippuvainen työntöfrekvenssistä (kuvio 3). Korkealla taajuudella sauvat iskeytyvät maahan kovemmalla voimalla, mutta varsinainen eteenpäin vievä voimaimpulssi jää pienemmäksi ja työntövaihe lyhytkestoisemmaksi. Matalammilla taajuuksilla puolestaan hiihtäjällä on aikaa suorittaa työntö kunnolla ja tehokkaasti.



KUVIO 3. Sauvavoimat 40, 60 ja 80 työntön minuuttifrekvensseillä nopeudella 24 km/h (Lindinger & Holmberg 2011).

Ylävartalon pitkä- ja lyhytkestoinen tehontuotto korreloivat positiivisesti perinteisen tyylin yhteislähtökisan lopputuloksen kanssa (Alsobrook & Heil 2008). Ylävartalon tehontuottoa voidaan testata tasatyöntöergometrillä, mutta sen käyttö harjoitusmetodinä voi johtaa negatiivisiin muutoksiin syklinsisäisissä ajoituksissa (Horyna ym. 2016). Toisaalta juniorihiihtäjillä sekä voimaharjoittelu, että hiihtoergometriharjoittelu näyttäisi olevan suotuisaa tasatyönnön suorituskyvyn kannalta (Carlsson ym. 2017).

Väsymys sprinttihiihdon erävaiheiden myötä näkyy tasatyönnössä varsinkin kirikyvyn heikkenemisenä teknisten ja kinemaattisten muutosten seurauksena. Sauvojen kontaktaika pitenee, mutta itse työnnön pituus ei muutu. Lisäksi nivelkulmissa tapahtuu muutoksia: lantion fleksio vähenee ja sauvat jäävät pystympään kulmaan alustaan nähden, mikä johtaa heikentyneeseen työntövoimaan. (Zory ym. 2009.) Toisessa tutkimuksessa (Zoppirolli ym. 2016) kuitenkin havaittiin, että lyhytaikaisen väsymyksen myötä sauvojen ja kehon kinematiikka ei muuttunut, mutta sen sijaan sauvavoimat, syklin kokonaiskesto ja palautusvaiheen kesto pienenevät ja mitattu lihasväsymys, sekä koettu väsymys (RPE) kasvoivat.

4 VOIMAHARJOITTELU KESTÄVYYSURHEILUSSA

4.1 Voima- ja kestävyysharjoittelun yhdistäminen

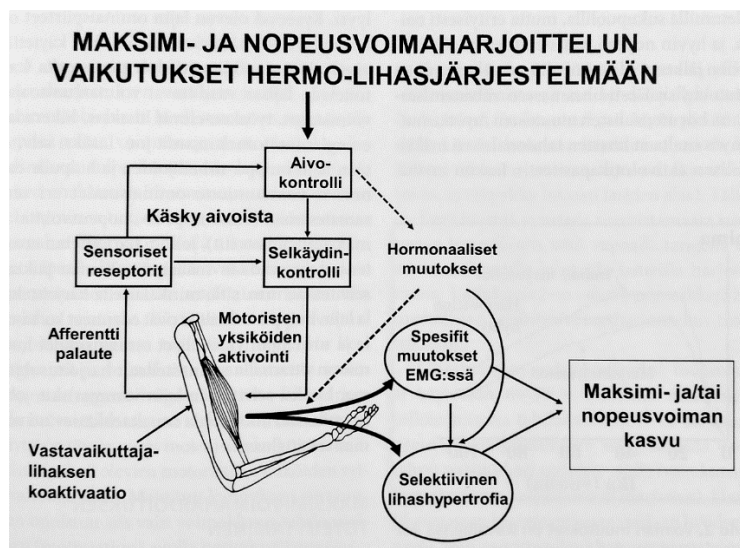
Vielä viime vuosisadan lopullakin voimaharjoittelua on pidetty kestävyysurheilijalle jopa haitallisena ja vastaavasti kestävyysharjoittelua haitallisena voimalajin urheilijalle. Joiltain osin näin onkin, mutta nykytietämyksen valossa voidaan todeta voimaharjoittelusta olevan enemmän hyötyä kuin haittaa myös kestävyyslajeissa. Edut tulevat esiin parempana tehontuottokynä, parantuneena taloudellisuutena, irtiottokyvyn kasvamisena, sekä vammojen ennalta ehkäisyssä. (Nummela & Häkkinen 2016, 284.)

Voimaharjoittelu on hyvä aloittaa opettelemassa suoritustekniikat ja vahvistamalla keskivartalon lihaksia. Näin saadaan tulevasta harjoittelusta kaikki hyöty irti ja loukkaantumisen riski pienenee. Aluksi on parempi keskittyä maksimivoiman kasvattamiseen, joka mahdollistaa myöhemmin tehokkaan nopeusvoimaharjoittelun. Kestävyyslajeissakin on pohjimmiltaan kyse nopeudesta, joten riittävän maksimivoimatason saavutettua on pyrittävä jalostamaan voima nopeudeksi. (Nummela & Häkkinen 2016, 284 – 287.)

Suurimmassa osassa tätä työtä varten tarkastelluissa tutkimuksissa on kestävyysurheilijoille tai -kuntoilijoille (mm. Johnston ym. 1997; Paavolainen ym. 1999; Millet ym. 2002; Mikkola ym. 2007), mutta myös ennestään harjoittelemattomille yksilöille teetetty joko maksimaalista tai räjähtävää voimaharjoittelua (mm. Hickson 1980; Häkkinen ym. 2002; Loveless ym. 2005; Shaw ym. 2009). Kumpikin harjoitusmuoto on osoittautunut kestävyysuorituksen kannalta edullisiksi, kun taas puhtaan voimantuoton kannalta keskittyminen pelkkään voimaharjoitteluun ilman kestävyysharjoittelua olisi ollut tehokkaampaa. Tässä työssä näkökulma on kuitenkin nimenomaan kestävyysuorituksen parantaminen oheisharjoittelun kautta.

Voimaharjoittelu vaikuttaa koko hermolihasjärjestelmän jokaiseen osa-alueeseen (kuvio 4). Eri tyyppisillä harjoitteilla voidaan harjoittaa tehokkaammin tiettyjä osa-alueita. Voimaharjoittelu aiheuttaa elimistössä aina sekä akuutteja, että pitkäaikaisia vasteita. Jo harjoituksen aikana her-

molihäsjärjestelmään tulee väsymystä, joka näkyy maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen (MVC) heikkenemisenä ja maksimivoimatason väliaikaisena laskuna. (Kraemer & Häkkinen 2006, 20 – 21.)



KUVIO 4. Voimaharjoittelun vaikutukset hermolihasjärjestelmään (Kraemer & Häkkinen 2006, 20).

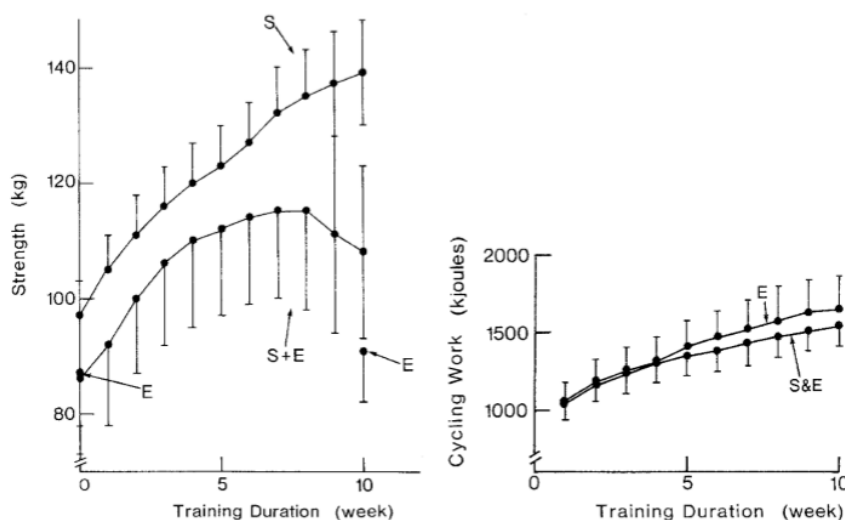
Maksimaalisella voimaharjoittelulla pyritään lisäämään voimaa ensisijaisesti joko kasvattamalla lihaksen kokoa (hypertrofia) tai tehostamalla lihaksen hermostollista suorituskykyä. Hypertrofia voidaan todeta esimerkiksi tarkastelemassa lihaksen poikkipinta-alaa. Neuraaliset vasteet voidaan puolestaan havaita voiman ja EMG-aktiivisuuden kasvuna, vaikka kehon massa ja lihasten koko olisi pysynyt samana. Varsinkin voimaharjoittelun ensimmäisinä viikkoina voiman kasvu johtuu lähes yksinomaan neuraalisista adaptaatioista, jolloin motoristen yksiköiden rekrytointi paranee ja syttymistiheys kasvaa. Näin lihaksen voimapotentiaali saadaan tehokkaammin hyödynnettyä. Hypertrofiaa alkaa esiintyä merkittävässä määrin vasta, kun voimaharjoittelua on jatkettu tarpeeksi pitkään. (McDonagh & Davies 1984.)

Hermostolliset vaikutukset eivät rajoitu vain motorisiin yksiköihin, vaan voimantuoton kannalta edullisia muutoksia tapahtuu myös supraspinaalisella tasolla, eli aivoissa (Aagaard ym. 2002). Vaikka yleisesti saatetaan ajatella hypertrofian aikaansaamisen olevan naisilla vaikeam-

paa, näyttäisi kuitenkin siltä, että suhteelliset muutokset voimassa ja lihasten koossa ovat samanlaisia sukupuolesta riippumatta, kun noudatetaan samaa harjoitusohjelmaa (Cureton ym. 1988).

4.1.1 Harjoittelemattomat yksilöt

Harjoittelemattomilla yksilöillä yleensä kaikentyyppinen harjoittelu parantaa suorituskykyä, mutta he toimivat hyvin koehenkilöinä tutkimuksissa, joissa pyritään saamaan eri harjoitusmetodien vaikutuksia esiin. Hickson (1980) jakoi harjoittelemattomat koehenkilöt kolmeen ryhmään, joista yksi suoritti vain voimaharjoittelua, toinen vain kestävyysharjoittelua ja kolmas kumpaakin. Voimaharjoitteluryhmän voima kasvoi, mutta maksimaalinen hapenotto ei kasvanut 10 viikon harjoitusjakson aikana, kun taas kestävyysharjoitteluryhmän voimatasot eivät kasvaneet, ja maksimihapenottokyky parani. Yhdistelmäryhmä paransi hapenottokykyään yhtä paljon kuin kestävyysryhmä, ja paransi voimatestien tuloksia seitsemännelle viikolle saakka (kuvio 5), kunnes kehitys pysähtyi ja jopa hieman taantui kahden viimeisen viikon aikana. Toisin sanoen voimaharjoittelusta ei ollut haittaa kestävyysominaisuuksien kehittymiselle, mutta kestävyysharjoittelu vaimensi voimaharjoittelun vaikutusta.



KUVIO 5. Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu (S+E) vaimentaa voimaharjoittelun vaikutuksia pelkkään voimaharjoitteluun (S) verrattuna. Pelkkään kestävyysharjoitteluun (E) verrattuna erot kestävyys suorituksessa ovat kuitenkin melko pienet. (Hickson 1980.)

Shaw ym. (2009) eivät kuitenkaan löytäneet näyttöä siitä, että 16 viikon yhtäaikainen vastus- ja kestävyysharjoittelu olisi epäsuotuisampaa voiman kasvun osalta kuin pelkkä vastusharjoittelu. Tutkimuksessa koehenkilöt eivät olleet ennestään fyysisesti aktiivisia. Mikkola ym. (2012) totesivat 21 viikon yhtäaikaisen voima- ja kestävyysharjoittelun olevan harjoittelemattomilla miehillä lihaskasvun, maksimivoiman ja kestävyuden kehityksen kannalta parempi vaihtoehto, kuin joko pelkkä voima- tai kestävyysharjoittelu. Yhdistelmäharjoittelu kuitenkin heikensi räjähtävän voimantuoton kehitystä. Häkkinen ym. (2002) eivät löytäneet merkkejä siitä, että yhtäaikainen voima- ja kestävyysharjoittelu olisivat epäedullisia lihaskasvun kannalta. Sen sijaan tässäkin tapauksessa räjähtävä voimantuotto verrattuna vain voimaharjoittelua tehneeseen ryhmään ei ollut kehittynyt 21 viikon harjoitusjakson aikana. Tutkimuksessa käytettiin suhteellisen alhaisia viikoittaisia harjoitusmääriä. Eräässä tutkimuksessa niin ikään harjoittelemattomien yksilöiden pyöräilyn taloudellisuus parani merkittävästi kahdeksan viikon jalkojen maksimivoimaharjoittelun (kolme harjoituskertaa viikossa) seurauksena. Mielenkiintoisesti jalkojen rasvaton massa kasvoi vain harjoitusjakson neljän ensimmäisen viikon aikana, kun taas 1 RM kasvoi koko harjoitusjakson ajan. (Loveless ym. 2005.)

4.1.2 Ennestään harjoitelleet yksilöt

Ennestään harjoitelleilla yksilöillä tehdyissä tutkimuksissa tulokset ovat olleet samansuuntaisia kuin harjoittelemattomillakin. Mikkola ym. (2007) havaitsivat yhtäaikaisen kestävyysharjoittelun ja räjähtävän voimaharjoittelun parantavan nuorten kestävyysjuoksijoiden aerobista ja neuromuskulaarista suorituskyykyä. Tutkimuksessa koeryhmän harjoittelusta 19 % koostui räjähtävästä voimaharjoittelusta. Anaerobinen maksimivauhti, sekä 30 metrin juokсутestin tulokset paranivat, kun taas hapenotto ja taloudellisuus pysyivät muuttumattomina sekä harjoitus-, että kontrolliryhmissä. Rønnestad ym. (2011a) suorittivat tutkimuksen, jossa pyöräilijöiden yhtäaikaisen voima ja kestävyysharjoittelun todettiin parantavan maksimivoimaa, kasvattavan lihaksen poikkipinta-alaa ja parantavan kyykkyhypyn tulosta, mutta suhteessa vähemmän kuin vain voimaharjoittelua suorittavalla ryhmällä. Lisäksi huippuvoimantuotonopeus ei yhdistelmäharjoitteluryhmällä kasvanut, kun taas vain voimaharjoittelua tehneillä se kasvoi.

Taipale on tarkastellut eri voimaharjoitustapojen vaikutusta kestävyysjuoksijoiden suorituskykyyn useissa tutkimuksissa (Taipale ym. 2010; Taipale ym. 2013; Taipale ym. 2014). Maksimaalisen ja räjähtävän voimaharjoittelun todettiin parantavan voiman ja neuromuskulaarisen suorituskyvyn lisäksi juoksuvauhtia maksimaalisen hapenoton tasolla, sekä juoksun taloudellisuutta. Kuntopiiriharjoittelun vaikutukset juoksuun olivat huomattavasti vähäisemmät. (Taipale ym. 2010.) Sillä, suoritetaanko voimaharjoittelu maksimaalisena, räjähtävänä tai näiden yhdistelmänä ei vaikuttaisi olevan väliä, vaan kaikki paransivat juoksun huippuvauhtia ja anaerobista kynnysvauhtia (Taipale ym. 2013). Yhdistetty maksimaalinen ja räjähtävä vastusharjoittelu näyttäisi olevan kuntojuoksijoiden yleiskunnon kannalta tehokkaampaa kuin kehonpainoharjoittelu. Parempi yleiskunto puolestaan voi mahdollistaa suuremmat kestävyysharjoittelumäärät (Taipale ym. 2014), mikä korostaa oikeanlaisen oheisharjoittelun merkitystä.

Pitkän matkan naisjuoksijoiden juoksun taloudellisuus sekä ylä- ja alavartalon maksimivoima kasvoivat merkittävästi 10 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun seurauksena. Kontrolliryhmä suoritti vain kestävyysharjoittelua, eikä merkittäviä muutoksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä tai kehon koostumuksessa havaittu kummallakaan ryhmällä. (Johnston ym. 1997.) Paavolainen ym. (1999) havaitsivat yhdeksän viikon harjoitusohjelman, jossa 32 % kokonaisharjoitusajasta korvattiin lajinomaisella räjähtävällä voimaharjoittelulla, parantavan aikuisten maastojuoksijoiden viiden kilometrin testijuoksun loppuaikaa VO_{2max} -arvojen pysyessä muuttumattomina. Voimaharjoittelu näin ollen paransi suorituksen taloudellisuutta. Myös Millet ym. totesivat tutkimuksessaan (2002) raskaan vastusharjoittelun parantavan juoksijoiden maksimivoimaa ja juoksun taloudellisuutta ilman suurta vaikutusta maksimaalisen hapenotto-kykyyn. Støren ym. (2008) tekivät vastaavia havaintoja tutkimuksessa, jossa kahdeksan viikon maksimaalinen voimaharjoittelu paransi hyvin harjoitelleiden kestävyysjuoksijoiden suorituksen taloudellisuutta ja pidensivät testin loppuaikaa ilman muutoksia hapenottokykyyn tai kehon massaansa. Näyttäisikin siltä, että sekä räjähtävä, että maksimivoimaharjoittelu ovat edullisia suorituskyvyn kannalta ja urheilijan kannattaakin valita sopiva harjoitusmuoto sen mukaan, mikä vaihe harjoittelukaudesta on menossa.

Vaikuttaisi myös siltä, että yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoituksen suoritusjärjestyksellä on vaikutusta hormonivasteeseen etenkin miehillä. Jos voimaharjoitus suoritetaan ennen kestä-

vyösharjoitusta, aiheuttaa se kortisolin määrän kohoamisen heti harjoituksen jälkeen ja vastaavasti testosteronipitoisuuden laskun jopa 48 tunnin ajaksi. Käänteisessä järjestyksessä suoritettujen harjoitusten jälkeen negatiiviset hormonivasteet olivat huomattavasti vaimeammat. (T Taipale & Häkkinen 2013.)

Voimaharjoittelusta voi saada hyötyä myös suhteellisen pienillä viikoittaisilla harjoitusmäärillä, kunhan harjoitustapa on oikeanlainen. Sunde ym. (2011) totesivat kahdeksan viikon hermostollisen maksimivoimaharjoittelun parantavan pyöräilijöiden suorituksen taloudellisuutta submaksimaalisessa suorituksessa ilman, että kehon paino olisi noussut merkittävästi tai hapenotto kyky heikentynyt. Myös uupumisaika piteni ja maksimaalinen aerobinen teho kasvoi. Tutkijat suosittelivat tulosten perusteella sekä kilpa-, että harrastepyöräilijöille 4 x 4 RM puolikykyharjoitusta 2 – 3 kertaa viikossa. Rønnestad ym. (2011b) havaitsivat 12 viikon jalkakyykyharjoittelun kahdesti viikossa lisäävän puolikykyyn maksimivoimaa (1 RM), sekä laskevan pyöräilijöiden hapenkulutusta, sykettä, veren laktaattipitoisuutta ja koettua väsymystä 185 minuutin submaksimaalisen harjoituksen viimeisen 60 minuutin aikana enemmän kuin vain kestävyysharjoittelua suorittaneella kontrolliryhmällä. Lisäksi pitkän harjoituksen jälkeen suoritettussa viiden minuutin maksimaalisessa pyöräilytestissä keskimääräinen tuotettu teho kasvoi voimaharjoitteluryhmällä keskimäärin 29 W ($371 \pm 9 \rightarrow 400 \pm 13$ W), kun taas kontrolliryhmällä ei havaittu muutosta tehontuotossa.

Bishop ym. (1999) eivät kuitenkaan havainneet muutosta naispyöräilijöiden 60 minuutin kestävyystestissä 12 viikon alaraajojen voimaharjoittelun jälkeen. Jalkojen 1RM tulos kyllä kasvoi, mutta muissa muuttujissa ei havaittu muutoksia. Bishop pohtii tuloksen poikkeavuuden suhteessa muihin tutkimuksiin johtuvan alhaisemmasta voimaharjoittelun kokonaisvolyymista. Kyseisessä tutkimuksessa harjoitteluryhmä suoritti viisi 2-8RM sarjaa kahdesti viikossa, kun taas aiemmissa tutkimuksissa (esim. Hickson ym. 1988) saattoi voimaharjoittelun viikoittainen volyyymi olla jopa kolminkertainen. Kyseisessä Hicksonin tutkimuksessa havaittiin voimaharjoittelun parantavan lyhytkestoisen (4 – 8 min) suorituksen loppuaikaa juosten ja pyöräillessä, sekä uupumukseen saakka suoritettussa pyöräilytestissä. 10 km juoksutestissä tulokset olivat kuitenkin epämääräisiä.

Aiempien tutkimusten perusteella vaikuttaisi siltä, että voimaharjoittelun hyödyt tulevat kestävyysurheilijalle erityisesti suorituksen taloudellisuuden kehittymisen kautta. Vaikka osa kestävyysharjoittelusta korvattaisiinkin voimaharjoittelulla, voi suorituskyky kokonaisuutena silti parantua huomattavasti. Todennäköisesti voimaharjoittelun oikealla jaksotuksella onkin merkittävä rooli haettaessa parasta suorituskykyä. Aagaard & Andersen (2010) tarkastelivat meta-tutkimuksessaan yhtäaikaisen voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia huippu-urheilijoiden suorituskykyyn ja totesivat voimaharjoittelulla saavutettavan etua niin lyhyt- kuin pitkäkestoisissa kestävyys suorituksissa. Beattie ym. päätyivät samansuuntaiseen johtopäätökseen meta-tutkimuksessaan (2015), jossa kahdenkymmenenkuuden eri tutkimuksen perusteella todettiin voimaharjoittelun parantavan kestävyys suorituksen loppuaikaa, taloudellisuutta, maksimikestävyyttä, sekä anaerobista tehoa. Kaikissa tarkastelluissa tutkimuksissa koehenkilöt olivat ennestään harjoitelleita. Voimaharjoittelu on siis hyödyllistä myös pitempään harjoitelleelle yksilölle, eikä kyseessä näyttäisi olevan vain ilmiö, jossa käytännössä kaikenlainen harjoittelu parantaa harjoittelemattoman yksilön suorituskykyä.

4.2 Voimaharjoittelu maastohiihdossa

Maastohiihdon kilpailukauden ajoittuminen marras – maaliskuuhun, sekä kovan tehoharjoittelun tekeminen syys – lokakuussa johtavat käytännössä siihen, että pitempi lihaskasvuun tähtäävä voimaharjoitusjakso voidaan toteuttaa häiriöittä vain kesän aikana, kun kilpailukauden jälkeinen palautumisjakso on ohi. Tällöinkin suuret, matalatehoiset kestävyys harjoitusmäärät voivat vaikuttaa voimaharjoittelun tuloksiin ja toisin päin. Kilpailu- ja tehokausilla voidaan suorittaa ylläpitävää ja hermostollista voimaharjoittelua. (Ohtonen & Mikkola 2016.)

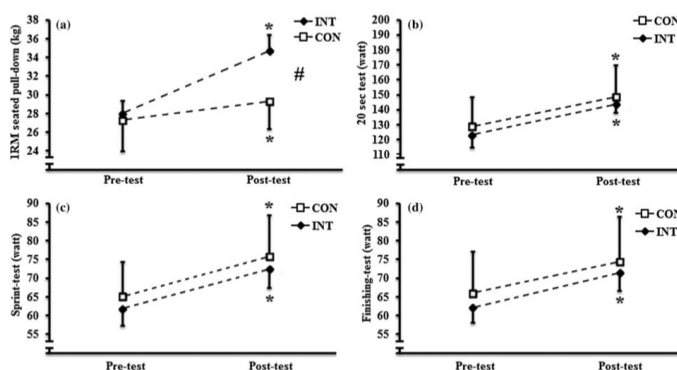
Hoff ym. tutkivat ylävartalon voimaharjoittelun vaikutuksia huippunaishiihtäjien tasatyöntöön (1999). Yhdeksän viikon harjoitusjakson jälkeen voimaharjoitteluryhmän testin keskimääräinen loppuaika oli parantunut 5,2 → 12,3 minuuttiin ja kontrolliryhmän 4,0 → 6,3 minuuttiin. Tässäkin tutkimuksessa voimaharjoittelulla ei havaittu merkittävää vaikutusta maksimaalisen hapenotto kykyyn. Samansuuntaisia tuloksia saatiin myös toisessa tutkimuksessa (Losnegard ym. 2011), jossa 12 viikon voimaharjoittelu normaalin harjoitusohjelman ohessa lisäsi voimaa ylä- ja alavartalossa, mutta alaraajojen lihasten poikkipinta-ala ei juurikaan kasvanut. Myös luisteluhiihdon ja tasatyöntön suorituskyky paranivat rullasuksilla hiihdetyissä testeissä. Niin

ikään suurempi ylävartalon tehontuottokyky korreloi suoraan kilpailusuorituksen hiihtovauhdin kanssa (Gaskill ym. 1999).

Huippuhiittäjiä triceps brachii lihaksella on samanlainen vaste voimaharjoittelulle, kuin jalkojen lihaksilla. Voimaharjoittelun aikaansaama hypertrofia vaikuttaa erityisesti nopeisiin, tyypin IIa lihassoluihin, kun puolestaan hitaiden, tyypin I lihassolujen suhteellinen yhteispoikkipinta-ala voi jopa pienetä. Tasatyönnön suorituskyky on suoraan verrannollinen tyypin IIa solujen yhteenlaskettuun poikkipinta-alaan triceps brachii lihaksessa (Terzis ym. 2006.)

Kahdeksan viikon ylävartalon voimaharjoittelulla oli positiivinen vaikutus uupumukseen saakka suoritettussa tasatyöntötestissä, kun testiä edelsi 90 minuutin submaksimaalinen tasatyöntöharjoitus. Sen sijaan ilman pitkää harjoitusta ennen testiä ei merkittäviä eroja voimaharjoittelu- ja kontrolliryhmien välille syntynyt. Ylävartalon voimaharjoittelun edut näyttäisivät tulevankin esiin vasta suorituksen pidentyessä, kuten hiihdon normaalimatkoilla ja sitä pitemmissä suorituksissa. (Øfsteng ym. 2018.)

Nuorilla hiihtäjillä voimaharjoittelua on tutkittu jonkin verran. Skattebo ym. (2016) totesivat, että 10 viikon maksimivoimaharjoittelusta ei vaikuttanut merkittävästi nuorten naishiittäjiä (17 ± 1 vuotta) tasatyöntötehoon (kuvio 6). Testi tehtiin tasatyöntöergometrilla ja kolmen liikkeen voimaharjoitteluohjelma toteutettiin kahdesti viikossa lineaarisen mallin mukaan. Maksimivoima kuitenkin kasvoi harjoittelun myötä.



KUVIO 6. Voima- ja tasatyöntötestien muutokset. Ryhmien välille syntyi eroa ainoastaan voimamäärästä. (Skattebo ym. 2016.)

Nesser ym. (2004) toteavat puolestaan niin sanotun rullalautaharjoittelun (5 – 12 RM, räjähtävästi) olevan paras kehittämään juniorihiihtäjien ylävartalon tehontuottoa. Rullalauta on eräänlainen tasatyöntöergometri, jossa maataan mahallaan kelkan päällä ja kiskotaan narujen avulla kelkkaa kallistettua rataa pitkin ylöspäin, tasatyönnön omaisesti. Vertailuharjoittelumetodeina olivat kuntopiiri, vastusharjoittelu ja lajinomainen harjoittelu. Vastusharjoitteluun osallistuneista tytöistä kaikki keskeyttivät harjoitusjakson.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Maastohiihdon keskimääräiset kilpailuvauhdit ovat kasvaneet enemmän kuin minkään muun olympialaisten ohjelmaan kuuluvan kestävyyslajin. Jotta aina kovempia vauhteja voidaan saavuttaa, asettaa se uusia vaatimuksia urheilijoiden suorituskyvyille. Aiemmin tärkeimpänä menestyksen mittarina käytetty maksimaalinen hapenottokyky ei enää ole kaikki kaikessa. Koska suurin osa maastohiihdon kilpailumatkoista hiihdetään nykyään yhteislähtöinä, ratkaistaan yhä useammin kilpailun voitto vasta viime hetkillä. Tällöin parhaan irtiottokyvyn omaava urheilija on vahvoilla. Jotta irtiotto onnistuisi, tarvitaan etenkin perinteisellä tyyllillä hyvä ylävartalon tehontuotto, eli yksinkertaistettuna paljon voimaa.

Kirjallisuuteen perehtymällä voidaan todeta maksimivoimaharjoittelun olevan hyödyksi maastohiihtäjille, mutta siitä, voidaanko tuloksia soveltaa myös nuoriin hiihtäjiin, on vaihtelevaa tietoa. Toisaalta voimaharjoittelusta ei ole katsottu olevan juuri lainkaan etua verrattuna lajinomaiseen harjoitteluun ja toisaalta sopivasta voimaharjoittelumenetelmästä on ristiriitaista tietoa. Aikuisten urheilijoiden kohdalla näyttö voimaharjoittelun eduista on melko kattavaa, oli kyseessä sitten maksimivoima tai niin sanottu räjähtävä voima.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ylävartalon kahdeksan viikon maksimivoimaharjoittelun vaikutuksia nuorten naishiihtäjien tasatyöntekniikan biomekaniikkaan ja suorituskykyyn. Tutkimus toteutettiin kokonaisuudessaan kesäharjoituskaudella 2017. Koska maastohiihdon kilpailukausi päättyy maaliskuussa – huhtikuussa ja tehoharjoittelukausi alkaa vasta syksyllä, pystyttiin voimaharjoittelun määrä pitämään riittävän korkeana ilman, että se haittasi kilpailamista ja vastaavasti tehoharjoitukset eivät haitanneet voimaharjoittelua.

Hypoteesina oli, että kumpikin ryhmä (voimaharjoitteluryhmä ja kontrolliryhmä) pysyisi loppumittauksessa pitempään matolla sekä maksiminopeutta mittaavassa lyhyessä, että kestävyyttä mittaavassa pitkässä mattotestissä. Oletuksena kuitenkin oli, että voimaharjoitteluryhmä parantaisi suoritustaan suhteessa enemmän kuin kontrolliryhmä. Lisäksi odotetavissa oli maksimivoimatasojen kasvaminen harjoitteluryhmällä, kun taas kontrolliryhmän oletettiin pystyvän ylläpitämään alkumittauksissa todettua taso.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Koehenkilöiksi valikoitui aluksi 11 naishiihtäjää, keski-ikänsä $21,7 \pm 3,9$ vuotta. Kullakin koehenkilöllä oli takanaan useampi vuosi harjoittelua ja kilpailua kansallisella tasolla nuorten sarjoissa, sekä vanhemmilla myös yleisessä sarjassa. Kaikki koehenkilöt saivat allekirjoitettavaksi kirjallisen suostumuslomakkeen, jossa kerrottiin tutkimuksessa käytettävät menetelmät ja niihin mahdollisesti liittyvät riskit. Alaikäisiltä koehenkilöiltä vaadittiin lisäksi huoltajan suostumus. Koehenkilöt olivat vapaita keskeyttämään osallistumisensa tutkimukseen missä vaiheessa tahansa. Kaikki koehenkilöt saivat suoritettua alkumittaukset ongelmitta, mutta loppumittauksista osa jäi suorittamatta terveydellisistä syistä (kaksi koehenkilöä) ja yksi laiterikkojen vuoksi. Lisäksi yhtä koehenkilöä ei tavoitettu loppumittauksia varten. Laiterikot saatiin korjattua vasta niin myöhään, että niiden vuoksi peruttua mittausta ei järjestetty uudelleen. Lopullinen koehenkilömäärä oli näin ollen seitsemän ($21,5 \pm 4,9$ vuotta, $168,0 \pm 4,0$ cm, $60,8 \pm 6,1$ kg, $n = 7$). Koehenkilöt jaettiin alkumittausten jälkeen kahteen ryhmään, joiden lopullinen kokoonpano keskeytysten jälkeen oli seuraava: interventioryhmä (INT: $20,8 \pm 4,9$ vuotta, $168,5 \pm 0,5$ cm, $62,2 \pm 6,2$ kg, $n = 3$), sekä kontrolliryhmä (KON: $22,0 \pm 5,5$ vuotta, $167 \pm 6,0$ cm, $59,7 \pm 6,7$ kg, $n = 4$). Yksi interventioryhmässä aloittanut koehenkilö ei toteuttanut voimaharjoittelua ensimmäisen viikon jälkeen, joten hänet siirrettiin kontrolliryhmään.

6.2 Tutkimusasetelma

Mittaukset suoritettiin yhdelle koehenkilölle kerrallaan ja jokainen koehenkilö osallistui mittauksiin yhteensä kolmena eri päivänä. Koehenkilöitä pyydettiin välttämään kovatehoista harjoittelua testiä edeltävinä päivinä. Ensimmäisenä päivänä suoritettiin maksimaalinen hapenototesti sauvakävellen. Kyseisen testin jälkeen pidettiin tauko (10 ± 4 päivää) ennen varsinaisia voima- ja tasatyöntötestejä.

Testipatteri koostui voimatesteistä, sekä kahdesta erilaisesta tasatyöntötestistä. Testipatterin jälkeen koehenkilöille ilmoitettiin kumpaan ryhmään he kuuluvat ja interventioryhmälle jaettiin

kahdeksan viikon voimaharjoitusohjelma. Kontrolliryhmään kuuluvat saivat suullisen ohjeistuksen, jossa kehoitettiin välttämään kovaa ylävartalon voimaharjoittelua seuraavan kahdeksan viikon ajan.

Alavartalon voimaharjoittelua ei rajoitettu kummankaan ryhmän osalta. Kaikki koehenkilöt aloittivat kahdeksan viikon jakson samana päivänä ja loppumittaukset järjestettiin noin viikko tuon jakson päättymisen jälkeen. Loppumittauksessa toistettiin sama testipatteri kuin ennen interventiota, lukuun ottamatta sauvakävelytestiä, joka toimi vertailukohtana hapenoton tuloksille.

6.3 Voimaharjoitteluohjelma

Interventioryhmän urheilijat suorittivat kahdeksan viikon nonlineaarisen voimaharjoitteluohjelman (taulukko 1). Ohjelma sisälsi kolme harjoitusta viikossa ja koehenkilö sai itse päättää, minä päivinä harjoittelee, kunhan kahta voimaharjoitusta ei tehty peräkkäisinä päivinä. Nonlinearisella ohjelmalla pyritään pitämään harjoitusärsykettä jatkuvasti yllä ja sillä voidaan saavuttaa parempi harjoitusvaste kuin perinteisellä lineaarisella mallilla (Kraemer & Fleck 2007, 12 – 22). Harjoitusohjelma koostui sekä lihaskasvuun tähtäävästä harjoittelusta, että hermostollisesta, niin sanotusta räjähtävän voiman harjoittelusta, mutta myös lihaskestävyuden alueelle menevistä harjoituksista. Ohjelmassa liikkeet pysyivät samana koko jakson ajan. Vastavaanlaista harjoitusohjelmaa käyttivät Newton ym. (2002) tutkimuksessaan, jossa verrattiin nonlineaarisen voimaharjoitusohjelman vaikutuksia nuorten ja vanhojen miesten välillä.

TAULUKKO 1. Harjoitusohjelma interventioryhmälle.

Viikot 1 ja 5									
Liike	Harjoitus 1			Harjoitus 2			Harjoitus 3		
	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)
Ylätalja	3 min	3	4-6	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10
Penkkipunnerrus	3 min	3	4-6	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10
Ojentajaliike ylätaljassa	3 min	3	4-6	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10
Hauiskääntö tangolla, seisten	3 min	3	4-6	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10
Alataljasoutu	3 min	3	4-6	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10
Pystypunnerrus käsipainoilla	3 min	3	4-6	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10
Vastalihasliike lisäpainolla	3 min	3	4-6	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10
Viikot 2 ja 6									
Liike	Harjoitus 1			Harjoitus 2			Harjoitus 3		
	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)
Ylätalja	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	3 min	3	4-6
Penkkipunnerrus	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	3 min	3	4-6
Ojentajaliike ylätaljassa	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	3 min	3	4-6
Hauiskääntö tangolla, seisten	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	3 min	3	4-6
Alataljasoutu	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	3 min	3	4-6
Pystypunnerrus käsipainoilla	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	3 min	3	4-6
Vastalihasliike lisäpainolla	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	3 min	3	4-6
Viikot 3 ja 7									
Liike	Harjoitus 1			Harjoitus 2			Harjoitus 3		
	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)
Ylätalja	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10	4 min	3	1-3
Penkkipunnerrus	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10	4 min	3	1-3
Ojentajaliike ylätaljassa	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10	4 min	3	1-3
Hauiskääntö tangolla, seisten	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10	4 min	3	1-3
Alataljasoutu	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10	4 min	3	1-3
Pystypunnerrus käsipainoilla	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10	4 min	3	1-3
Vastalihasliike lisäpainolla	1 min	5	12-15	2 min	4	8-10	4 min	3	1-3
Viikot 4 ja 8									
Liike	Harjoitus 1			Harjoitus 2			Harjoitus 3		
	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)	Palautus	Sarjat	Toistot (RM)
Ylätalja	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	2 min	4	8-10
Penkkipunnerrus	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	2 min	4	8-10
Ojentajaliike ylätaljassa	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	2 min	4	8-10
Hauiskääntö tangolla, seisten	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	2 min	4	8-10
Alataljasoutu	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	2 min	4	8-10
Pystypunnerrus käsipainoilla	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	2 min	4	8-10
Vastalihasliike lisäpainolla	2 min	4	8-10	3 min	3	4-6	2 min	4	8-10

6.4 Testausprotokolla

6.4.1 Antropometriset mitat

Ennen alku- ja loppumittauksia koehenkilöiltä mitattiin kehon paino, kehon pituus ja rasvaprosentti. Rasvaprosentti mitattiin kummallakin kerralla saman, kokeneen, testaajan toimesta ihopoimujen pihtimittauksena Kuntotestauksen käsikirjan mukaisesti (Fogelholm 2010, 48 – 50) neljästä kohtaa kehoa. Mittauskohdat olivat olkavarren ojentajan ihopoimu, hauksen ihopoimu, lavanalusihopoimu, sekä suoliluun harjanteen ihopoimu.

6.4.2 Sauvakävelytesti

Maksimaalinen sauvakävelytesti suoritettiin juoksumatolla (Telineyhtymä Oy, Kotka, Suomi, 1987) naisten 70 ml/kg/min kuormitusmallilla (Balke & Ware 1959), jossa yhden kuorman pituus on kolme minuuttia. Jokaisen kuorman jälkeen nopeus ja/tai nousukulma kasvavat. Laktatinnäytteet otettiin sormenpääverinäytteestä (Lactate Pro, Arkray KDK, Japani) levossa jokaisen kuorman lopussa, sekä 1, 4, 7 ja 10 minuutin kuluttua testin päättymisestä. Testi päättyi joko koehenkilön tahdosta tai uupumuksesta johtuen. Koehenkilöt käyttivät maton pysäytysmekanismiin liitettyjä turvavaljaita kaikissa juoksumatolla tehdyissä testeissä. Sauvakävelytestin perusteella määritettiin koehenkilöiden maksimaalinen hapenotto kyky, jota käytettiin vertailuarvona hiihtäen saatuja tuloksia vasten.

6.4.3 Voimatestit

Voimatestejä ennen koehenkilö sai suorittaa haluamansa lämmittelyn, kuitenkin niin, että sen kesto ei ollut liian pitkä varsinaisen suorituksen kannalta. Ensimmäisenä koehenkilö suoritti penkkipunnerruksen yhden toiston maksimitestin jalat maassa (kuva 7). Koehenkilö sai itse päättää aloituskuorman ja kuormaa lisättiin vähintään 2,5 kg kerrallaan, kunnes yritys epäonnistui tai koehenkilö ilmoitti saavuttaneensa maksimituloksensa.



KUVA 7. Penkkipunnerrus (ExRx.net).

Muutaman minuutin palautuksen jälkeen suoritettiin vastaava testi ylätaljassa, jossa vastusta pystyi lisäämään 5 kg kerrallaan. Hyväksytyssä suorituksessa ote oli hartioiden levyinen, selkä ei kallistunut taaksepäin, ja tanko kävi leuan alapuolella (kuva 8). Ylätaljan vastuskuormien merkintöjen paikkaansa pitävyyttä ei tarkistettu, mutta loppumittauksissa käytettiin samaa laitetta, joten tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Viimeisenä testinä suoritettiin penkkipunnerruksen minuutin toistotesti, jossa vastus oli puolet koehenkilön kehon painosta pyöristettynä lähimpään 2,5 kilogrammaan. Kello käynnistettiin, kun koehenkilö alkoi laskea tankoa suorilta käsiltä kohti rintakehää ja jos ajan loppuessa oli ehtinyt aloittaa toiston, sai kyseisen toiston suorittaa loppuun asti. Jokaisessa testissä koehenkilöä kannustettiin ja toistotestissä väliaikatie-toja ilmoitettiin heidän toiveidensa mukaisesti.



KUVA 8. Ylätalja kapealla otteella (Bodybuilding.com).

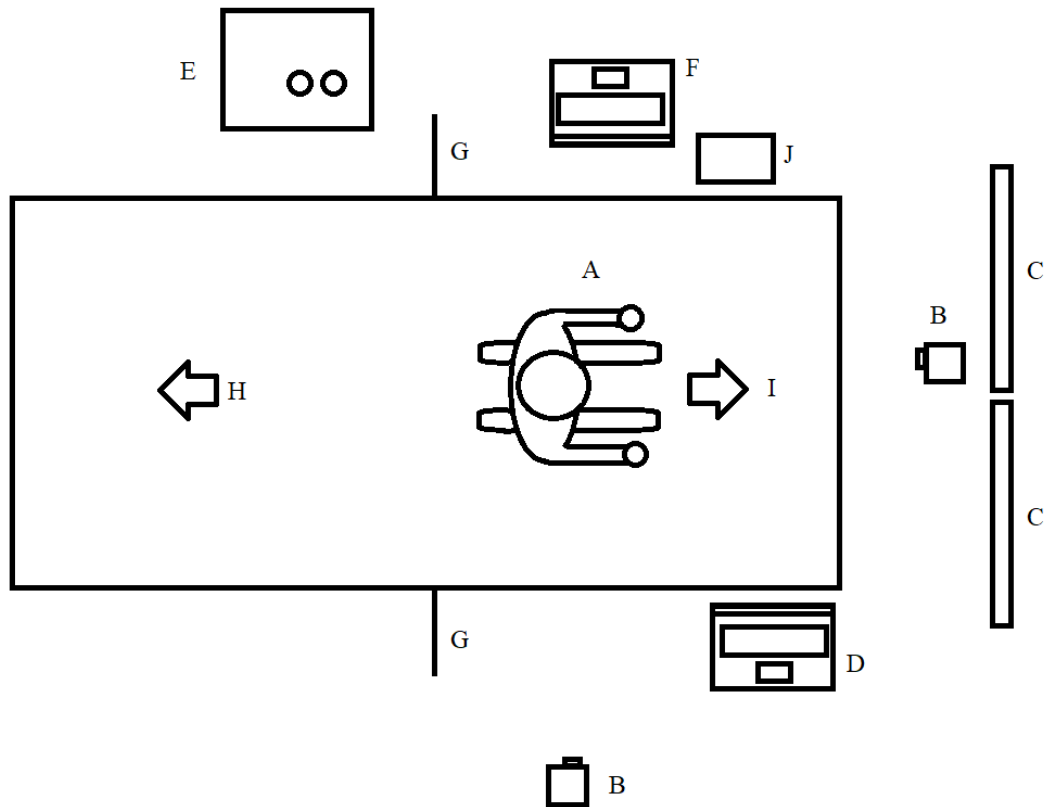
6.4.4 Tasatyöntötestit

Tasatyöntötestit suoritettiin samalla juoksumatolla, kuin sauvakävelytestikin. Kaikki koehenkilöt käyttivät samanlaisia rullasuksia (Marwe 800 XC 6C6, Marwe Oy, Hyvinkää, Suomi), lukuun ottamatta yhtä koehenkilöä, joka aikataulusyistä käytti omia samanmallisia suksiaan. Hän käytti samoja suksia myös lopputestissä, joten kyseisen henkilön alku- ja loppumittaus ovat keskenään vertailukelpoisia, mutta suora vertailu toisiin koehenkilöihin ei ole mahdollista. Koehenkilöt käyttivät omia sauvojaan, joihin asennettiin erityiset sauvanpäät matolla hiihtoa varten (Biomekanikk AS, Oslo, Norja). Koehenkilöt käyttivät samoja sauvoja myös loppumittauksessa, jotta mahdollisesti muuttunut sauvan pituus ei vaikuttaisi tuloksiin. Voimatestien jälkeen ei pidetty varsinaista taukoa, vaan aika, joka kului siirtymiin, koehenkilön varusteiden vaihtoon ja mittausvälineiden pukemiseen katsottiin riittäväksi. Koehenkilöllä oli oikean puolen sauvassa kiihtyvyyssanturi (Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä, Suomi) kiinnitettynä noin 10 cm kahvan alapuolelle. Testiasetus on mallinnettu kuviossa 7.

6.4.4.1 Nopeustesti

Ennen nopeustestiä koehenkilö sai lämmitellä tasatyöntäen ja samalla testattiin mittauslaitteiston toiminta. Noin viiden minuutin lämmittelyn ja välineisiin totuttelun jälkeen aloitettiin nopeustesti, jossa maton ollessa liikkumattomana sen nopeudeksi asetetaan 18 km/h ja nousukulmaksi 2 astetta. Kun matto käynnistetään ja se on saavuttanut ennalta asetetun vauhdin (alle 10 sekuntia), käynnistyy testikello.

Koehenkilö hiihtää tasatyöntöä ja maton vauhti kasvaa 15 sekunnin välein 1 km/h. Kello pysäytetään, kun rullasuksien etupyörä on valunut maton reunaan merkityn viivan taakse. Jos koehenkilö koki, että olisi pystynyt parempaan tulokseen, esimerkiksi horjahdettuaan tai menetettyään rytmin ensimmäisellä yrityksellä, annettiin hänen yrittää uudelleen muutaman minuutin tauon jälkeen. Koko suoritus videoitiin kahdella kameralla Coachtech-järjestelmän avulla (Jyväskylän yliopisto, Vuokatti, Suomi).



KUVIO 7. Testiasetus ylhäältä kuvattuna. (A) koehenkilö, (B) kamera, (C) näyttöruutu, (D) pääkellona toimiva tietokone, (E) juoksumaton ohjauspaneeli, (F) tietokone, jolla ohjataan kameroita ja johon videot tallennetaan, (G) nopeustestissä käytetty raja, jonka etupuolella koehenkilö pyrki pysymään, (H) maton pyörimissuunta, (I) hiihtosuunta ja (J) hengityskaasuanalyysaattori. Ei mittakaavassa.

6.4.4.2 Hapenottotesti

Nopeustestin jälkeen pidettiin 15 minuutin tauko, jonka aikana koehenkilö suoritti omatoimisen aktiivisen palautuksen. Tauon päätyttyä hänelle puettiin hapenoton mittauslaitteisto (MetaLyzer 3B, CORTEX Biophysik GmbH, Leipzig, Saksa) ja siirryttiin suorittamaan hapenotto testiä tasatyöntäen. Testiprotokollassa nousukulma pysyy samana (2 astetta), mutta nopeus nousee jokaisen kuorman jälkeen. Kuorman kesto on kolme minuuttia, kuten sauvakävelytestissäkin. Jokaisen kuorman toisen minuutin alkaessa kuvattiin 10 sekunnin otos suorituksesta Coachtech-järjestelmällä. Testi lopetettiin joko koehenkilön pyynnöstä tai uupumuksesta johtuen. Veren laktaattipitoisuus mitattiin sormenpääverinäytteestä ennen testiä, jokaisen kuorman lopussa, sekä kolme minuuttia testin päättymisen jälkeen.

6.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset merkitsevyydet testattiin IBM SPSS Statistics 24 ohjelmistolla (IBM Corporation, Armonk, NY, USA). Tilastollisen merkitsevyyden rajana pidettiin arvoa $p < 0,05$. Koska kyseessä on hyvin pieni aineisto, testattiin sen normaalista jakautuneisuutta Shapiro-Wilk -testillä. Aineisto ei ollut kaikkien muuttujien osalta normaalisti jakautunutta, joten näiden muuttujien kohdalla päädyttiin käyttämään nonparametristä Wilcoxon-testiä. Normaalisti jakautuneiden muuttujien kohdalla käytettiin verrannollisten parien t-testiä (paired-samples t-test) ja riippumattomien ryhmien t-testiä (independent-samples t-test). Eri muuttujien keskinäistä korrelaatiota koko joukossa testattiin Pearsonin testillä. Ryhmien sisäisiä korrelaatioita ei tutkittu pienen koehenkilömäärän vuoksi.

7 TULOKSET

7.1 Antropometriset muutokset

Antropometriset muutokset olivat hyvin pieniä sekä absoluuttisten (taulukko 2), että suhteellisten lukujen osalta. Kehon paino nousi koko joukolla $0,1 \pm 1,4$ kg, kontrolliryhmällä $0,0 \pm 1,7$ kg ja interventioryhmällä $0,4 \pm 1,3$ kg. Suhteelliset muutokset olivat koko joukolla $+0,2$ %, kontrolliryhmällä $-0,1$ % ja interventioryhmällä $-0,6$ %. Rasvaton kehon massa nousi keskimäärin $0,4 \pm 0,6$ kg (KON $0,5 \pm 0,6$ ja INT $0,3 \pm 0,6$ kg), suhteellisesti $0,9$ % (kaikki), $1,1$ % (KON) ja $0,6$ % (INT). Vastaavasti absoluuttinen kehon rasvamassa pieneni keskimäärin $0,2 \pm 1,2$ kg (KON $-0,5 \pm 1,4$ kg ja INT $+0,1 \pm 1,1$ kg) ja suhteellinen $-1,6$ % (kaikki), $-3,4$ % (KON) ja $+0,7$ % (INT). Rasvaprosentti pieneni $0,4 \pm 1,4$ %-yks. (KON $0,7 \pm 1,6$ %-yks. ja INT $0,1 \pm 1,2$ %-yks.), suhteellisten muutosten ollessa $-1,5$ % (kaikki), $-2,9$ % (KON) ja $+0,3$ % (INT). Antropometrisissä mitoissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia.

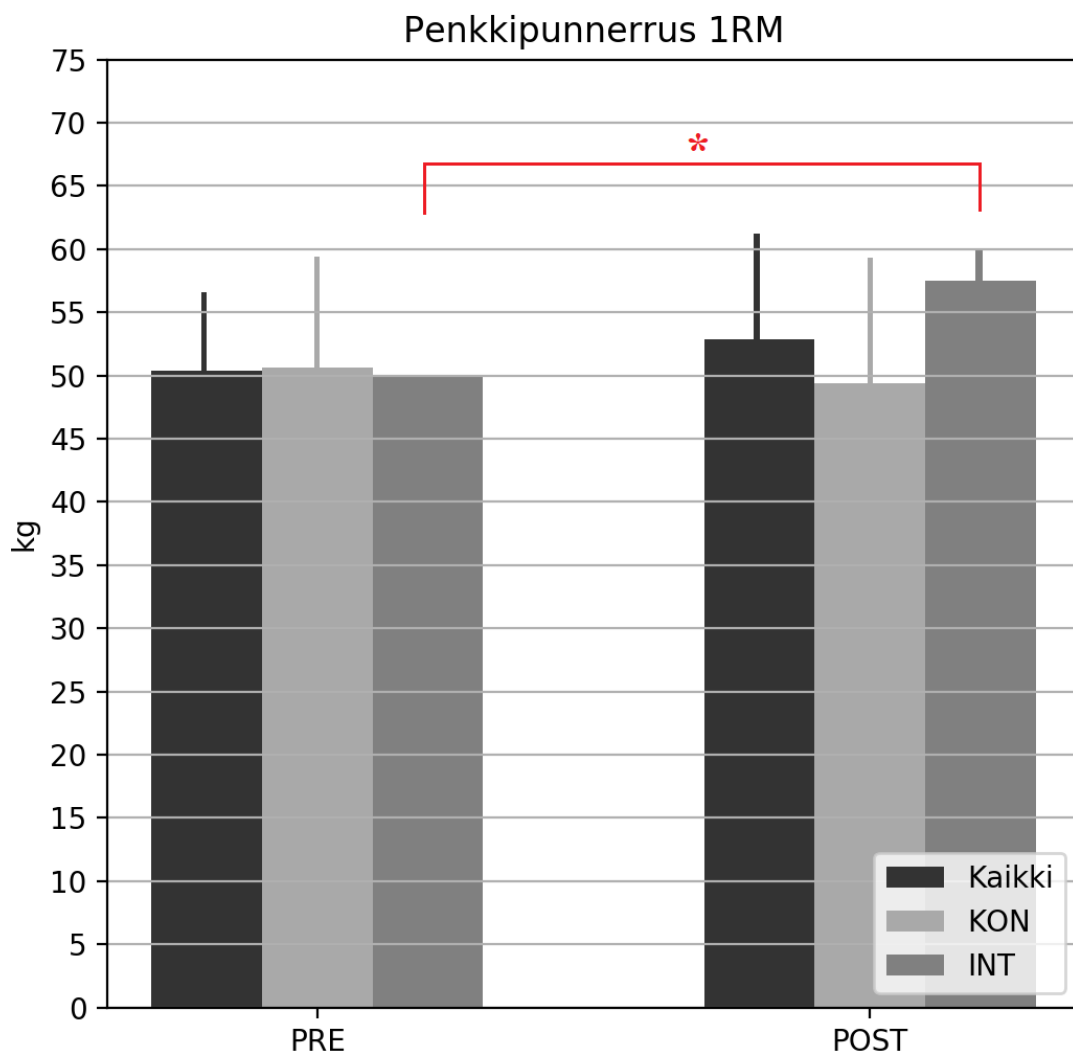
TAULUKKO 2. Antropometriset mitat ennen ja jälkeen intervention.

	KON	INT	Kaikki
Pituus (m)	$1,671 \pm 0,06$	$1,685 \pm 0,005$	$1,677 \pm 0,0$
Paino PRE (kg)	$59,7 \pm 6,7$	$62,2 \pm 6,2$	$60,8 \pm 6,1$
Paino POST (kg)	$59,7 \pm 6,1$	$62,6 \pm 5,0$	$60,9 \pm 5,4$
Rasva-% PRE	$25,0 \pm 2,5$	$25,3 \pm 2,5$	$25,1 \pm 2,4$
Rasva-% POST	$24,3 \pm 0,9$	$25,3 \pm 2,8$	$24,7 \pm 1,3$
Rasvaton massa PRE (kg)	$44,7 \pm 4,2$	$46,4 \pm 4,3$	$45,4 \pm 4,0$
Rasvaton massa POST (kg)	$45,2 \pm 4,5$	$46,7 \pm 3,7$	$45,8 \pm 3,9$

7.2 Voimatestien tulokset

7.2.1 Penkkipunnerrus 1RM

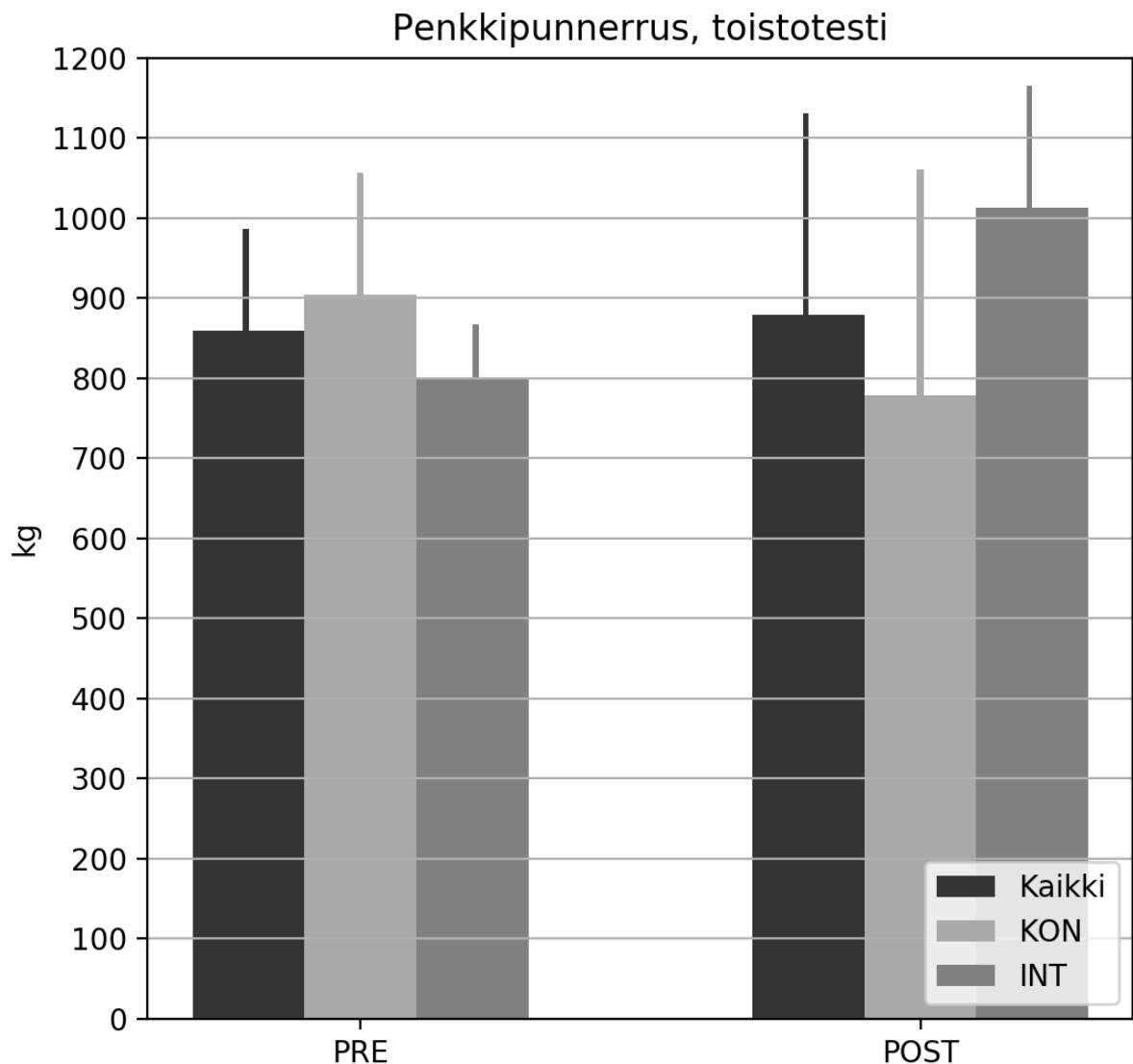
Suurimmat erot ryhmien välille syntyivät voimatesteissä. Keskimääräinen parannus penkkipunnerruksen 1RM tuloksessa oli $2,5 \pm 5,2$ kg, mutta ryhmien välinen kehitys oli keskenään päinvastaista: kontrolliryhmän tulos laski $1,3 \pm 2,5$ kg, kun taas interventoryhmä paransi tulostaan $7,5 \pm 2,5$ kg. Suhteelliset muutokset olivat koko joukon osalta $+5,0$ %, kontrolliryhmällä $-2,5$ % ja interventoryhmällä $15,0$ % ($p < 0,05$) (kuvio 8).



KUVIO 8. Penkkipunnerrus, yhden toiston maksimi (* $p < 0,05$).

7.2.2 Penkkipunnerrus, toistotesti

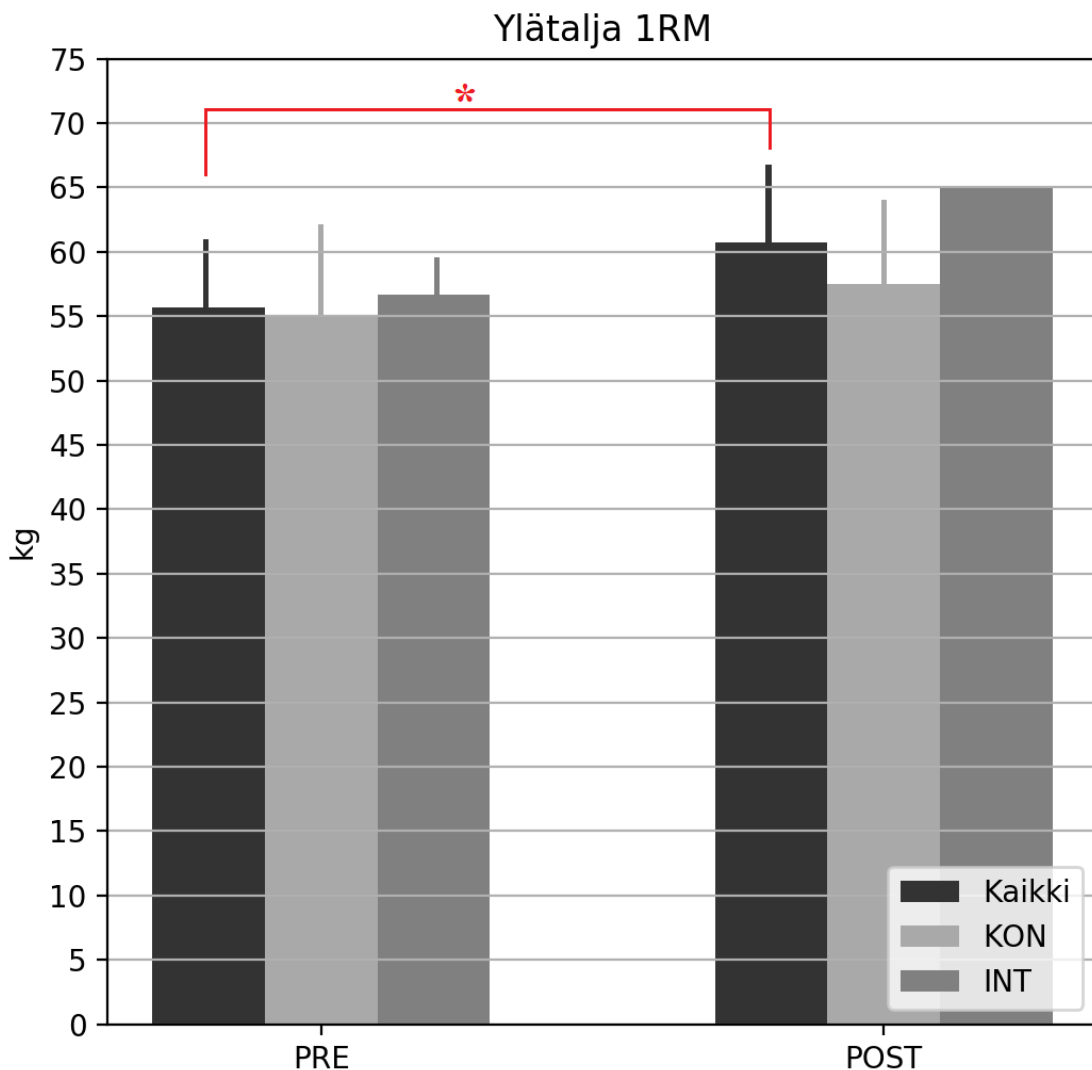
Toistotestissä tarkasteltiin tehdyn työn määrää (toistot kertaa vastus) sillä osalla koehenkilöistä vastus muuttui alkumittauksista kehon painon muutosten myötä. Koko joukon tekemä työmäärä kasvoi keskimäärin $16,9 \pm 216,4$ kg (+2,3 %). Kontrolliryhmän tulos heikkeni $126,3 \pm 141,9$ kg (-14,0 %), kun taas interventioryhmä paransi tulostaan $214,2 \pm 104,7$ kg (+26,8 %). Toistotestissä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia (kuvio 9).



KUVIO 9. Toistotestin tulos tehtynä työnä. Interventioryhmän parannus oli tilastollisesti suuntaa antava ($p = 0,071$).

7.2.3 Ylätalja 1RM

Ylätaljassa kumpikin ryhmä onnistui parantamaan tuloksiaan. Koko joukon alkumittausten keskimääräinen tulos $55,7 \pm 5,3$ kg ja loppumittauksissa vastaavasti $60,7 \pm 6,1$ kg, eli muutos oli $+9,0\%$ ($p < 0,05$). Ryhmäkohtaisesti tarkasteltuna kontrolliryhmän tulos oli PRE $55,0 \pm 7,1$ kg ja POST $57,5 \pm 6,5$ kg, muutoksen ollessa $+4,6\%$. Interventoryhmän tulos puolestaan oli PRE $56,7 \pm 2,9$ kg ja POST $65,0 \pm 0,0$ kg, toisin sanoen tulos parani $14,7\%$. Ryhmäkohtaisissa tuloksissa ei havaittu tilastollisia merkitsevyyksiä (kuvio 10.)

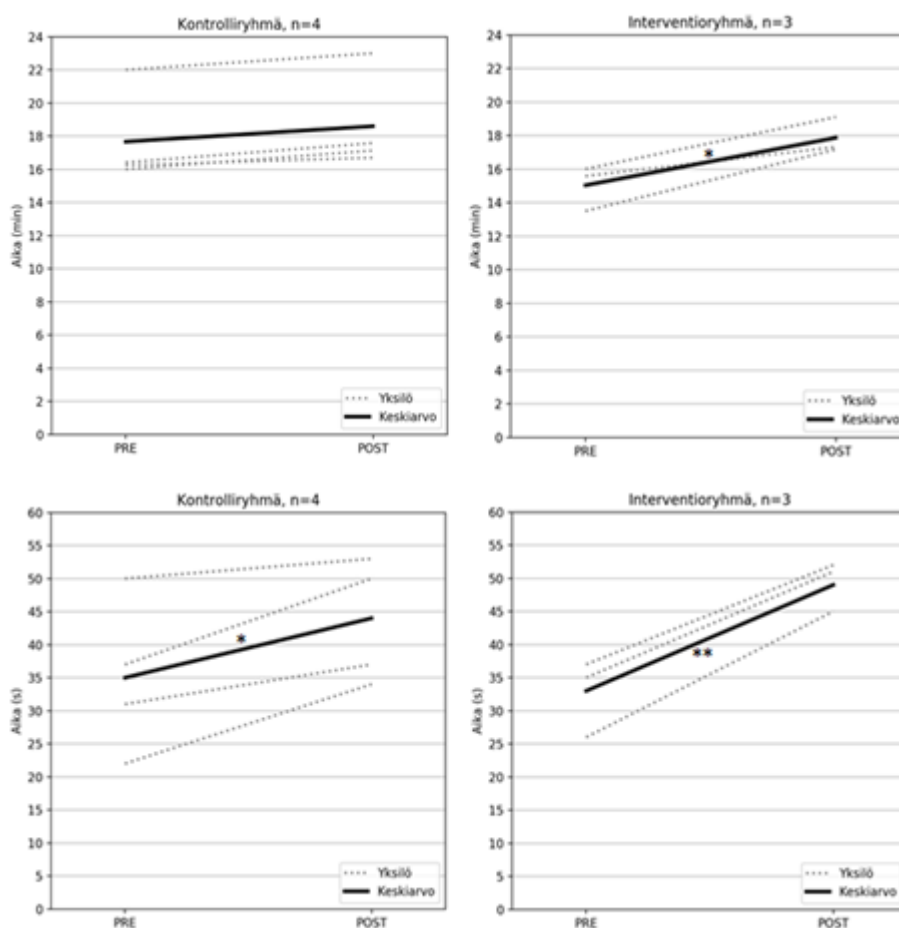


KUVIO 10. Ylätalja, yhden toiston maksimi. Koko joukon tulos parani tilastollisesti merkitsevästi (* $p < 0,05$).

7.3 Hiihtotestien tulokset

7.3.1 Loppuajat

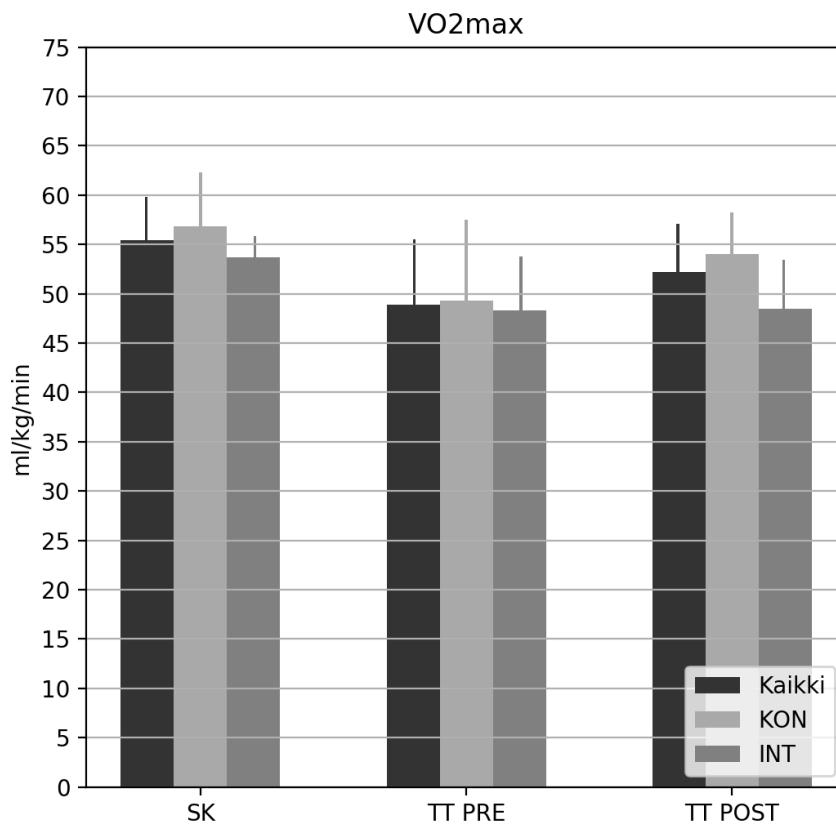
Lyhyessä hiihtotestissä jokainen koehenkilö pystyi parantamaan (pidentämään) loppuaikaansa edes hieman. Koko joukon keskimääräinen parannus oli 12 ± 6 sekuntia (+35,3 %, $p = 0,001$). Kontrolliryhmän parannus oli keskimäärin 8 ± 5 s (+24,3 %, $p < 0,05$) ja interventioryhmän puolestaan 17 ± 2 s (+51,0 %, $p = 0,005$). Pitkässä testissä tulokset olivat samankaltaiset: koko joukko pysyi lopputestissä matolla keskimäärin 105 ± 71 s (+10,6 %) pidempään, kuin alkutestissä. Kontrolliryhmän keskimääräinen parannus oli 56 ± 20 sekuntia (5,3 %) ja interventioryhmän 170 ± 60 s (18,9 %, $p < 0,05$). Loppuaikojen kuvaajat on esitetty kuviossa 11.



KUVIO 11. Hiihtotestien loppuajat alku- ja loppumittauksissa. Ylärivillä pitkä testi ja alarivillä lyhyt testi (* $p < 0,05$ ** $p = 0,005$).

7.3.2 Hapenotto

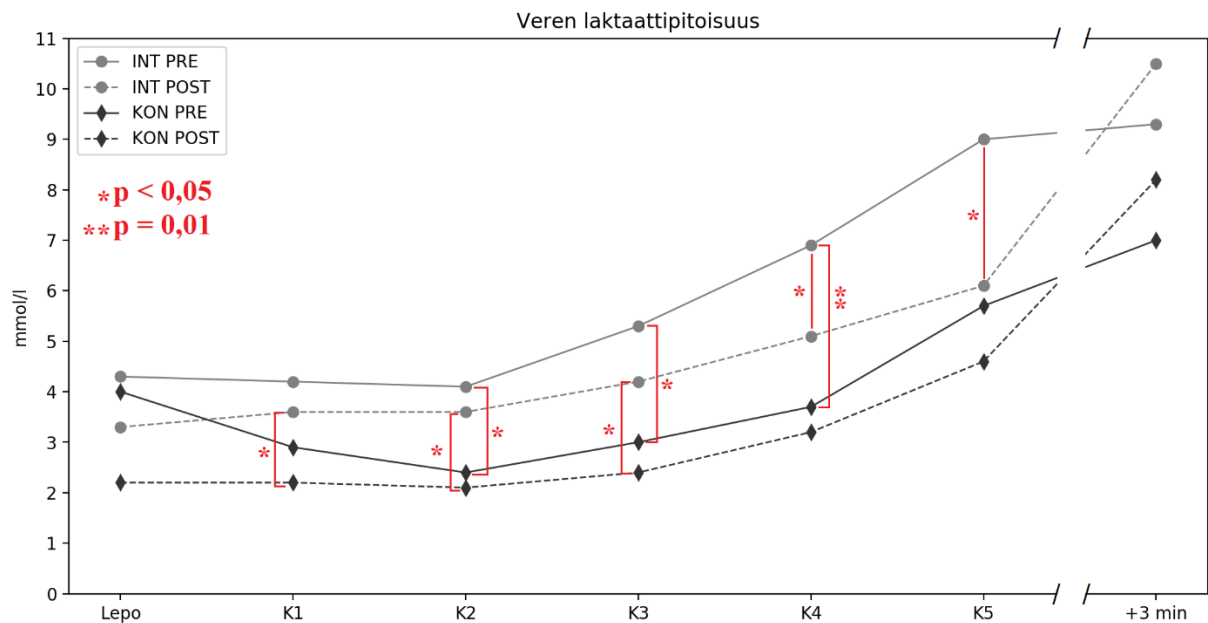
Maksimaalinen hapenotto yhden minuutin keskiarvona (VO_{2max}) nousi keskimäärin koko joukolla $3,7 \pm 3,7$ ml/kg/min (+6,8 %), kontrolliryhmällä $4,8 \pm 4,1$ ml/kg/min (+9,6 %) ja interventioryhmällä $0,2 \pm 2,1$ ml/kg/min (+0,3 %) (yhdelta interventioryhmään kuuluvalta ei saatu mitattua hapenkulutusta seurantatestissä laiterikosta johtuen) (kuvio 12). Suhteessa verrokkina suoritettuun sauvakävelytestiin ensimmäisessä tasatyöntötestissä koehenkilöt saavuttivat keskimäärin 12,0 % (SK $55,4 \pm 4,4$ ml/kg/min, TT_{pre} $48,9 \pm 6,6$ ml/kg/min) matalamman maksimihapenoton tason. Kontrolliryhmän VO_{2max} TT_{pre} oli 13,5 % ($56,8 \pm 5,5$ vs. $49,3 \pm 8,2$ ml/kg/min) matalampi ja interventioryhmällä puolestaan 9,9 % ($53,7 \pm 2,1$ vs. $48,3 \pm 5,5$ ml/kg/min) matalampi. Loppumittauksessa koko joukon VO_{2max} TT_{post} $52,2 \pm 4,9$ ml/kg/min oli enää 5,7 % pienempi kuin VO_{2max} SK. Ryhmäkohtaiset tulokset olivat KON $54,0 \pm 4,2$ ml/kg/min (4,7 % pienempi kuin SK) ja INT $48,5 \pm 4,9$ ml/kg/min (7,6 % pienempi, kuin SK). Hapenotossa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia.



KUVIO 12. Maksimaalinen suhteellinen hapenotto.

7.3.3 Veren laktaattipitoisuus

Veren laktaattipitoisuus pitkässä tasatyöntötestissä ennen testiä, kuormilla 1-5 sekä 3 minuuttia testin päättymisestä. Ensimmäisen kuorman melko korkeat lukemat johtuvat todennäköisimmin testiasetelmasta, jossa voimatestit, nopeustesti ja hapenottotesti tehtiin peräjälkeen kyseisessä järjestyksessä. Veren laktaattipitoisuus muuttui alku- ja loppumittausten välillä kuvion 13 mukaisesti.



KUVIO 13. Laktaattipitoisuuksista havaittiin useita tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Myös koko joukon keskiarvoissa (ei kuvaajassa) tapahtui tilastollisesti merkitseviä muutoksia kuormilla 2, 4, 5 ($p < 0,05$) ja 3 ($p = 0,01$).

7.3.4 Syklimuuttujat

Syklimuuttujia tarkasteltiin pitkän hiihtotestin 4. kuormalla. Tilastollisesti merkitseviä muutoksia ei havaittu millään osa-alueella. Alkumittauksissa ryhmien keskiarvot olivat lähes identtiset ja sama toistui loppumittauksissa. Koko joukon syklin kesto oli PRE 1,14 s ja POST 1,21 s ja pituus PRE 3,94 m, POST 4,16 m. Näin saadaan laskennalliseksi alkumittausten keskivauhdiksi $3,94 \text{ m} / 1,14 \text{ s} = 3,46 \text{ m/s}$ ja loppumittauksissa $4,16 \text{ m} / 1,21 \text{ s} = 3,44 \text{ m/s}$. Tämä kielisi siitä,

että juoksumatto on pyörinyt aavistuksen hitaammin loppumittauksissa, mikä saattaa selittää muutokset sykklinsisäisissä ajoituksissa. Kontrolliryhmän työntö-heilautussuhde oli alkutestissä 40,1:59,9 ja lopputestissä 38,8:61,2. Interventoryhmällä lukemat olivat 40,2:59,8 ja 38,6:61,4. Kummallakin ryhmällä heilautuksen osuus kasvoi hieman, KON +2,2 % ja INT +2,7 %.

7.4 Muuttujien väliset korrelaatiot

7.4.1 PRE

Alkumittauksissa löydettiin korrelaatioita useiden muuttujien välillä. Sauvakävelytestiin loppuaika korreloi saman testin maksimaalisen hapenoton kanssa ($r = 0,838$, $p < 0,05$). Sauvakävelytestin maksimaalinen hapenottotulos korreloi myös pitkän hiihtotestin loppuajan kanssa ($r = 0,933$, $p < 0,01$) sekä lyhyen hiihtotestin loppuajan kanssa ($r = 0,826$, $p < 0,05$). Pitkän hiihtotestin loppuaika ja maksimaalinen hapenotto korreloivat odotetusti keskenään ($r = 0,794$, $p < 0,05$). Pitkän hiihtotestin maksimaalinen hapenotto korreloi positiivisesti heilautusvaiheen keston kanssa ($r = 0,759$, $p < 0,05$) ja vastaavasti negatiivisesti työntövaiheen keston kanssa ($r = -0,759$, $p < 0,05$), joten tulos mukailee aiempien tutkimusten löydöksiä. Voimatesteissä penkkipunnerruksen yhden toiston maksimi ja minuutin toistotestin tulokset korreloivat keskenään ($r = 0,761$, $p < 0,05$).

7.4.2 POST

Lopputesteissä muuttujien välisiä korrelaatioita tunnistettiin huomattavasti vähemmän. Lyhyen hiihtotestin loppuaika korreloi penkkipunnerruksen yhden toiston maksimitestin kanssa ($r = 0,854$, $p < 0,05$) sekä penkkipunnerruksen minuutin toistotestin kanssa ($r = 0,891$, $p < 0,01$).

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kahdeksan viikon maksimivoimaharjoittelun mahdollisia vaikutuksia nuorten naishiihtäjien tasatyöntötekniikan suorituskykyyn. Voimaharjoitteluohjelma noudatti niin sanottua nonlinearista tai yhdistelmämallia. Yhdistämällä hypertrofista ja hermostollista maksimivoimaharjoittelua, sekä jonkin verran kestävyysvoimaharjoittelua pyrittiin maksimoimaan voiman kasvu kahdeksan viikon jakson aikana.

Voimaharjoittelua suorittaneet koehenkilöt onnistuivat parantamaan tasatyönnön suorituskykyään huomattavasti. Koska antropometrisissä mitoituksissa ei havaittu merkittäviä muutoksia kummassakaan ryhmässä, voidaan olettaa, että kehitys on johtunut nimenomaan hermolihasarjoittelun hermostollisen komponentin toiminnan tehostumisesta. Vaikka merkittäviä hapenotollisia muutoksia ei havaittu, voidaan kuitenkin veren laktaattipitoisuuden muutoksista päätellä lihasten energia-aineenvaihdunnassa tapahtuneen muutoksia. Muutokset ovat vastaavan kaltaisia kuin Rønnestadín (2011b) tutkimuksessa.

Tärkeimpinä löydöksinä havaittiin ensinnäkin voimaharjoitteluryhmän voimatestien tulosten parantuneen huomattavasti, joskin tilastollisesti merkittävä muutos havaittiin vain penkkipunnerruksen yhden toiston maksimissa (+7,5 kg, +15,0 %, $p < 0,05$). Penkkipunnerruksen toistotestissä suhteellinen muutos oli vieläkin isompi (+26,8 %), mutta tilastollisesti tulos oli vain suuntaa antava ($p = 0,071$). Ylätaljan yhden toiston maksimi oli ainoa voimatesti, jossa myös kontrolliryhmä onnistui parantamaan tulostaan, ja koko joukon keskiarvo kasvoikin tilastollisesti merkittävästi ($p < 0,05$). Ylätalja on voimatesteistä kaikkein lajinomaisin, joten oletettavasti kesän aikana tehty rullahiihto harjoittelu on saattanut vaikuttaa myös voiman kehittymiseen positiivisesti, joskin aiemmissä tutkimuksissa on todettu pelkän kestävyysharjoittelun vaikutuksen maksimivoimatasoon olevan melko rajallinen (esim. Hickson 1980).

Hapenottokyky ja energia-aineenvaihdunta ovat edelleen tärkeimmät maastohiihtäjän menestystä määrittävä tekijä (Mahood ym. 2011; Sandbakk ym. 2010). Tutkimuksen voimaharjoitteluinterventiolla ei havaittu olevan negatiivisia vaikutuksia harjoitteluryhmän suhteelliseen

maksimaaliseen hapenottokykyyn, vaan se pysyi lähes muuttumattomana (+0,3 %). Kontrolliryhmän maksimaalinen hapenottokyky sen sijaan kasvoi jo huomattavasti (+9,6 %). Kun kasvu kuitenkin suhteutetaan pitkän hiihtotestien loppuaikoihin, voidaan todeta harjoitteluryhmän suorituskyvyn ja taloudellisuuden parantuneen huomattavasti enemmän kuin kontrolliryhmällä. Nopeustestin loppuaika parani kontrolliryhmällä 24,3 % ($p < 0,05$) ja harjoitteluryhmällä 51,0 % ($p = 0,005$). Pitkän hiihtotestin loppuaika parani kontrolliryhmällä 5,3 % (ei tilastollisesti merkittävä), kun taas harjoitteluryhmä paransi 18,9 % ($p < 0,05$). Varsinkin pitkässä testissä kontrolliryhmän taloudellisuus on jopa laskenut, sillä hapenotto on lisääntynyt enemmän kuin tehty työmäärä. Tulos vaikuttaisi olevan päinvastainen, kuin Skattebo ym. (2016), jossa nuorten naishiihtäjien voima kyllä lisääntyi, mutta tasatyönnön teho ei kasvanut suhteessa kontrolliryhmään. Myös Bishop ym. (1999) totesivat tutkimuksessaan, että vaikka 12 viikon voimaharjoittelu kasvatti naispyöräilijöiden jalkojen voimaa merkittävästi, ei 60 minuutin pyöräilytestin osalta havaittu muutoksia suorituskyvyssä. Kummallekin edellä mainituista tutkimuksista on yhteistä suhteellisen alhainen voimaharjoittelun volyyymi.

Veren laktaattipitoisuuksissa nähtiin myös suuria muutoksia. Kummallakin ryhmällä laktaatti oli jokaisessa mittauspisteessä lopputestissä alhaisempi kuin alkumittauksissa, pois lukien kolme minuuttia testin päättymisestä otettu näyte. Se oli kummallakin ryhmällä korkeampi kuin alkutestissä ja oli samalla kummallakin ryhmällä testin huippuarvo. Alkumittauksissa ryhmien väliset erot painoutuivat testin loppupäähän, kun taas loppumittauksissa ne tulivat ilmi testin alkukuormilla. Ainoat tilastollisesti merkitsevät ryhmän sisäiset erot löydettiin harjoitteluryhmästä kuormilla 4 ja 5 ($p < 0,05$), joskin pieni n on huomioitava tässäkin. Testin alun korkeat laktaatit johtuvat todennäköisimmin testiasetelmasta, jossa voima- ja nopeustestien jälkeen pidettiin suhteellisen lyhyt tauko ennen kestävyystestiä. Myös harjoittelukauden vaiheella voi olla vaikutusta laktaatin muodostukseen ja poistokykyyn. Alkumittaukset tehtiin melko pian kilpailukauden ja sitä seuranneen lepojaksen jälkeen.

Syklimuuttujissa pitkän testin neljännellä kuormalla ei ryhmien välille mielenkiintoisesti syntynyt käytännössä lainkaan eroja. Toisaalta tulos on linjassa toisen tutkimuksen (Losnegard ym. 2009) kanssa. Kyseisessä tutkimuksessa havaitulla voimaharjoitteluryhmän kasvaneella suhteellisella tasatyöntöteholla viiden minuutin hiihtotestissä ei ollut vaikutusta sauvomistaajuuteen. Myöskään kontrolliryhmällä ei tuolloin havaittu muutoksia työntötaajuudessa.

Naiskestävyyssurheilijoiden voimaharjoittelua ei ole tutkittu yhtä mittavissa määrin kuin miehillä. Meta-analyysissään Beattie (2015) kävi läpi 26 tutkimusta, joissa oli tutkittu voimaharjoittelun vaikutuksia kestävyysurheilijoiden suorituskykyyn. 12 tutkimuksessa koehenkilöinä oli vain miehiä. Kymmenessä tutkimuksessa koehenkilöinä oli kumpaakin sukupuolta, mutta kuudessa tutkimuksessa miesten ja naisten määrän suhdeluku oli keskimäärin 8:1. Neljässä tutkimuksessa sukupuolten edustajien määriä ei ilmoitettu. Vain kahdessa tutkimuksessa kaikki koehenkilöt olivat naisia. Tutkittuja lajeja olivat kestävyysjuoksu, pyöräily, maastohiihto ja triathlon. Koehenkilöiden keski-ikä vaihteli 17 ja 33 vuoden välillä. Sama tai alempi keski-ikä, kuin tässä tutkimuksessa (21,5 vuotta) oli kuudessa tutkimuksessa, joista vain yhdessä kaikki koehenkilöt olivat naisia ja kahdessa naisia ja miehiä. Voidaankin todeta, että vaikka tämä pro gradu tutkielma ei tuonut uusia merkittäviä tai poikkeuksellisia tuloksia sarallaan, on kuitenkin tärkeää, että myös naiskestävyyssurheilijoita, niin nuoria kuin kokeneempiäkin, tutkitaan entistä enemmän ja monipuolisemmin.

Tämän tutkimuksen suurimpana rajoitteena voidaan pitää alhaista koehenkilöiden kokonaismäärää. Alhainen n aiheutti omat hankaluutensa tilastollisten menetelmien hyödyntämisessä ja varsinkin ryhmäkohtaisten muutosten tarkastelu oli vaikeaa. Joissain tapauksissa saatiin kuitenkin esiin tilastollisia merkitsevyyksiä ja löydettiin korrelaatioita muuttujien välille, mutta virheen todennäköisyys kasvaa aina otoksen pienentyessä.

Lisäksi merkittävänä rajoitteena voidaan pitää sitä, että harjoittelua ei kontrolloitu tai seurattu aktiivisesti, vaan se jäi koehenkilöiden vastuulle. Voimatestit ja hiihtotestit olisi myös ollut optimaalisempi järjestää eri päivinä, mutta aikataulullisista ja logistisista syistä ne oli pidettävä melko lyhyen ajan sisällä toisistaan. Lisäksi sauvakävellen tehdyn hapenottotestin olisi voinut toistaa vielä intervention jälkeen, jotta nähtäisiin, onko siinä tapahtunut muutoksia, vai olivatko nyt havaitut muutokset (tai muuttumattomuudet) sidoksissa vain hiihtosuoritukseen. Jälkikäteen ajateltuna antropometrisissä mitoituksissa varsinkin olkavarren ympärysmitta olisi voinut antaa tarkempia viitteitä mahdollisesta lihaskasvusta, kuin pelkkä kehon painon ja rasvattoman massan vertailu.

Voimaharjoitteluohjelmaan olisi koehenkilöiltä saadun palautteen mukaan myös voinut lisätä variaatioita esimerkiksi ensimmäisen neljän viikon jälkeen muuttamalla joitain liikkeitä. Myös

testilaitteisto aiheutti omat vaikeutensa ja vaikuttivat lopulta jopa koehenkilömäärään. Kuten aiemmin todettu, hengityskaasuanalysointori ei jokaisessa testissä pystynyt antamaan täysin luotettavia tai täydellisiä tuloksia ja juoksumaton nopeusanturin vikaantuminen esti osan seurantatesteistä kokonaan. Ongelmat ovat harmillisia, mutta niiltä ei koskaan voi täysin välttyä huolellisesta valmistautumisestakaan huolimatta.

Johtuen tutkimuksen rajoitteista ei tuloksista voida suoraan yleistää, mutta voidaan kuitenkin olettaa, että voimaharjoittelu auttoi koehenkilöitä parantamaan suorituskykyään. Sitä, johtuivatko tulokset valitusta voimaharjoittelumetodista ei tästä tutkimuksesta voida suoraan päätellä. Sama tulos olisi mahdollisesti voitu saavuttaa jollain toisellakin harjoitusmenetelmällä, kuten perinteisellä lineaarisella, pelkkään hypertrofiaan tähtäävällä mallilla, tai vaikkapa pelkällä hermostollisella voimaharjoittelulla. Nyt tutkittu harjoitusmuoto näyttäisi kuitenkin tuovan tuloksia, joten sen soveltamista esimerkiksi kyseisen urheiluakatemian valmennustoiminnassa olisi syytä harkita. Voimaharjoittelun edut kestävyysurheilussa ylipäätään on todettu monessa eri tutkimuksessa, mutta se, tehdäänkö voimaharjoittelua riittävästi, tehokkaasti ja oikealla tavalla yleiseen sarjaan siirtymisen kynnyksellä onkin jo toinen kysymys.

Jos koehenkilöitä olisi ollut enemmän, olisi voitu myös perustaa kolmas ryhmä, joka olisi harjoittanut tasatyöntöä laji- tai lajinomaisilla harjoitteilla ilman voimaharjoittelua tai esimerkiksi pelkkää nopeusvoimaharjoittelua. Koska nyt saatuja tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina, olisi jatkotutkimuksia aiheesta syytä suorittaa. Isomman koehenkilömäärän myötä voitaisiin saavuttaa suurempi tarkkuus.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen pohjalta ei voida alhaisesta tutkittavien määrästä johtuen vetää suoria johtopäätöksiä, mutta löydöksiä voidaan pitää suuntaa antavina. Tärkeimpiä löydöksiä ovat: i) kahdeksan viikon nonlineaarilla voimaharjoittelulla voidaan kasvattaa nuorten naishiittäjien ylävartalon maksimaalista voimaa, mutta ii) voiman kasvu johtuu todennäköisimmin lähes yksinomaan neuraalisista adaptaatioista. iii) Voimaharjoittelu paransi sekä lyhyen, maksimaalista hiihtonopeutta mittaavan, että pitkän kestävyyttä mittaavan tasatyöntötestin loppuaikaa ja iv) voimaharjoittelulla ei ollut negatiivisia vaikutuksia maksimaaliseen suhteelliseen hapenottookykyyn, eli toisin sanoen suorituksen taloudellisuus parani.

LÄHTEET

- Aagaard, P. & Andersen, J. L. 2010. Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports* 20 (2), 39 – 47.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. 2002. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol* 92, 2309 – 2318.
- Alsobrook, N. G. & Heil, D. P. 2009. Upper body power as a determinant of classical cross-country ski performance. *Eur J Appl Physiol* 105, 633 – 641.
- Anttila, S. & Roponen, T. 2008. Kaikki hiihdosta. 1. painos. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo-tuotteet.
- Balke, B. & Ware, R. W. 1959. An experimental study of physical fitness of Air Force personnel. *U S Armed Forces Med J* 10 (6), 675 – 688.
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M. & Carson, B. P. 2014. The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports med* 44 (6), 845 – 865.
- Bengtsson, B. E. 2010. Cross-country skating: How it revolutionized a sport. *Skiing Heritage*, 22 (1), 26 – 31.
- 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. *Med Sci Sports Exerc* 31 (6), 886 – 891.
- Bodybuilding.com. 2018. Close-grip front lat pulldown. Viitattu 11.11.2018. <https://www.bodybuilding.com/exercises/close-grip-front-lat-pulldown>.
- Bojsen-Møller, J., Losnegard, T., Kempainen, J., Viljanen, T., Kalliokoski, K. K. & Hallén, J. 2010. Muscle use during double poling evaluated by positron emission tomography. *J Appl Physiol* 109, 1895 – 1903.
- Carlsson, T., Wedholm, L., Nilsson, J. & Carlsson, M. 2017. The effects of strength training versus ski-ergometer training on double poling capacity of elite junior cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol* 117, 1523 – 1532.
- Cureton, K. J., Collins, M. A., Hill, D. W., & McElhannon, F. M. jr. 1988. Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20 (4).
- ExRx.net. 2018. Barbell bench press. Viitattu 11.11.2018. <https://exrx.net/WeightExercises/PectoralSternal/BBBenchPress>.

- Fogelholm, M. 2010. Antropometriset ja kehon koostumusta kuvaavat mittaukset. Teoksessa K. L. Leskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. 2. uudistettu painos. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura ry, 48 – 50.
- Fry, A. C., Kraemer, W.J. & Häkkinen, K. 2006. Special considerations in strength training. Teoksessa W. J. Kraemer & K. Häkkinen (toim.) *Strength Training for Sport*. 3. painos. Oxford; Malden, MA; Carlton: Blackwell Science Ltd, 135 – 162.
- Gaskill, S. E., Serfass, R. C., Bacharach, D. W. & Kelly, J. M. 1999. Responses to training in cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 31 (8), 1211 – 1217.
- Hickson, R. C. 1980. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol* 45, 255 – 263.
- Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T. & Foster, C. 1988. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* 65 (5), 2285 – 2290.
- Hoff, J., Helgerud, J. & Wisløff, U. 1999. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 31 (6), 870 – 877.
- Holmberg, H.-C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E. & Müller, E. 2005. Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 37 (5), 807 – 818.
- Horyna, R., Bačáková, R., Chrástková, M., Sedlák, J., Čmelja, R. & Kračmar, B. 2016. Activity of upper body muscles in double poling and skieg workout. *Baltic journal of sport & health sciences* 2 (101), 31 – 37.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostina, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol* 89, 42 – 52.
- Häkkinen, K. 2006. Training-specific characteristics of neuromuscular performance. Teoksessa W. J. Kraemer & K. Häkkinen (toim.) *Strength Training for Sport*. 3. painos. Oxford; Malden, MA; Carlton: Blackwell Science Ltd, 20 – 36.
- Häkkinen, K., & Ahtiainen, J. 2012. Voiman ja lihasmassan harjoittaminen. Teoksessa A. Mero, A. Uusitalo, H. Hiilloskorpi, A. Nummela & K. Häkkinen (toim.) *Naisten ja tyttöjen urheiluvalmennus*. 1. painos. Lahti: VK-kustannus Oy, 110 – 123.

- Johnston, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R. & Vroman, N. B. 1997. Strength training in female distance runners: Impact on running economy. *J Strength and Cond Res* 11 (4), 224 – 229.
- Kansainvälinen hiihtoliitto FIS. 2016. Maximum pole length classical technique competitions. Viitattu 28.10.2018 http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/Cross-Country/05/75/36/GuidelinesEquipmentCC_Poles2018_English.pdf.
- Kataja, H. 1996. Maastohiihto tekniikat ja välineet. 1. painos. Helsinki: Suomen hiihtoliitto.
- Lindinger, S. J., Holmberg, H.-C., Müller E. & Rapp Walter. 2009. Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *Eur J Appl Physiol* 106, 353 – 363.
- Lindinger, S. J. & Holmberg, H.-C. 2011. How do elite cross-country skiers adapt to different double poling frequencies at low to high speeds? *Eur J Appl Physiol* 111, 1103 – 1119.
- Losnegard T., Mikkelsen, K., Rømnestaf, 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. *Scand J Med Sci Sports* 21, 386 – 401.
- Loveless, D. J., Weber, C. L., Haseler, L. J. & Schneider, D. A. 2005. Maximal leg-strength training improves cycling economy in previously untrained men. *Med Sci Sports Exerc* 37 (7), 1231 – 1236.
- Newton, R. U., Häkkinen, K., Häkkinen, A., McCormick, M., Volek, J. & Kraemer, W. J. 2002. Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Med Sci Sports Exerc* 34 (8), 1367 – 1375.
- Nummela, A. & Häkkinen, K. 2016. Kestävyys- ja voimaharjoittelun yhdistäminen. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen (toim.) *Huippu-urheiluvalmennus*. 1. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 284 – 289.
- 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.
- McDonagh, M. J. N., & Davies, C. T. M. 1984. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol* 52, 139 – 155.
- Mikkola, J., Rusko, H., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. M. & Häkkinen, K. 2012. Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *Int J Sports Med* 33, 702 – 710.

- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T. & Häkkinen, K. 2007. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *Int J Sports Med* DOI 10.1055/s-2007-964849.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F. & Candau, R. 2002. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 34 (8), 1351 – 1359.
- Nesser, T. W., Shuping, C., Serfass, R. C. & Gaskill, S. E. 2004. Development of upper body power in junior cross-country skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (1), 63 – 71.
- Ohtonen, O., Mikkola, J. Maastohiihdon lajiansalyysi ja valmennuksen ohjelmointi. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & Häkkinen K. (toim.) *Huippu-urheiluvallmennus*. 1. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 493, 509.
- Ojanen, S.-V. 2014. *Kehity hiihtäjänä*. 1. painos. Jyväskylä: Docendo Oy.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* 86 (5), 1527 – 1533.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A. & Raastad, T. 2011. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports* 21, 250 – 259.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A. & Raastad, T. 2011. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 112 (4), 14557 – 1466.
- Sandbakk, Ø., Holmberg, H.-C., Leirdal, S. & Ettema, G. 2010. Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *Eur J Appl Physiol* 109 (3), 473 – 481.
- Sandbakk, Ø., Ettema, G. & Holmberg, H.-C. 2014. Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scand J Med Sci Sports* 24, 28 – 33.
- Sandbakk, Ø., Leirdal, S. & Ettema, G. 2015. The physiological and biomechanical differences between double poling and G3 skating in world class cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol* 115, 483 – 487.
- Shaw, B. S., Sawn, I. & Brown, G. A. 2009. Comparison of resistance and concurrent resistance and endurance training regimes in the development of strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (9), 2507 – 2514.

- Skattebo, Ø., Hallén, J., Rønnestad, B. R. & Losnegard, T. 2016. Upper body heavy strength training does not affect performance in junior female cross-country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 26, 1007 – 1016.
- Smith, G. A. 2003. Biomechanics of cross country skiing. Teoksessa H. Rusko (toim.) *Cross Country Skiing. 1. painos*. Malden, MA; Oxford; Carlton; Berlin: Blackwell Science Ltd, 32 – 61.
- Stöggl, T. L. & Holmberg, H.-C. 2016. Double-poling biomechanics of elite cross-country skiers: flat versus uphill terrain. *Med Sci Sports Exerc* 48 (8), 1580 – 1589.
- Stöggl, T., Enqvist, J., Müller, E. & Holmberg, H.-C. 2010. Relationships between body composition, body dimension, and peak speed in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*, 28 (2), 161 – 169.
- Støren, Ø., Helgerud, J., Støa, E., M. & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine & science in sports & exercise* DOI 10.1249/MSS.0b013e318168da2f.
- Sunde, A., Støren, Ø., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J. & Helgerud, J. 2010. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (8), 2157 – 2165.
- Suomen hiihtoliitto. 2016. Perinteisen hiihtotavan sääntömuutokset kaudelle 2016-2017. Viitattu 28.10.2018 https://www.hiihtoliitto.fi/site/assets/files/22814/tiedote_uusista_saannoista_perinteista_hiihtotapaa_koskien_2_11_2016.pdf.
- Taipale, R. S. & Häkkinen K. 2013. Acute hormonal and force responses to combined strength and endurance loadings in men and women: the “order effect”. *PloS ONE* 8 (2) e55051, DOI: 10.1371/journal.pone.0055051
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., Gitonga, D., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2010. Strength training in endurance runners. *Int J Sports Med* DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0029-1243639>.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Vesterinen, V., Nummela, A. & Häkkinen, K. 2013. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *Eur J Appl Physiol* 113, 325 – 335.
- Taipale, R. S., Mikkola, J, Salo, T., Hokka, L., Vesterinen, V., Kraemer, W. J., Nummela, A. & Häkkinen, K. Mixed maximal and explosive strength training in recreational endurance runners. *Journal of Strength and Conditioning* 28 (3), 689 – 699.

- Terzis, G., Stattin, B. & Holmberg, H.-C. 2006. Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 16, 121 – 126.
- Zoppirolli, C., Holmberg, H.-C., Pellegrini, B., Quaglia, D., Bortolan, L. & Schena, F. 2013. The effectiveness of stretch-shortening cycling in upper-limb extensor muscles during elite cross-country skiing with the double-poling technique. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 23, 1512 – 1519.
- Zoppirolli, C., Pellegrini, B., Bortolan, L. & Schena, F. 2016. Effects of short-term fatigue on biomechanical and physiological aspects of double poling in high-level cross-country skiers. *Human Movement Science* 47, 88 – 97.
- Zory, R., Vuillerme, N., Pellegrini, B., Schena, F. & Rouard A. 2009. Effect of fatigue on double pole kinematics in sprint cross-country skiing. *Human Movement Science* 28, 85 – 98.
- Øfsteng, S., Sandbakk, Ø., van Beekvelt, M., Hammarström, D., Kristofersen, R., Hansen, J., Pulsen G. & Rønnestad, B. R. 2017. Strength training improves double-poling performance after prolonged submaximal exercise in cross-country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 28, 893 – 904.