

**SUKSEN PITO-JA LUISTO-OMINAISUUKSIEN  
MUUTOKSEN VAIKUTUS VOIMANTUOTTOON JA  
LIHASAKTIIVISUUTEEN MAKSIMAALISESSA  
PITKÄKESTOISESSA HIIHTOSUORITUKSESSA  
PERINTEISELLÄ HIIHTOTAVALLA**

VELI-MATTI NIEMINEN

Biomekaniikan pro gradu-tutkielma

Kevät 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat:

Vesa Linnamo

Olli Ohtonen

# TIIVISTELMÄ

Suksen pito- ja luisto-ominaisuuksien muutoksen vaikutus voimantuottoon ja lihasaktiivisuuteen maksimaalisessa pitkäkestoisessa hiihtosuorituksessa perinteisellä hiihtotavalla. 108 s.

Veli-Matti Nieminen

Biomekaniikan pro gradu-tutkielma

Liikuntabiologian laitos

Liikunta- ja terveystieteiden tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2013

---

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää erilaisten voiteluiden vaikutusta lihasten voimantuoton ja lihasaktiivisuuden muutoksiin maksimaalisen pitkäkestoisen perinteisen tyylin murtomaahiihtosuorituksen aikana. Samalla pyrittiin löytämään uusia tekniikoita suksen luisto- ja pito-ominaisuuksien mittaamiseen. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten suksen luisto- ja pito-ominaisuuksien heikentyminen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana vaikuttaa hiihdon biomekaanisiin ominaisuuksiin. Samalla seurattiin myös fysiologisten muuttujien eli sydämen sykkeen ja veren laktaattipitoisuuden muuttumista suorituksen aikana.

Tutkimus suoritettiin Jyväskylän yliopiston Vuokatin toimipisteen biomekaniikan laboratoriossa ja Vuokatin hiihtoputkessa. Tutkimukseen osallistui 9 vapaaehtoista, aktiivisesti murtomaahiihtoa harrastavaa mieshenkilöä, joidenka taso vaihteli kansallisesta huipputasosta aktiiviseen kuntohiihtäjään. Jokainen koehenkilö suoritti kaksi eri 20.7 km:n kilpavauhtista perinteisen tyylin hiihtosuoritusta, joissa käytettiin erilaista suksien voitelua. Toisessa voitelussa pyrittiin siihen, että suksen luisto- ja pito-ominaisuudet säilyvät hyvinä koko hiihtosuorituksen ajan ja toisessa siihen, että luisto- ja pito-ominaisuudet heikkenevät huomattavasti hiihdon kuluessa. Testien väliksi määriteltiin vähintään viikon palautusaika, koska testisuoritus oli kilpavauhtinen pitkäkestoinen hiihto. Koehenkilöt hiihtivät testin Vuokatin hiihtoputken 2.3 km:n ladulla, jonka he kiersivät 9 kertaa. Jokaisella kierroksella hiihdettiin yli 20 m pitkän

voimalevyjärjestelmän, parittomilla kierroksilla vuorotahtia ja parillisilla kierroksilla tasatahtia. Hiihdon aikana koehenkilöiltä mitattiin potkun ja sauvan työnnön horisontaalisia ja vertikaalisia voimia voimalevyillä, lihasten aktiivisuutta EMG-laitteella, sydämen sykettä ja veren laktaattipitoisuutta. Lisäksi voimalevyjen ylihihto kuvattiin mahdollisesti myöhempää liikeanalyysiä varten. Ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen koehenkilöt suorittivat maksimaalisen isometrisen voimatestin polven ojentajille ja kyynärvarren ojentajille. Lisäksi koehenkilöiden suksien luisto- ja pito-ominaisuutta mitattiin suksen liikutuslaitteella ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen sekä 4 hiihdetyn kierroksen jälkeen. Samalla suksista mitattiin myös voiteiden kulumista kahdella eri mittalaitteella, fluoresenssi-mittarilla ja mittakellolla.

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat:

1) Hiihtoajassa ja maksiminopeudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja eri voiteluiden välillä 2) Jalan tuottamat voimat pienenevät enemmän paremmin pitävillä suksilla (jalan suhteellinen horisontaalinen huippuvoima ( $p\_HLF\_r$ ) laski paremmalla pidolla 21 % ( $p < 0.01$ ) ja huonommalla 4 % (n.s.)), mutta ero voiteluiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä, 3) sauvatyönnön horisontaaliset voimat pienenevät huonommin pitävillä suksilla hiihdettäessä enemmän (vuorohiihdossa suhteellinen horisontaalinen huippuvoima ( $H\_rPPF$ ) laski paremmalla pidolla  $3.0 \pm 0.9$  % ( $p < 0.05$ ) ja huonommalla  $3.7 \pm 1.9$  % ( $p < 0.05$ ). Huonommalla pidolla lasku oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi. Tasatyönnössä suhteellinen horisontaalinen huippuvoima ( $H\_PPF\_r$ ) laski huonommalla pidolla 7 % ( $p < 0.01$ ), mutta paremmalla pidolla havaittiin jopa pieni voimatason nousu 4) lihasten RMS aktiivisuus pieneni paremmin pitävillä suksilla hiihdettäessä tilastollisesti merkitsevästi polven ojentaja lihaksissa (Vastus Medialis:  $0.64 \pm 0.38$  mV  $\rightarrow$   $0.34 \pm 0.20$  mV.  $p < 0.05$ ), kun taas huonommin pitävillä suksilla hiihdettäessä RMS aktiivisuuden pieneneminen oli tilastollisesti merkitsevää kaikissa mitatuissa lihaksissa (Vastus Medialis:  $0.43 \pm 0.22$  mV  $\rightarrow$   $0.23 \pm 0.12$  mV.  $p < 0.05$ , Biceps femouris: ( $0.15 \pm 0.13$  mV  $\rightarrow$   $0.06 \pm 0.02$  mV.  $p < 0.05$ ), Rectus Femoris: ( $0.24 \pm 0.13$  mV  $\rightarrow$   $0.16 \pm 0.08$  mV.  $p < 0.01$ ), Gastrocnemius: ( $0.33 \pm 0.09$  mV  $\rightarrow$   $0.18 \pm 0.07$  mV.  $p < 0.01$ ) ja Triceps Brachii: ( $0.95 \pm 0.28$  mV  $\rightarrow$   $0.78 \pm 0.27$  mV.  $p < 0.05$ ), 5) vuorohiihdon potkuaika piteni huonommin pitävillä suksilla hiihdettäessä enemmän, mutta ero voiteluiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää, 6) sauvan työntösykliin suhteutettu työntöaika piteni huonommin pitävillä suksilla hiihdettäessä

tilastollisesti merkitsevästi ( $43.1 \pm 3.9\%$   $\rightarrow$   $46.5 \pm 4.2\%$ ,  $p < 0.01$ ), kun taas paremmalla pidolla muutosta ei havaittu, 7) Uusien voidemäärän mittauslaitteiden (mittakello ja fluoresenssi-mittari) tulokset olivat tilastollisesti merkitsevästi samansuuntaisia kuin liikituslaitteen kitkamittaustulokset ja 8) hiihtäjän keskimääräinen syke oli hieman (1.8 %) korkeampi hiihdettäessä huonommin pitävillä suksilla.

Tutkimustulosten ja aikaisempien tutkimusten perusteella voidaan olettaa, että hiihdettäessä huonosti pitävillä suksilla voimantuotto siirtyy enemmän käsille, jolloin pitkäkestoisen suorituksen aikana kädet väsyvät suhteessa enemmän. Huonosti pitävä suksi ei kuitenkaan näytä tämän tutkimuksen perusteella vaikuttavan hiihdon loppuaikaan eikä hiihtäjän maksiminopeuteen, ainakaan kohtuullisen helpossa ja loivapiirteisessä maastossa. Pitovoiteiden määrää ja kulumista on kohtuullisen helppo analysoida, mutta luistovoiteen tapauksessa analysointi onkin jo huomattavasti vaativampaa. Tutkimuksessa käytetyt uudet voidemäärän mittausmenetelmät (fluoresenssi ja mittakello) osoittautuivat kehityskelpoisiksi mittausmenetelmiksi varsinkin pitovoiteen mittaamiseen.

Avainsanat: voimantuotto, väsyminen, lihasaktiivisuus, voitelu, pito, luisto

## ABSTRACT

The influence of change in glide and grip properties of skis for force development and electrical activity on muscles in maximal long distance classic style XC-skiing. 108 pp.

Veli-Matti Nieminen

Biomechanics pro gradu

Department of Biology of Physical Activity

Faculty of Sports and Health Sciences

University of Jyväskylä

Winter 2013

---

The aim of this study was to investigate the influence of different kind of waxing for force production and electrical activity (EMG) of muscles in maximal long distance classic style XC-skiing. Also new technics for measuring glide- and grip features of skis were explored. The study attempted to determine, how decline of glide- and grip features in maximal long distance skiing exercise influence biomechanics features of XC-skiing as well as changes of some physiological features; blood lactate and heart rate.

The study was conducted at Vuokatti ski-tunnel and biomechanics laboratory of University of Jyväskylä, Vuokatti campus. The study involved 9 active male skiers, from national top-level to active fitness skier. Each volunteer performed two different 20.7 km's maximal classic style skiing performance, using two different types of ski waxing. In one attempt the waxing was made so that the glide and grip properties would remain good throughout the execution of the ski and in the other one so that the glide and grip properties would deteriorate considerably during skiing. There was at least one week recovery time between test sessions, because the test performance was maximal (=competition speed) long-term cross-country skiing. Ski track in ski-tunnel is 2.3 km long and skiers toured it nine times. In each round they skied over 20 m long force platform system. During the skiing test subjects was measured horizontal and vertical forces of kick and poling in the force plates, EMG activity in six different muscles, heart rate and blood lactate (before, after, and halfway). Before and after the skiing, the

subjects performed maximal isometric strength test of the knee extensors and forearm extensors. Furthermore, the subjects' skis glide and grip properties (coefficient of friction) were measured with ski moving machine before, after and during the skiing test. At the same time skis were also measured with two different wax wear measuring device, a fluorescence indicator and a dial gauge.

Main results of the study were as follows:

1) there were no statistically significant differences in skiing time and maximum speed between different types of waxing, 2) the leg forces decreased more with better grip skis (relative horizontal peak force ( $p\_HLF\_r$ ) decreased with better grip by 21% ( $p < 0.01$ ) and a worse 4% (n.s.) but this difference between grips was not statistically significant), 3) horizontal forces of poling decreased more with worse grip (in diagonal stride relative horizontal peak force ( $H\_rPPF$ ) decreased with better grip  $3.0 \pm 0.9\%$  ( $p < 0.05$ ) and with worse  $3.7 \pm 1.9\%$  ( $p < 0.05$ ). With worse grip the decline was statistically significantly higher. In double poling relative horizontal peak force ( $H\_PPF\_r$ ) decreased with worse grip by 7% ( $p < 0.01$ ), but with a better grip even a small power increase was observed (n.s.), 4) muscle RMS activity decreased statistically significantly in knee extensor muscles with better grip while RMS activity reduction was significant in all measured muscles with worse grip skis, 5) In diagonal stride the kick time prolonged more with worse grip, but difference between waxes was not statistically significant, 6) the relative poling time prolonged with worse grip ( $43.1 \pm 3.9\% \rightarrow 46.5 \pm 4.2\%$ ,  $p < 0.01$ ), while a change with better grip was not observed, 7) the results of new measuring methods of waxing wear (dial gauge and fluorescence indicator) were statistically significantly in the same direction as the friction measurements of the ski moving machine and 8) the average heart rate of skier's was slightly (1.8 %) higher with worse grip.

Research and previous studies suggest that when skiing with bad grip, power generation moves more to hands and cause relative more fatigue in long-term performance. Poor grip did not seem to affect skiing time or maximum speed, at least in an easy and relatively gently sloping terrain. It is relatively easy to analyze the amount and wearing of kick waxes, but not so easy to analyze glide waxes. The study used new methods of measurement of the amount of ski-wax (fluorescence indicator (UV-meter) and dial

gauge) proved to be an evolutionary measuring system, particularly the measurement of grip wax.

Key words: force development, fatigue, muscle activity, waxing, grip, glide.

## KÄYTETYT LYHENTEET

MVC	Maksimaalinen tahdonalainen voimantuotto (maximal voluntary conduction)
RFD	Voimantuottonopeus (Rate of force development)
EMG	Electromyografia
MILA	Oulun yliopiston mittalaitelaboratorio
RMS	Root mean square (Neliöllinen keskiarvo)
UV	Ultravioletti
XC	Cross Country (murtomaa)
MY	Motorinen yksikkö
ATP	Adensiinitrifosfaatti
KP	Kreatiinifosfaatti
VO <sub>2</sub> max	Maksimaalinen hapenottookyky
pH	Vesiliuoksen happamuus, vetyionien aktiivisuus liuoksessa.
A/D	Analog to digital (Analogisesta digitaaliseen)
RF	Rectus femoris (Nelipäinen reisilihas)
SD	Standard deviation (Keskihajonta)
MS	Microsoft ltd
La	Laktaatti
1RM	one-repetition maximum (yhden toiston maksimi)
n.s	not significant (ei merkityksellinen)



# SISÄLTÖ

JOHDANTO .....	11
1 MAASTOHIIHDON PERINTEINEN TEKNIikka .....	13
1.1 Vuorohiihto .....	14
1.2 Tasatyöntö .....	15
2 HIIHTONOPEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	16
2.1 Painovoima .....	16
2.2 Kitka .....	17
2.3 Voiteen kuluminen .....	20
3 LUISTO- JA PITO-OMINAISUUKSIEN MITTAUS HIIHDOS- SA .....	21
3.1 Suksen ja voiteiden testaaminen.....	21
3.1.1 Laboratoriolaitteet .....	22
3.1.2 Kenttättestaus .....	25
4 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA .....	28
4.1 Tahdonalainen hermotus .....	29
4.2 Luurankolihasen rakenne ja toiminta .....	30
5 LIHAKSEN ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA .....	32
6 LIHASTEN VOIMANTUOTTO .....	33
6.1 Voimantuoton mittaus hiihdossa .....	34
7 VÄSYMINEN .....	36
7.1 Väsymyksen vaikutus hermolihasjärjestelmän toimintaan .....	36
7.2 Väsymisen vaikutus voimantuottoon .....	36
8 EMG .....	39
8.1 Väsyminen ja EMG .....	40
9 TUTKIMUKSEN TARKOITUS .....	42
10 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	43
10.1 Koehenkilöt.....	43
10.2 Voitelu .....	43
10.3 Tutkimusprotokolla.....	44
10.4 Voimamittaukset voimapenkissä .....	46
10.5 Hiihtomittaukset.....	47
10.6 Suksien voidemittaukset .....	50
10.6.1 Pitovoiteen mittaus mittakellolla .....	50
10.6.2 Voidemäärän mittaus MILA:n fluoresenssi-mittarilla.....	51
10.6.3 Suksen liikutus- ja analysointilaitteisto.....	52
10.7 Fysiologiset mittaukset .....	54
10.7.1 Veren laktaattimittaus .....	54
10.7.2 Syke.....	55
10.7.3 Tilastollinen analyysi .....	55
11 TULOKSET .....	60
11.1 Hiihtoaika.....	60
11.2 Vuorohiihto.....	61
11.2.1 Jalkavoimat .....	61
11.2.2 Sauvavoimat.....	63
11.2.3 Lihasaktiivisuus (EMG).....	64
11.2.4 Sykliajat .....	66
11.3 Tasatyöntö.....	67
11.3.1 Sauvavoimat.....	67

11.3.2	Lihasktiivisuus .....	68
11.3.3	Sykliajat .....	69
11.4	Suksen voidemittaukset .....	71
11.4.1	Suksen liikutuslaite .....	71
11.4.2	Mittakello .....	74
11.4.3	Milan fluoresenssi-mittari .....	76
11.4.4	Mittakello vs Fluoresenssi-mittari .....	78
11.4.5	Fluoresenssi vs. suksen liikutuslaite .....	79
11.5	Maksimivoima ja voimantuottonopeus.....	79
11.5.1	Maksimivoima (MVC), Voimapankki .....	79
11.5.2	Voimantuottonopeus (RFD), Voimapankki .....	81
11.6	Fysiologiset mittaukset .....	83
11.6.1	Veren laktaattipitoisuus.....	83
11.6.2	Syke.....	83
12	POHDINTA .....	89
12.1	Hiihtoaika.....	90
12.2	Vuorohiihto .....	90
12.3	Tasatyöntö.....	94
12.4	Maksimivoima ja voimantuottonopeus.....	96
12.4.1	MVC (maksimaalinen tahdonalainen voima) .....	96
12.4.2	RFD (voimantuottonopeus).....	97
12.5	Liikutuslaite .....	98
12.6	Voidemäärän mittaus .....	99
12.7	Fysiologiset mittaukset .....	99
12.8	Johtopäätös.....	101
13	LÄHTEET.....	102

## JOHDANTO

Hiihtosuorituksen maksimointi vaatii erilaisten mekaanisten ja biomekaanisten rajoitteiden eliminoimista mahdollisimman hyvin. Hiihtosuoritukseen vaikuttaa monet ulkoiset tekijät, kuten lumen rakenne, lumen ja suksen välinen kitka, hiihtäjän varusteet, voitelu sekä hiihtäjän biomekaaniset ja fysiologiset ominaisuudet.

Suksen oikea voitelu on monen tekijän summa. Oikean voitelun määrittelemiseksi tarvitaan tietoa suksen ominaisuuksista, vallitsevasta kelistä, ladun koostumuksesta ja kaiken tärkeimpänä siitä, kuinka itse hiihtäjä kokee suksen toimivan. Lopullisen voitelun päätös on siis monen tekijän kompromissi ja sen vuoksi erittäin haastavaa.

Suksen toimivuus eli luisto- ja pito-ominaisuudet sekä suksen hiihdettävyys ovat ratkaisevassa roolissa hiihtosuorituksen onnistumisessa. Huonolla voitelulla (lipsuvilla ja huonosti luistavilla suksilla) hiihdettäessä joudutaan käyttämään enemmän voimia ja energiaa samantasoisien suorituksen aikaansaamiseksi. Suurempi energian ja voimien käyttö kuluttaa enemmän ja aiheuttaa myös hiihtäjän väsymisen nopeammin.

Pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksia urheilijan suorituskykyyn on tutkittu maailmalla jonkin verran. Tutkimuksissa on todettu, että käsien ja jalkojen voimantuotto pienenee melko paljon pitkäkestoisen suorituksen ja siitä aiheutuvan väsymisen ansiosta (mm. Millet ym. 2003; Nicol ym. 1991; Forsberg ym. 1979 ; Viitasalo ym. 1982). Voitelun vaikutusta hiihtosuoritukseen on tutkittu myös jonkin verran, mutta tutkimukset ovat pääosin lyhytkestoisista hiihtosuorituksista. Piirainen (2008) havaitsi tutkimuksissaan, että vuorohiihdon maksimaalinen pystyvoimantuotto sekä vaakavoimantuotto kasvavat hieman, kun suksen pito paranee. Hän havaitsi myös lyhytkestoisen hiihtosuorituksen nopeuden kasvavan pidon parantumisen myötä. Useat muutkin aikaisemmat tutkimukset (Vähäsöyrinki 1996; Leppävuori 1989; Komi 1985; Vähäsöyrinki ym. 2008) ovat osoittaneet, että suksien ja sauvojen vertikaalinen ja horisontaalinen voimantuotto kasvaa nopeuden lisääntyessä. Lisäksi mm. Vähäsöyrinki (1996), Vähäsöyrinki ym. (2008) ja Nilsson (2004) ovat todenneet tutkimuksissaan että potkuaika pitenee hiihtovauhdin hidastuessa.

Vaikka tutkimuksia pitkäkestoisista hiihtosuorituksista ja voiteluista on tehty vuosien aikana maailmalla lukuisia, niin tutkimusta, jossa selvitetään erilaisten voiteluiden vaikutusta hiihtäjän biomekaniikkaan ja fysiologiaan maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana, ei ole aikaisemmin tehty. Myöskään tutkimuksia, joissa pitkäkestoisen hiihtosuorituksen voimamuuttujia olisi mitattu hiihdon aikana, ei näytä olevan.

Tämän tutkimuksen tarkoitus olikin selvittää, kuinka erilaiset suksien voitelut vaikuttavat lihasten voimantuoton ja lihasaktiivisuuden muutoksiin maksimaalisessa pitkäkestoisessa perinteisen hiihtotyylin hiihtosuorituksessa. Samalla pyrittiin löytämään uusia tekniikoita suksen pito- ja luistovoitelun mittaamiseen.

# 1 MAASTOHIHDON PERINTEINEN TEKNIikka

Maastohiihdossa on käytössä kaksi erilaista tekniikkaa, perinteinen ja vapaa. Molemmissa tekniikoissa on omat erityispiirteensä. Tässä tutkimuksessa keskitytään perinteisen hiihdon tekniikkaan.

Perinteisessä hiihdossa liike tapahtuu pääosin kahdessa tasossa, suoraan eteenpäin sekä ylös ja alas. Sivuttaisliikettä tapahtuu lähinnä hiihtäjän painonsiirrossa sukselta toiselle. Perinteisen tekniikan tärkeimpiä ominaisuuksia on hyvä ja vakaa tasapaino. Jaloilla ponnistettaessa hiihtäjän painopisteen tulee olla suoraan suksen päällä. Perinteisessä hiihdossa jalan ponnistusvaihe on lyhyt ja nopea. Sen voima on hieman suurempi kuin hiihtäjän kehon paino. Koska voima pitää tuottaa lyhyessä ajassa, niin se voimakkuudeltaan melko vähäinen. Toisaalta taas näitä voimapiikkejä pitää pystyä tuottamaan tuhansia peräkkäin hiihtosuorituksen aikana. (Ekström 1981 ; Kataja 1996)

Suksen jäykkyysominaisuudet vaikuttavat hyvin paljon lepo- ja liukukitkan suuruuteen. Perinteisen tyylin vuorohiihdossa sukki pysäytetään liukuvaiheesta ja pitoalue painetaan kiinni latuun potkun suorittamisen ajaksi. Tämän vuoksi suksessa tarvitaan luisto-ominaisuuksien lisäksi myös pito-ominaisuuksia. Perinteisen suksen liukupinta jaetaan kolmeen alueeseen: kahteen suksen päissä olevaan liukualueeseen sekä suksen keskellä olevaan pitoalueeseen. Kehon painon ollessa tasaisesti molemmilla suksilla, vain liukualueet koskettavat lumen pintaa. Potkun aikana koko kehon paino kohdistuu lyhyen aikaa vain toiseen sukseen, jolloin tämän suksen pitoalue koskee myös ladun pintaan. Tämän lyhyen ajanjakson (potkun) aikana suksen ja lumen pinnan välillä vaikuttaa staattinen eli lepokitka. Lepokitkan suuruus riippuu ladusta, pitoalueen voitelusta sekä suksea latuun painavan voiman suuruudesta. Suksen liukuvaiheessa suksen ja lumen välissä vaikuttavana voimana on kineettinen kitkavoima eli liukukitka. (Ekström 1981). Voimantuoton kannalta on tärkeää, että suksen jäykkyys on hiihtäjän painolle sopiva. Suksen jäykkyyden ja jalkavuuden vaihtelulla voidaan vaikuttaa suksen ja lumen väliseen painejakautumaan. Korkealla ja jyrkällä jalkavuuskaarella suksen pitoalue koskettaa lumen pintaa vain potkun aikana ja luiston painealue on lyhyt. Loivalla kaarella taas saavutetaan pitempi pitoalue sekä pitempi ja tasaisempi pintapaine

luistoalueelle, mikä on edullisempaa pehmeällä ja irtonaisella lumella (Smith 2003; Kantola ym. 1985)

## 1.1 Vuorohiihto

*Vuorohiihto* (Diagonal stride) (Kuva 1) on hiihdon perinteisin ja harrastajahiittäjien eniten käyttämä perinteisen tyylin tekniikka, jossa liike tapahtuu kahdessa suunnassa, eteenpäin sekä ylös-alas. Liikkeen perustana on oikein suuntautuva potku. Oikeaoppinen potku alkaa pään ja ylävartalon nyökkäyksenä eteen ja jatkuu lantion kautta suoraan alaraajoihin. Näin ylävartalosta saadaan tehoa jaloille, jotka toimivat potkussa viimeisenä. Vuorohiihdon liukuaskel voidaan jakaa eri liikekokonaisuuksiin, joka sisältää kaksi vaihetta; suksen liukuminen ja suksen paikallaan olo. Tarkemmin nämä kaksi vaihetta voidaan esittää seuraavalla jaolla:

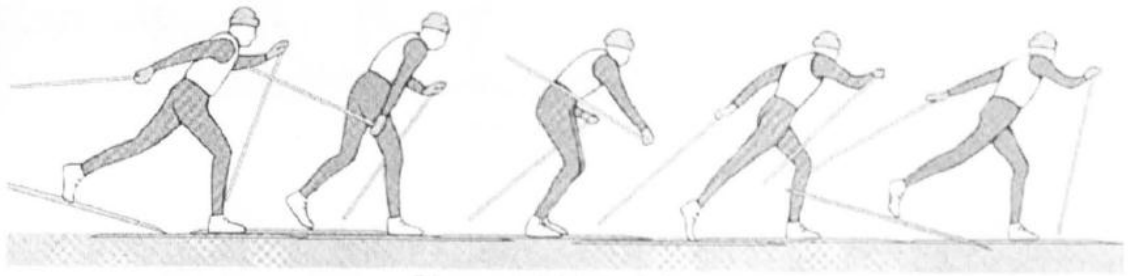
Suksen liukuminen:

1. Vapaa liuku
2. Liuku tukijalka ojentuen
3. Liuku tukijalka koukistuen

Suksi paikallaan:

4. Potku jalka koukistuen
5. Potku jalka ojentuen

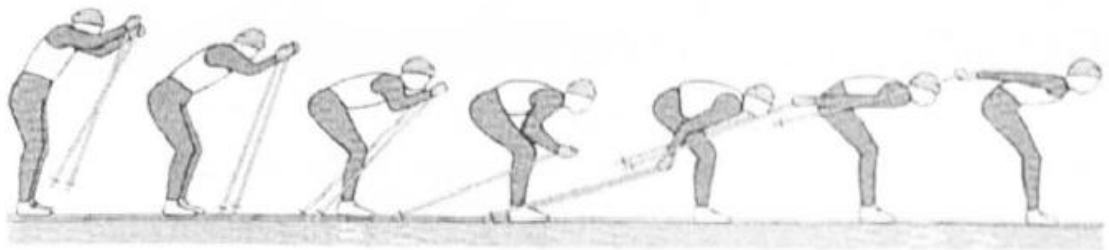
Vapaa liuku alkaa potkun suorittaneen jalan irrotessa ladusta ja loppuu sauvan iskeytyessä lumeen. Vapaan liu`un aikana hiihtäjän nopeus laskee liikettä rajoittavien voimien (kitka ja ilmanvastus) vaikutuksesta. Tämän jälkeen alkaa liuku tukijalka ojentuen ja vaihe päättyy kun tukijalka on ojentunut. Tukijalan ojentumisen aikana myös hiihtäjän nopeus kasvaa sauvatyönnön vaikutuksesta.. Tukijalan koukistuminen alkaa heti ojentumisen jälkeen ja päättyy suksen pysähtymiseen. Suksen pysähtyttyä alkaa neljäs vaihe eli potku tukijalka koukistuen, joka päättyy jalan ojentumisen alkamiseen. Potku tukijalka ojentuen on vuorohiihtoaskeleen viimeinen vaihe ja uusi askel alkaa suksen irrotessa ladusta. Viidennessä eli viimeisessä vaiheessa tuotetaan suurimmat hiihtonopeutta kiihdyttävät voimat. (Donskoj ym. 1971; Gagnon 1981; Smith 2003; Vähäsöyrinki 1996).



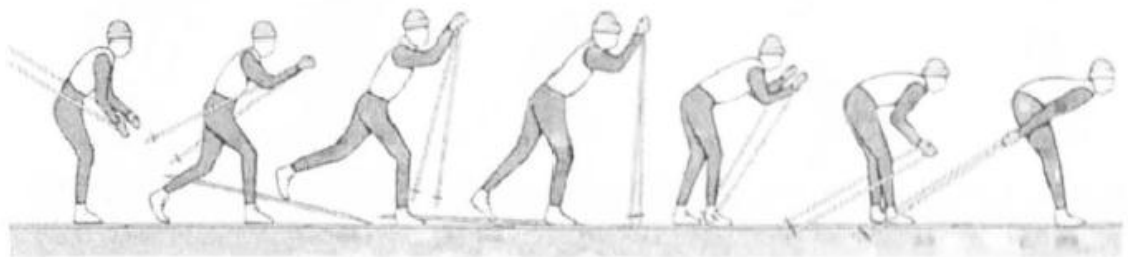
KUVA 1. Vuorohiihto (Smith 2003)

## 1.2 Tasatyöntö

Perinteisen tyylin toinen alalaji on *tasatyöntö* (Double poling) (Kuva 2). Tasatyönnössä sukset pysyvät latu-uralla miltei vierekkäin tekemättä liikettä. Toisin kuin vuorohiihdossa, jossa sauvoilla työnnetään vuoron perään, tasatyönnössä sauvoilla työnnetään yhtä aikaa vauhtia koko ylävartalon liikkeellä. Tasatyöntö on erityisen hyvä tekniikka silloin, kun luisto latu-uralla on hyvä ja maastonkohta tasainen tai loiva. Tasatyönnössä käytetään myös yksipotkuista versiota, jossa tasatyöntöä seuraa toisen jalan potkuvaihe. *Yksipotkuisessa tasatyönnössä* (Kick double poling) (kuva 3) jalan liike taakse lähtee sillä hetkellä kun kädet eteen heilahtaessaan ohittavat vartalolinjan. Potkun alussa suksea painetaan vertikaalisuunnassa kohti lumen pintaa, jolloin saadaan suksen pitoalueen kitka hyödynnettyä. (Kataja 1996)



KUVA 2. Tasatyöntö (Smith 2003)

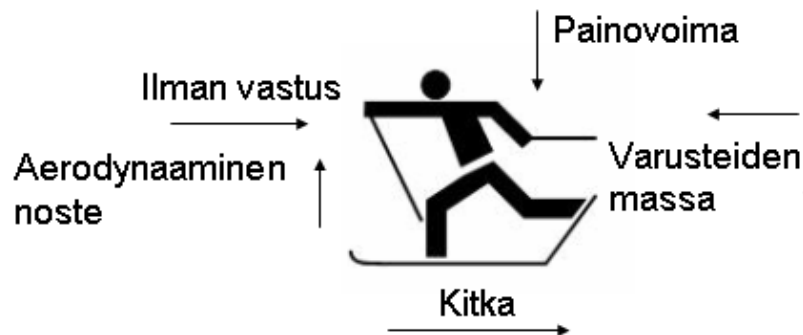


KUVA 3. Yksipotkuinen tasatyöntö (Smith 2003)

## 2 HIIHTONOPEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

On olemassa lukuisia biomekaanisia ja mekaanisia tekijöitä, jotka vaikuttavat hiihtosuoritukseen. Lyhyesti sanottuna hiihtämisen haaste on minimoida liikkeen ylläpitoon vaadittavat mekaaniset voimavaatimukset sekä metabolinen tehonkulutus. Biomekaniikka vaikuttaa tähän mekaanisen ja metabolisen tehonkulutuksen suhteeseen monella tavoin. Vaikutuksen laajuus on helpointa ymmärtää tutkimalla hiihtosuorituksen mekaanisia rajoitteita. Rajoitteita voidaan poistaa tai vähentää biomekaanisesti, muuttamalla hiihdon kinematiikkaa tai kinetiikkaa, tai mekaanisesti, minimoimalla mekaanisia rajoitteita.

Kuvassa 4 on esitetty yleisimmät hiihtoa rajoittavat mekaaniset tekijät.



KUVA 4. Hiihtoa rajoittavat mekaaniset tekijät

### 2.1 Painovoima

Merkittävin hiihtoa rajoittava tekijä on painovoima (gravitaatio). Se vaikuttaa hiihtoon suorasti ja monella tapaa myös epäsuorasti. Ilman painovoimaa hiihtäjä liikkuisi yhdellä työnnöllä äärettömän matkan. Painovoima voidaan määrittää kaavalla  $F = m \times g$ , missä  $m$  on hiihtäjän (+ varusteiden) massa ja  $g$  on gravitaatiovakio.

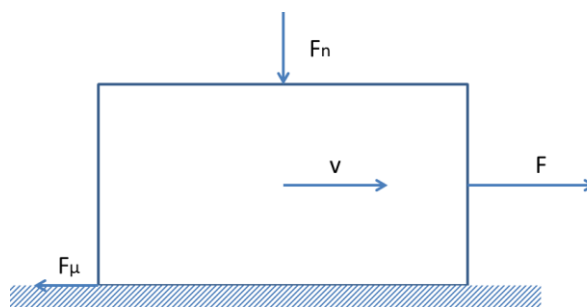


Mäkisessä maastossa gravitaatiovoimat voivat olla joko liikettä vastustavia tai myötäviä eli eteenpäin vieviä. Voiman suuruus riippuu maaston jyrkkyydestä ja on matemaattisesti laskettavissa kulman  $\sin$ :istä ( $\sin \alpha = \text{vastainen sivu/hypotenuusa}$ ). Jyrkissä alamäissä hiihtäjän vauhti kiihtyy, kunnes saavuttaa nopeuden, jossa painovoima, suksen/sauvan työntövoimat ja vastusvoimat ovat tasapainossa. Kun yksinkertaisesti liutaan mäkeä alas, tasapainotila saavutetaan hiihtäjän vauhtia kiihdyttävän painovoiman ja liikettä hidastavien vastusvoimien (kitka ja ilmanvastus) yhteisvaikutuksesta. Ylämäissä vastusvoimat ovat suhteessa pieniä ja hiihtäjän tekemä mekaaninen työ on pääosin gravitaation eli painovoiman voittamista. Kun painava hiihtäjä joutuu tekemään enemmän töitä mäkiä noustessa, hänen täytyy käyttää myös enemmän metabolista kapasiteettia työskentelyyn. (Smith 2003).

## 2.2 Kitka

Kitka on liikettä vastustava voima, joka havaitaan aina, kun kappale liikkuu toisen kappaleen tai pinnan yli. Vastustavaa voimaa, joka vaikuttaa liikutettavan kappaleen liikkeen suuntaa vastaan, kutsutaan kitkavoimaksi ( $F_{\mu}$ ) (Kuva 5). Staattinen kitkavoima (= lepokitkavoima) on vaadittava voima, joka saa aikaa kappaleen liikkeelle lähdön. Liikkeen ylläpitävää voimaa kutsutaan kineettiseksi tai dynaamiseksi kitkavoimaksi. Kitkakertoimella tarkoitetaan kitkavoiman ja normaalivoiman välistä suhdetta  $\mu = F_{\mu}/F_N$ . (Kivioja ym. 2007).

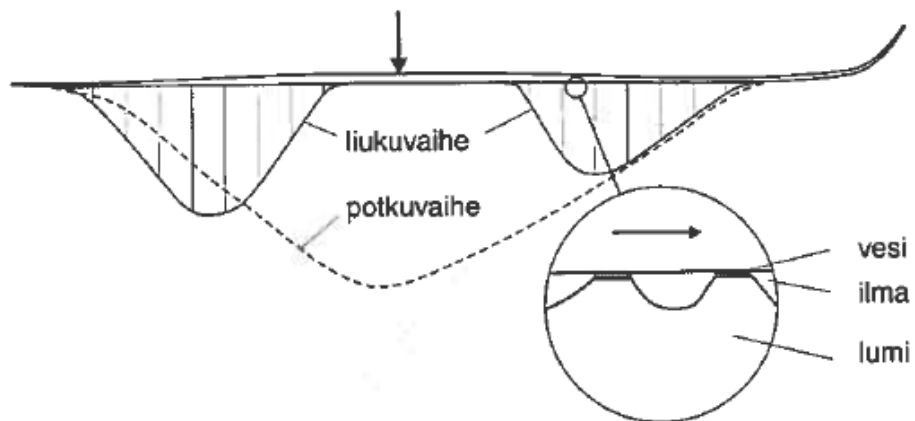
Kitkavoima ( $F_{\mu}$ ) johtuu siitä, että alustan ja sitä vasten liukuvan esineen (esim. lumi ja sukki) välisten pienten epätasaisuuksien reunat on murrettava, jotta esine voisi liukua toista vasten. Kitkavoiman suuruus riippuu pintojen ominaisuuksista ( $\mu$ ) ja siitä, miten voimakkaasti ne painuvat toisiaan vasten ( $F_N$ ). Jos  $\mu=0$ , niin kitkavoimaa ei ole ja jos  $\mu=1$ , niin kappale ei liuku ollenkaan. (Ahonen ym. 1998).



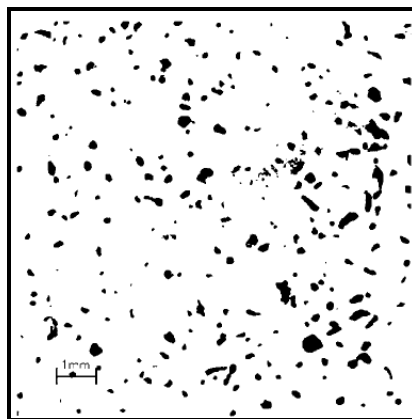
KUVA 5. Liukuvien kappaleiden välissä vaikuttaa kitkavoima  $F_{\mu}$

Suksen ja lumen välisiä kosketusvoimia on tutkittu paljon. Kosketus muodostuu useista pistemäisistä kosketuksista (Kuvat 6 ja 7). Toisaalta kitkakertoimeen vaikuttaa kitkaenergiasta johtuva sulaminen, jolloin pintojen kosketuskohtaan syntyy voiteleva vesikalvo. Vesikerroksen ominaisuudet riippuvat mm. lumessa olevan vapaan veden määrästä, lumen raakoosta ja -muodosta sekä lämpötilasta. (Kivoja ym. 2007; Fauve ym. 2008).

Lumen kosketusparametrien, kuten todellisten kosketuskohtien lukumäärän ja todellisen kosketusalan määrittäminen on keskeinen osa lumen kitkamekanismien selvityksessä. Yksittäisen kosketusalueen koolla on merkittävä vaikutus mm. suksen ja lumirakenteen välissä vallitsevan osittaisen nestekalvon paksuuteen ja näin myös kitkaan. (Lehtovaara 1989).



KUVA 6. Kaaviokuva perinteisen hiihtotavan suksen painejakaumasta ja kosketustilanne suksen alla liukutilanteessa (Kivoja ym. 2007).



KUVA 7. Kontaktipisteet lumen ja tasaisen suksen polyteenipohjan välillä. Lämpötila  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Paine 40 kPa, lumen raekoko 500-1000  $\mu\text{m}$ . Suhteellinen kontaktipinta on 6,4 %. (Fauve ym. 2008).

Matala liukukitka lumen ja suksen välillä on kitkalämmön synnyttämän ohuen vesikalvon ansiota (Bowden ja Hyghes, 1939). On myös osoitettu, että liukukitka koostuu useasta tekijästä, kuten kuivasta kitkasta eli hankauskitkasta, märästä kitkasta eli imusta ja kapillaarivoimista sekä vastuksista, jotka aiheutuvat suksen puristumisesta lumen pintaan ja lumen syrjäyttämisen aiheuttamista voimista. (Glennie 1987; Colbeck 1994; Rantalainen 1995).

Kitkavoimien aikaansaama lämmön kohoaminen vaihtelee olosuhteiden mukaan varsin paljon. Kitkan suuruus riippuu lämpötila- ja lumiolosuhteiden lisäksi esim. nopeudesta, hiihtäjän painosta, luistopintojen koosta ym. Nopeuden kasvaessa myös kitkavoiman vaikutus luistoon lisääntyy. Lepokitkaa eli suksen pitoa vastaava tilanne vallitsee, kun liukumisnopeus on alle 0,03 m/s. Tätä suuremmilla nopeuksilla kitkakerroin pienenee aina noin 5 m/s nopeuteen asti, jonka jälkeen se tasaantuu tai alkaa jopa nousta. Edellä mainitulla nopeusalueella kitkalämpö aiheuttaa pakkaskelillä kitkaa pienentävän ja luistoa parantavan vesikerroksen. Tämän huomaa testaamalla suksia useilla eri nopeuksilla, jolloin voi havaita suuriakin eroja luistoissa. Usein jopa aluksi hitaalla nopeudella testattaessa huonosti luistaneet sukset osoittautuvat vauhdikkaammassa testissä muita paremmiksi. Tämä johtuu siitä, että kitkavoiman johdosta syntyneen veden määrä ei ole hitaalla nopeudella testattaessa riittävä, jolloin luistokaan ei ole hyvä. Ilmiö voi olla myös vastakkainen eli nopeuden kasvaessa luisto huononee. (Suominen 1983; Rantalainen 1995).

Pienin kitka eli paras luisto lumen ja suksen välissä saavutetaan kuivalla lumella n. -4 asteen lämpötilalla ja kuivalla jääkelillä. Kostealla ja sohjoisella kelillä luisto heikkenee johtuen lumessa olevasta liian suuresta vapaan veden määrästä, jolloin suksen paine voi lisätä veden määrää suksen ja lumen välissä veden viskositeetti alkaa vaikuttaa negatiivisesti kitkakertoimeen. Tällöin luisto- ja pito-ominaisuuksia pyritään parantamaan voiteen kovuusasteen ja vedenhylkimiskyvyn, oikean suksirakenteen, pohjamateriaalin ja pohjamateriaalin pintakäsittelyn avulla. Liian kylmällä ilmalla taas voitelevan vesikalvon paksuus jää liian pieneksi. (Kantola ym. 1985; Suominen 1983; Puukilainen 2002).

### 2.3 Voiteen kuluminen

Voiteen kulumista on erittäin vaikea mitata käytännön olosuhteissa muuten kuin näköhavainnon perusteella voidellun suksen pohjasta tai liikekitkan mittauksen perusteella. Laboratorio-olosuhteissa on olemassa monia välineitä/laitteita, joilla voiteen määrää voidaan mitata. Suksi voidaan punnita tarkasti ennen ja jälkeen hiihdon, Voiteen paksuutta voidaan mitata suoraan erilaisilla manuaalisilla mittalaitteilla (mittakellot, mikrometriruuvit) ja voiteen määrää voidaan arvioida erilaisilla optisilla mittalaitteilla (mikroskoopit jne).

Suomisen (1983) mukaan voiteen kulumiseen vaikuttavat pohjamateriaalin hionta (karhennus vähentää kulumista), voidekerroksen paksuus (paksusta voidekerroksesta suhteellinen kulumisprosentti on pienempi kuin ohuesta kerroksesta), lumityyppi (karkea lumi lisää kulumista), hiihtonopeus (nopeuden kasvu lisää kulumista) ja sukseen kohdistuva paine (paineen kasvu lisää kulumista).

Suomisen (1983) tekemien laboratoriotestien mukaan voiteen kuluminen on suurinta karkearakeisella irtolumella ja jääkelillä. Kun voidekerros on tällöin ohut, eniten voidetta kuluu ensimmäisen 5 km:n aikana. Sen jälkeen kulumisprosentti pienenee. Tähän on selityksenä ilmeisesti se, että alussa voidetta on pohjassa enemmän kuin pelkästään pohjan epätasaisuuksissa. Tällöin terävät lumikiteet kuluttavat eniten tasaista voidepintaa. Uudella ja jäätävällä lumella voide kuluu pohjamateriaalista tasaisesti matkan aikana ja samoin käytettäessä paksua voidekerrosta (0,1-0,5 mm).

### **3 LUISTO- JA PITO-OMINAISUUKSIEN MITTAUS HIIHDOSSA**

Sukset ja voiteet kehittyvät jatkuvasti. Eri suksi- ja voidevalmistajat tuovat joka vuosi markkinoille uusia kehitelmiään. Suksien kitka ja luisto-ominaisuuksia on tutkittu maailmalla melko paljon, mutta sellaista menetelmää, jolla helposti ja varmasti voidaan mitata kentällä suksen ja suksivoiteen luisto- ja pito-ominaisuutta, ei ole vielä keksitty. Luiston mittana voidaan käyttää liikekitkakertoimen arvoja. Kitkakertoimet eivät kuitenkaan yksin selitä kaikkia niitä ilmiöitä, jotka vaikuttavat käytännön hiihtotilanteeseen. Erityisesti pito on vaikea määrittää pelkän kitkakertoimen avulla. Hiihtäjän oma tuntuma suksen hiihdettävyysominaisuuksiin yleensä ratkaisee pidon sovittamisen voitelun viimeistelyvaiheessa. Ensiksi on haettava optimiluisto eli sukselle pienin mahdollinen liikekitka. Tämän jälkeen sovitaan pito siten, että se suurentaa liikekitkaa mahdollisimman vähän. Tulos on kahden tekijän kompromissi.

Lumen kosketusparametrien, kuten todellisten kosketuskohtien lukumäärän ja todellisen pinta-alan määrittely on keskeinen osa lumen kitkaominaisuuksien määrittämisessä. Yksittäisen kosketusalueen koolla on merkittävä vaikutus esim. suksen ja lumirakenteen välissä vallitsevan osittaisen nestekalvon paksuuteen ja näin myös kitkaan. (Lehtovaara 1989). Pitovoiteen koostumus ja määrä ovat tekijöitä, jotka ratkaisevat suksen pito-ominaisuuden. Lämpötila ja lumen koostumus määrittelevät pitkälti sen, mitä pitovoidetta käytetään. Pitovoiteen määrän taas määrittelee hiihtomatkan pituus ja lumen koostumus (kuluttava vaikutus). Pitovoiteen lisäämisellä yleensä vaikutetaan negatiivisesti suksen luisto-ominaisuuksiin. Tästä tullaankin taas siihen, että myös pitovoitelu on monen eri tekijän kompromissi ja yleensä siihen vaikuttaa eniten voitelijan tietämys ja kokemus.

#### **3.1 Suksen ja voiteiden testaaminen**

Suksien ja voiteiden testaaminen on jokaisen kilpahihtäjän, ja miksei myös aktiiviharrastajan, välttämätön toimenpide. Jotta osataan valita oikea suksi kisatilanteeseen tai vain haastavalle lenkille, on kalusto tunnettava ja näin ollen myös

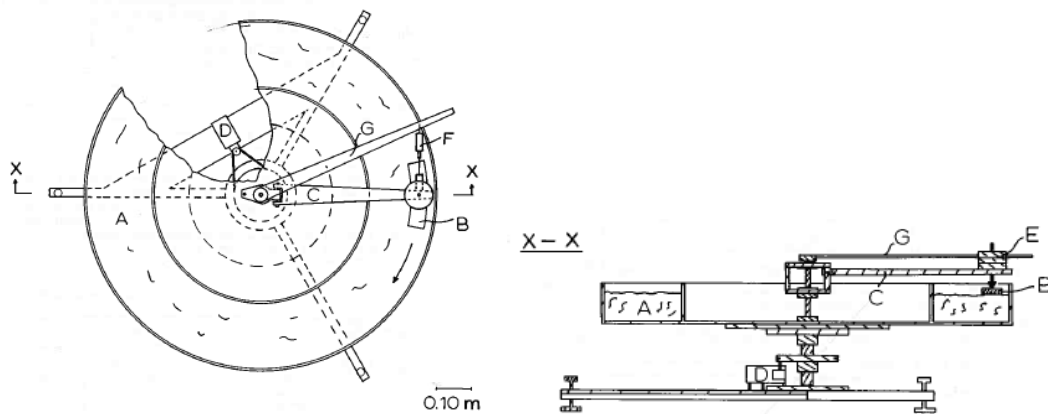
testattava etukäteen. Samalla, kun suksia testailaan, luottamus välineisiin paranee. Varsinkin kisatilanteessa voiteiden ja välineiden hyvä tunteminen helpottaa ja nopeuttaa suksen valintaa ja voittoa. Kaikenlaiset kelit kattavan suksipaketin kokoamiseen voi kilpahihtäjällä mennä jopa useita vuosia. (Myllylä ym. 1994).

Suksien testaamisessa luotettavin tulos saadaan, kun vertailtavien suksien pohjakuviointi on samanlainen. Käytännössä tämä tapahtuu siten, että testattaviin suksiin hiotaan jokin yleiskuvio. Tämän jälkeen suksia testataan (myös kilpaillaan tarvittaessa) ja pyritään löytämään suksiparille optimaalisin keli-alue. Kun paras keli-alue on löytynyt, voidaan sukset viedä viimeistellä hiomalla niihin keliin sopiva kuviointi. (Myllylä ym. 1994).

Erilaisia suksen ja voiteiden (pääosin luistovoiteiden) mittaamiseen soveltuvia laitteita on kehitetty kautta aikojen. Pääosin laitteet ovat olleet käyttökelpoisia vain laboratorioolosuhteissa ja ympäristössä, mutta jotain kehitelmiä on pystytty aikaansaamaan myös kenttäolosuhteisiin. Seuraavassa muutamia esimerkkejä.

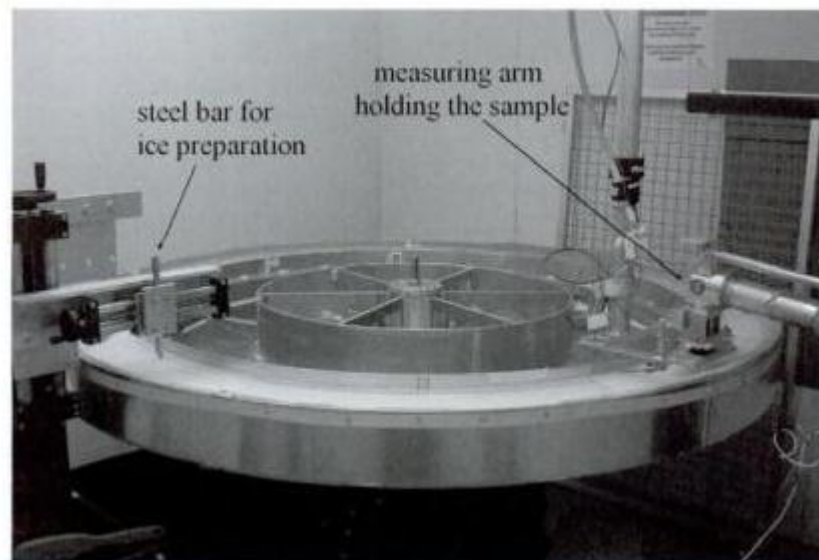
### **3.1.1 Laboratoriolaitteet**

Keinonen ym. (1978) kehitti kuvan 8 mukaisen laitteen, jolla voidaan mitata suksen pohjamateriaalin ja lumen/jään välistä kitkaa. Laitteessa oli pyöreä (halkaisija 1 m), akseloitu pöytä, jonka päälle tehtiin lumi/jäävaippa. Pöydän keskiössä oli kiinni keskiosan ympäri vapaasti pyörivä varsi, johon kiinnitettiin mitattava testikappale (suksen pohjamateriaali). Pöydän kulmanopeutta säädettiin sähkömoottorilla. Liukukappaleen ja pinnan välistä voimaa voitiin säätää erillisten painojen avulla. Liukukappaleen liikettä jarrutettiin jousella, joka samalla mittasi kitkavoimaa. Jousi oli kiinnitetty pöytään keskiöityyn, kiinteään varteeseen. (Keinonen ym. 1978).



KUVA 8. Suksen ja lumen välisen kitkan mittausslaite (Keinonen ym. 1978).

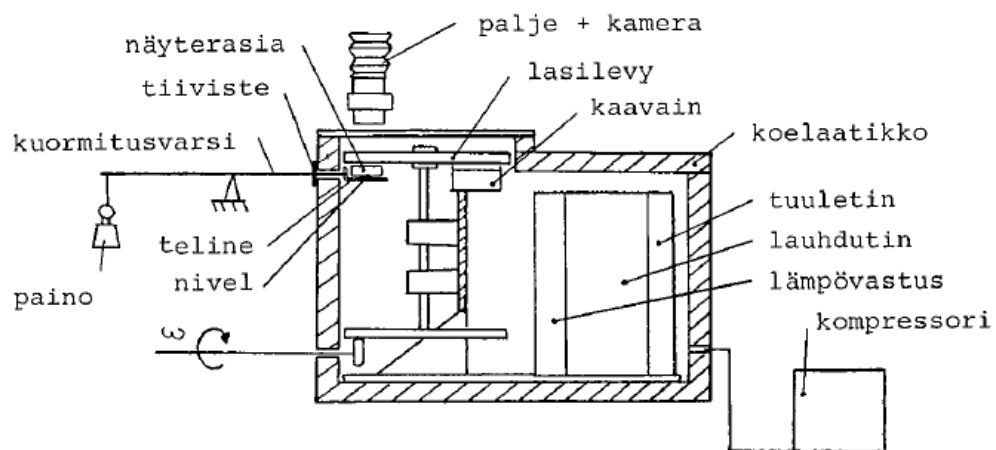
L. Bäurle ym. (2006) kehittivät hieman samannäköisen laitteen kuin Keinosen laite. (Kuva 9). Laitteessa oli halkaisijaltaan 1,8 m pyörivä pöytä, jonka ulkokehälle jäädytettiin 2-5 cm paksu jääpatja. Pöytä rakennettiin kylmätilaan, jonka lämpötila oli säädettävissä -20 ja +1 asteen välillä. Pöydän nopeutta voitiin säätää 0,5-20 m/s välillä. Kitkavoimia mitattiin mittavarrella, johon kiinnitettiin koekappale (koepala suksen pohjasta), jonka pituus oli 4 cm ja leveys 0,5-2,5 cm. Koepalaa painavaa voimaa voitiin säätää välillä 20-100 N. Laitteessa oli myös jään viimeistelyvarsi, jonka 2mm teräs kärjellä höylättiin jään pinta tasaiseksi. (Bäurle ym. 2006).



KUVA 9. Bäurlen kitkanmittauslaite (Bäurle ym. 2006)

Arto Lehtovaara kehitti vuonna 1989 lumen kosketusparametrien mittalaitteen. Tavoitteena oli kehittää laite, jolla voidaan tutkia luistonopeuden, luistomatkan, kosketuspaineen, lämpötilan ja eri lumityyppien vaikutusta kosketusparametreihin (Todellinen kosketusala ja kosketuskohtien lukumäärä). Laite (Kuva 10) sijoitettiin

foliopäällysteiseen polyuretaanilaatikkoon, joka voitiin jäähdyttää lauhduttimella. Lämpötilaa voitiin säätää  $-20 - +5$  asteen välillä. Mittauslaitteessa oli ympyränmuotoinen (halk. 180 mm) lasilevy, jota pyöritettiin luminäytettä vasten sähkömoottorikäyttöisen kitkavariaattorin avulla. Nopeus oli portaattomasti säädettävissä välillä 0-1 m/s. Luminäytteen kuormitusta lasilevyä vasten säädettiin kuormitusvarren ja painojen avulla. Kokeessa luminäytteen ja lasilevyn välinen kosketustilanne valokuvattiin kameralla. Tutkittavalle lumelle tehtiin esivalmistelu siten, että se ensin asetettiin laitteeseen ja painettiin tutkittavalla kuormalla lasilevyä vasten. tämän jälkeen luminäytteen pintaan ripoteltiin nokea ja puhallettiin kevyesti, jotta noki levisi tasaisesti koko alueelle.. Tämän jälkeen näyte asetettiin takaisin laitteeseen, jota alettiin pyörittää. Näytettä kuvattiin pyörimisen aikana ja kuvista voitiin analysoida kosketuskohtien lukumääriä ja pinta-aloja. (Lehtovaara 1989).



KUVA 10. Lumen kosketusparametrien mittauslaite (Lehtovaara 1989).

Vuokatin hiihtoputkessa on Jyväskylän Yliopiston liikuntabiologian laitoksen rakentama suksen pysty- ja vaakavoimien tutkimiseen suunniteltu suksen liikutuslaite (Kuva 11). Laitteen runkona toimii 13680 mm:n pituinen lineaarijohdin, jolla saadaan sukselle 12000 mm liikemata. Lineaarijohtimessa on kaksi hammashihnalla liikutettavaa kelkkaa. Kelkkojen liikutukseen saadaan voima 7.5 kW oikosulkumoottorista. Kelkkoihin on kiinnitetty suksen kiinnityslaitteen lisäksi pneumaattinen sylinteri, jolla saadaan suksea painettua alustaa vasten. Alustaan, jonka keskellä on 6 kappaletta metrin mittaisia voimalevyjä, tehdään lumesta latu. Voimalevyt mittaavat sukseen kohdistuvaa vaaka- ja pystyvoimaa. Sekä vaaka- että pystyvoimista saadaan analogiset summasignaalit mV:eina ja ne muunnetaan voimiksi (N). Liikkeitä,



voimia ja ajoituksia ohjataan ja säädellään käyttämällä NI 6259-tiedonkeräilykorttia sekä LabView – ohjelmaa. LabView-ohjelma ohjaa taajuusmuuttajan avulla sähkömoottorin kierroksia ja momenttia. Tällä simuloidaan suksen vaakaliikettä. Suksesta alustaan kohdistuvia voimia simuloidaan ohjaamalla pneumaattisen sylinterin painetta. Tietokoneen kuvaruudulta voidaan ohjelmalle antaa arvoja hiihtäjän kehonpainosta, hiihtonopeudesta ja hiihtotavasta. Hiihtotavasta riippuen ohjelma säätää alustaa vasten hiihtäjän kehonpainoa vastaavan voiman. Kuvaruudulta voidaan antaa myös arvo potkuindeksi. Potkuindeksi voidaan määrittää jokaiselle hiihtäjälle erikseen. Arvo kertoo sen kuinka suuren potkuvoiman hiihtäjä maksimissaan pystyy tuottamaan suhteessa omaan kehonpainoon. Laitteen antamia voimasignaaleja voidaan analysoida Spike-, signal- tai Labview-ohjelmalla. (Kolehmainen 2006).



KUVA 11. Vuokatin hiihtopotken suksenliikutuslaite (Kolehmainen 2006).

### 3.1.2 Kenttätestaus

Federico Formenti ym mittasivat vuonna 2005 erilaisten historiallisten ja nykyaikaisten sukseen kitkaominaisuuksia kahdella inertiaalisella sensorilla, MT9:llä, jotka oli kiinnitetty kelkkaan, jossa testattavat sukset olivat kiinni. Kelkan päälle istui henkilö, jonka jälkeen kelkka työnnettiin liukuun ja siitä mitattiin hidastuvuus sekä laskettiin hidastuvuuden avulla kitkakerroin. Tutkimukset tehtiin Vuokatin hiihtopotkessa. Tulokset taulukossa 1. (Formenti ym. 2005).

TAULUKKO 1. Formentin suksien mittauskokeen tulokset (Formenti ym. 2005).

date	model	material	length (mm)	width (mm)	underside	pole(s)	mass <sup>a</sup> (kg)	dynamic $\mu \pm$ s.d.	metabolic cost $\pm$ s.d. ( $\text{J kg}^{-1} \text{m}^{-1}$ )
542 AD	'Mantta' <sup>ab</sup> , (figure 2)	pine	1680	149	badger fur	1	5.0	$0.151 \pm 0.036$	$4.285 \pm 0.643$
1300 AD	asymmetric (long) <sup>b</sup>	birch	3000	97	none	1	5.0	$0.085 \pm 0.006$	$3.883 \pm 0.554$
	(short) <sup>b</sup>	birch	2000	89	seal skin	—	—	—	—
1890 AD	end 1800 <sup>b</sup>	birch	2870	78	tar	2	6.7	$0.054 \pm 0.005$	$3.170 \pm 0.225$
1970 AD	last wood	hickory	2000	47	wax	2	2.6	$0.020 \pm 0.006$	$2.340 \pm 0.195$
2004 AD	modern (DS) <sup>c</sup>	carbon fibre	2010	46	wax	2	2.2	$0.013 \pm 0.004$	$2.106 \pm 0.210$
2004 AD	modern (SK) <sup>d</sup>	carbon fibre	1840	43	wax	2	2.0	—	$1.917 \pm 0.181$

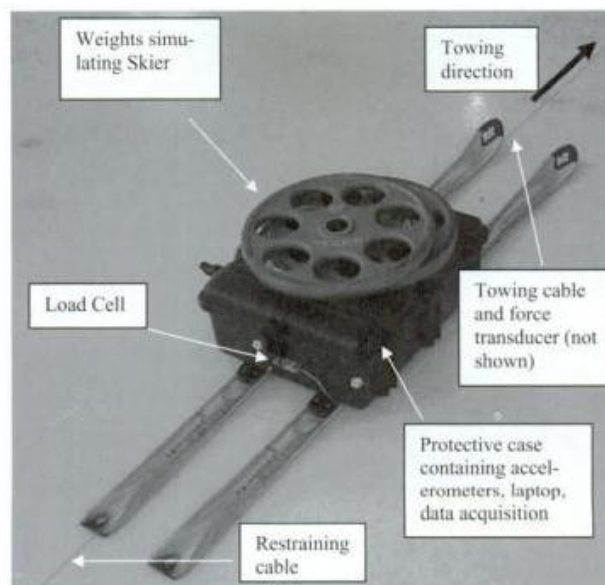
<sup>a</sup> Includes skis, bindings, boots and pole(s).

<sup>b</sup> Replicas of archaeological specimens.

<sup>c</sup> Diagonal stride.

<sup>d</sup> Skating.

Paul Miller ym. (2006) kehitti lumen ja suksen välisen liikekitkan mittaamiseen kuvan 12 mukaisen prototyypin. Laite sisälsi suojakotelon, jonka pohjaan oli kiinnitetty laskettelumonoista leikatut pohjat, joihin voitiin kiinnittää sukset normaaleilla siteillä. Suojakotelon sisällä oli kaikki datankeruuseen liittyvät laitteet: Tietokone (LabView-ohjelmisto), suksien kitkavoimia mittaava, vastakkaisiin suuntiin vetävien vaijereiden välisten jännitysten mittaamiseen tarkoitettu mittaussyksikkö (Omega LC201-100 ja Omega 2511 LCEB-25) ja 3-akselinen kiihtyvyyssmittari. Vetovaijerissa oli kiinni voimanmittausanturi. Hiihtäjän painoa simuloitiin suojakotelon päälle asetettavilla levypainoilla. (Miller ym. 2006).



Kuva 12. Paul Millerin kitkanmittaus prototyyppi (Miller ym. 2006).

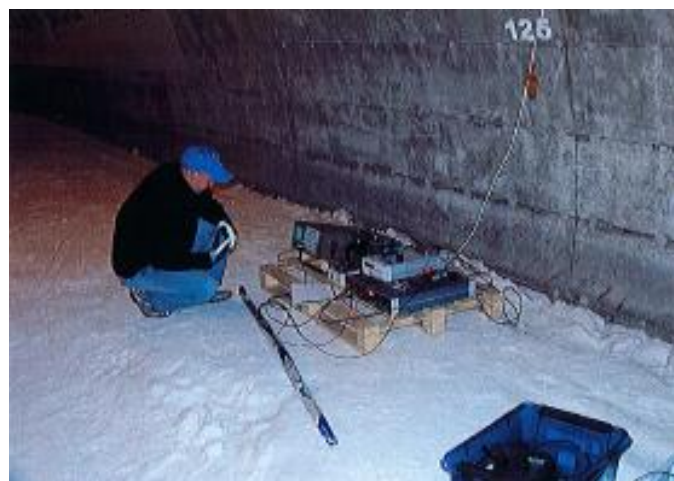
Tieto-Oskari Oy:n kehittämä Skispeed-suksen luiston mittauslaite (kuva 13) on langaton laskunopeuden mittauslaite ladulla tehtäviin luistotesteihin. Laite asennetaan hiihtäjän jalkaan ja ladun viereen asennetaan mitta-antureita (3 kpl), jotka ohittaessaan laite rekisteröi laskussa kuluvia aikoja. (Tieto-Oskari Oy)



KUVA 13. Skispeed-suksen luiston mittauslaite (Tieto-Oskari Oy)

Mika Huovinen (2006) kehitti diplomityössään optisen mittalaitteen suksen luiston mittaamiseen (Kuva 14). Tutkimuksessa Oulun yliopiston mittalaitelaboratoriossa, MILA:ssa suunniteltu ja kehitetty mittapää asennettiin suksen pohjaan. Laitteiston lähtökohdaksi valittiin lukitusvahvistin, jonka avulla mittaustulokset muunnettiin digitaalisesta analogiseen muotoon. Valon siirto tapahtui optisten kuitujen avulla. Valonsäteen katkontaan käytettiin pyörivää levyä, joka katkoi valosignaalin ennen kuituun syöttöä. Laitteistossa oli esivahvistimet kullekin kanavalle. Varsinainen mittaus suoritettiin lukitusvahvistimen avulla ja signaaleja analysoitiin tietokoneen avulla.

Mittauslaitteiston kehittelyn tarkoitus oli mitata lumen pinnasta takaisin sironneen valon määrää ja määrittellä sen avulla pinnan vapaan veden määrä ja lumen raekoko, jotka ovat suksen luistoon vaikuttavia tekijöitä. (Huovinen 2006).



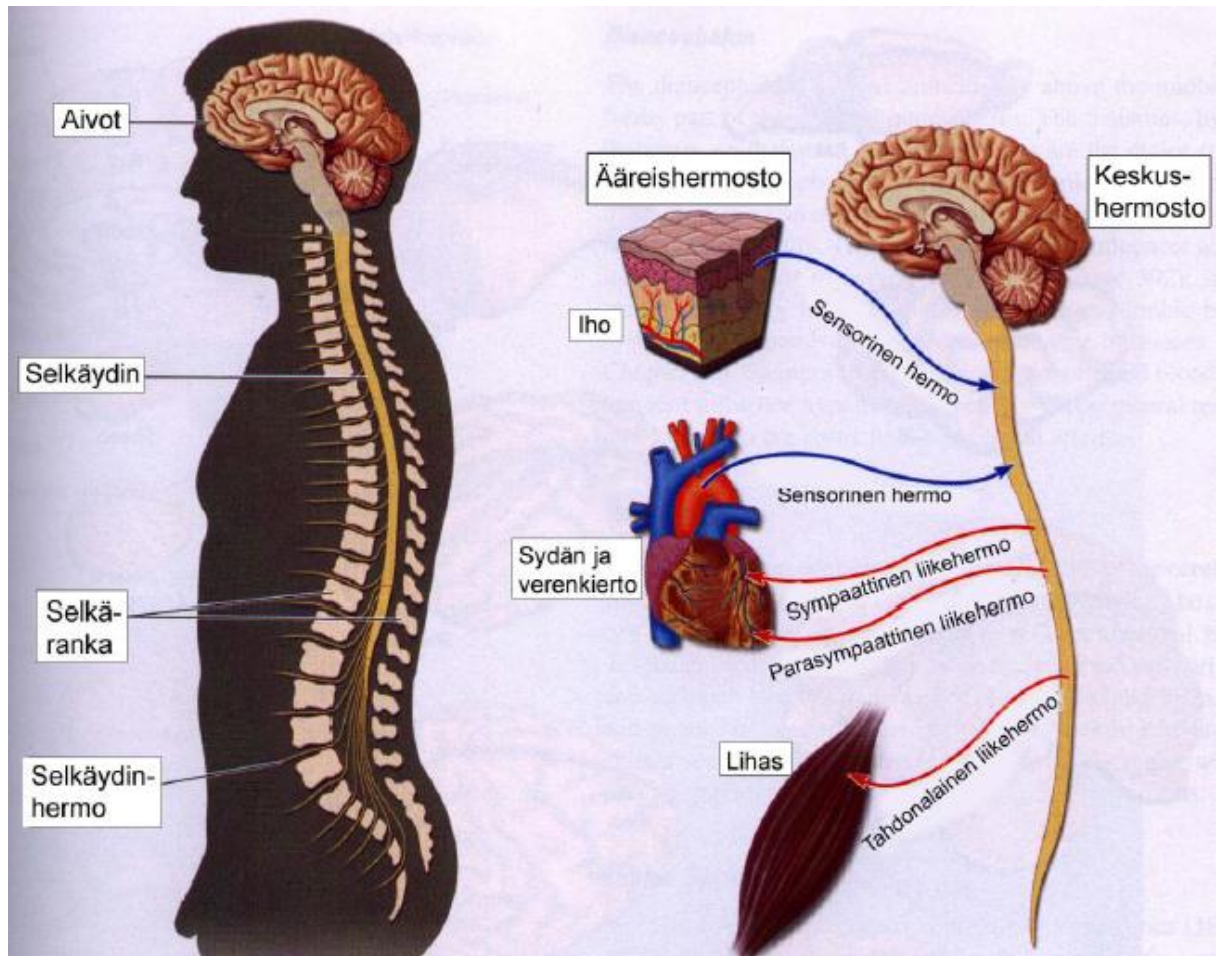
KUVA 14. Huovisen mittauslaitteiston testaus Vuokatissa (Huovinen 2006)

## 4 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA

Hermosto jaetaan anatomisesti keskus- ja ääreishermostoon. Keskushermoston muodostavat aivot ja selkäydin (Kuva 15). Aivorungon ja selkäytimen toimintaa säätelevät pyramidirata, ekstrapyramidijärjestelmä ja pikkuaivot. Pyramidirata on yksi tärkeistä väylistä, jotka kuljettavat motorisia signaaleja aivojen motorisesta korteksista selkäytimen motoneuroneille. pyramidiradan eli kortikospinaaliradan toiminta liittyy tahdonalaisiin tarkkuutta vaativiin liikkeisiin. Ekstrapyramidaalisiin ratoihin luetaan aivoista alfa- ja gammamotoneuroneihin kulkevat motoriset radat, jotka eivät kuulu pyramidirataan. Ekstrapyramidijärjestelmä osallistuu tasapainon ja muiden refleksien säätelyyn ja lihastonuksen ylläpitoon. Pikkuaivot koordinoivat lihasten toimintaa ja ohjaavat nimenomaan nopeita liikesarjoja. (Guyton 1996; McArdle 2007)

Ääreishermosto koostuu keskushermoston ulkopuolella olevista hermosoluista. ääreishermosto voidaan edelleen jakaa sensoriseen ja motoriseen osaan, ja jälkimmäinen vielä autonomiseen ja somaattiseen osaan. Ääreishermoston reseptoreista viestit kulkeutuvat keskushermostoon sensorisia hermoja (tuntohermoja) pitkin. (Mero ym. 2007)

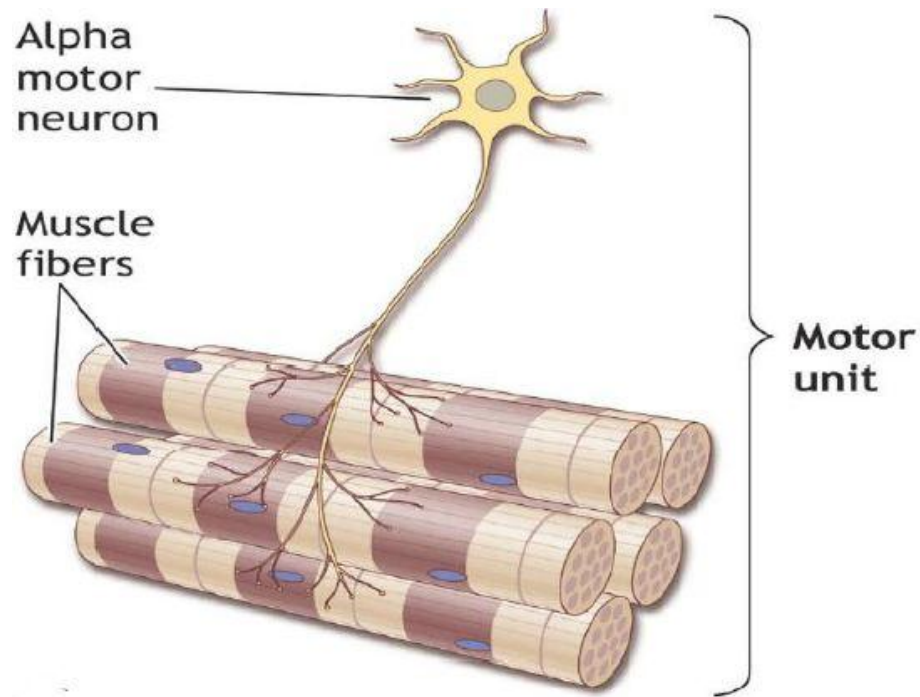
Tiedon kulku hermostossa eri elinten välillä tapahtuu sähköisesti. tiedon siirron toiminnallinen yksikkö on hermosolu. aktiopotentialin etenemistä nopeuttaa hermosolun paksuus ja myeliinitupellisuus. Hermosolu voi ottaa vastaan fasilitoivaa (aktivoivaa) tai inhiboivaa (estävää) tietoa. Toimintakäskyt kulkevat lihaksille pääasiassa motorista liikehermoa, alfamotoneuronia pitkin. (Guyton 1996).



KUVA 15. Hermolihasjärjestelmän rakenne (mukaeltu McArdle ym. 2001 (Mero ym. 2007)).

#### 4.1 Tahdonalainen hermotus

Tahdonalainen supistuskäsky alkaa aivoista, josta se kulkee selkäytimen kautta motorisia liikehermoja pitkin lihakseen. Liikuntasuorituksen kannalta oleelliset lihakset saavat käskyt selkäydinhermojen kautta. Keskushermoston rooli on hyvin keskeinen tahdonalaisessa voimantuotossa. Mitä nopeammin ja mitä enemmän pystytään lähettämään supistuskäskyjä lihaksille, sitä tehokkaammin lihas tuottaa voimaa. Voimantuoton toimeenpanija on hermolihasjärjestelmän pienin toiminnallinen kokonaisuus, motorinen yksikkö (MY), jonka muodostavat motorinen hermosolu (alfamotoneuroni), sen päätehaarat ja niiden hermottamat lihassolut (Kuva 16)

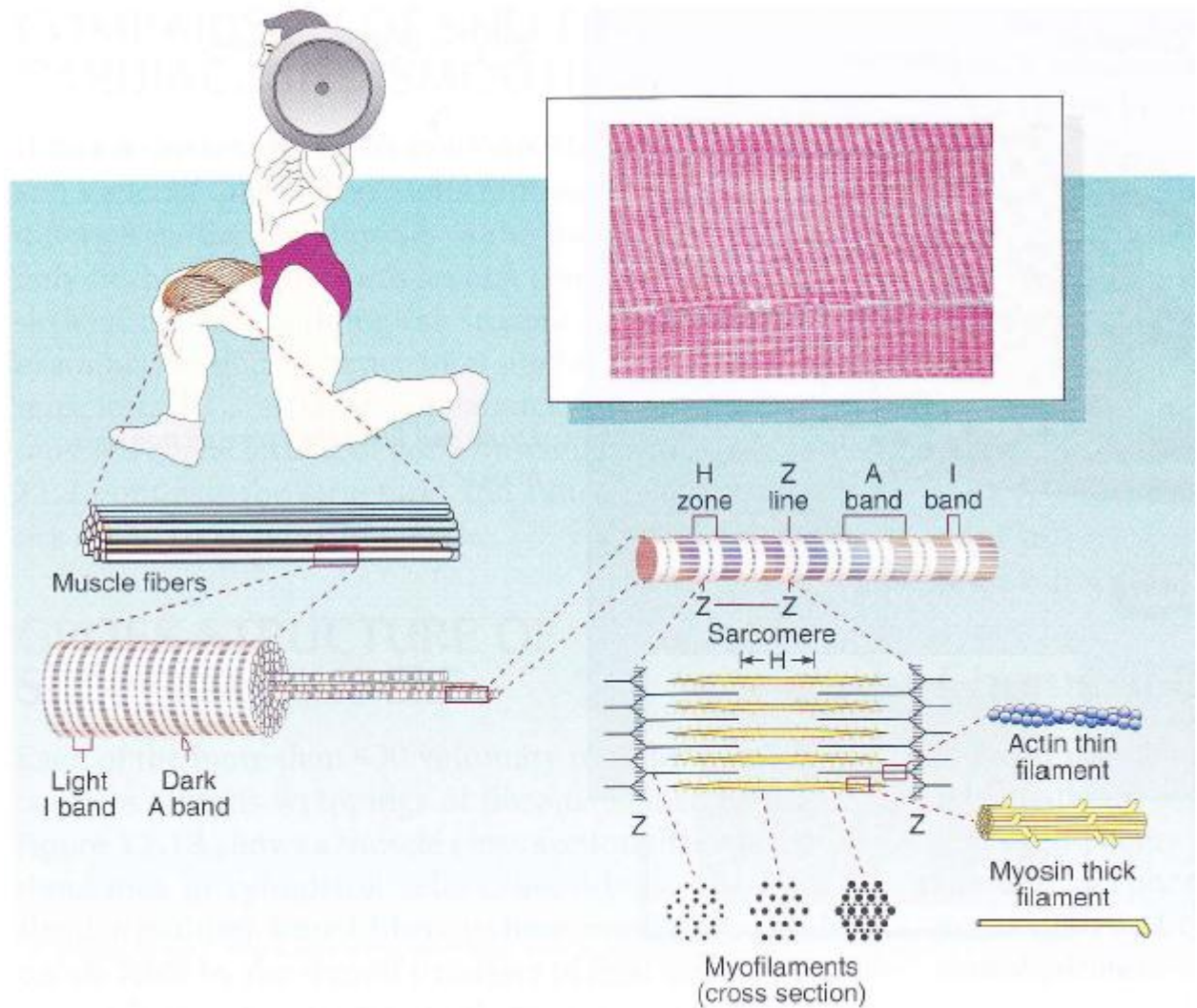


KUVA 16. Motorinen yksikkö (McArdle ym. 2007).

Motorinen hermosolu jakautuu useisiin päätehaaroihin. Jokainen näistä haaroista liittyy hermolihasliitoksen välityksellä yhteen lihassoluun. Tieto hermosolusta lihakseen kulkeutuu hermolihasliitoksessa kemiallisten välittäjäaineiden avulla. motoristen yksiköiden koko eli hermottavien lihassolujen määrä vaihtelee (McArdle 2007; Enoka 1994 )

## 4.2 Luurankolihasen rakenne ja toiminta

Luurankolihas koostuu lihassolukimpuista, jotka ovat rakentuneet yksittäisistä lihassoluista. Lihassolua ympäröi sarkolemma, joka on osittain painunut sisään muodostaen T-tubuluksia. Lihassolun sisällä on myofibrillejä, jotka ovat jakautuneet peräkkäisiin sarkomeereihin. Sarkomeerien väleissä on z-levyt, joihin liittyneinä ovat aktiinifilamentit. Myosiinifilamentit sijaitsevat aktiinifilamenttien väleissä. (Gyoton 1996). (Kuva 17)



KUVA 17. Lihaksen rakenne (McArdle 2000).

Keskushermostosta lähtenyt aktiopotentiaali leviää solukalvoa pitkin ja T-tubuluksien kautta solun sisään. Tästä seuraa kalsiumin vapautuminen, joka johtaa lihassolun supistumiseen. Myosiinifilamenttien pinnalla olevat poikkisillat kiinnittyvät aktiinifilamentteihin, vetäen z-levyjä lähemmäksi toisiaan ja lyhentäen näin sarkomeeria. Peräkkäisten sarkomeerien yhtäaikaisen supistumisen seurauksena koko solu lyhenee. Aktiopotentiaalin loputtua kalsium siirtyy takaisin retikulumiin, poikkisillat purkautuvat ja solu relaksoituu. (Guyton 1996).

## 5 LIHAKSEN ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA

Lihassolu tarvitsee supistumiseen energiaa. Energianlähteitä ovat välittömät energianlähteet ATP (adenosiinitrifosfaatti) ja KP (kreatiinifosfaatti) sekä hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit. Välittömät energianlähteet loppuvat jo noin 5-20 sekunnin kuluttua, jonka jälkeen energiaa tuotetaan joko aerobisesti tai anaerobisesti riippuen hapen saatavuudesta. (Guyton 1996).

Kevyessä lihastyössä elimistö tuottaa energiaa (ATP:a) soluhengityksenä mitokondrioissa happea hyväksi käyttäen. Glukoosi pilkkoutuu glykolyysissä palorypälehapoksi, jonka jälkeen siitä muodostetaan ATP:tä. Aerobisen energianmuodostuksen energianlähteinä ovat hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit, joista rasvat riittävät pisimpään. (Guyton 1996).

Korkeaintensiteettisessä suorituksessa alkaa palorypälehappoa kertyä lihakseen. Tällöin ATP:a valmistetaan anaerobisen glykolyysin avulla glukoosista ilman happea. samalla lihakseen muodostuu maitohappoa ja lihaksen vetyinikonsentraatio kasvaa. Laktaatin nousu ja lihaksen happamoituminen hidastavat kemiallisia reaktioita ja seurauksena on väsymys. Pelkästään anaerobisen glykolyysin avulla voidaan saada energiaa vain noin 45 sekunniksi. Lihastyön päätyttyä laktaatti muutetaan hapen avulla takaisin glykokeeniksi. (Guyton 1996). Vaikka hiilihydraatit ovat tutkitusti pääasiallinen energianlähde kestävyys suorituksissa, on rasvojen käyttö saanut nykyisin yhä tärkeämmän roolin energian lähteenä. Myös proteiinit saattavat muodostaa kokonaisenergiantuotannosta jopa 5-10% pitkässä kestävyys suorituksessa.

Energiankulutus riippuu hyvin monesta eri tekijästä, kuten harjoitusintensiteetistä, harjoituksen kestosta, lajista jne. Lisäksi energiankulutus riippuu myös urheilijan fysiologisista ominaisuuksista, kuten esimerkiksi siitä, miten tehokkaasti kestävyysurheilija pystyy hyödyntämään aerobista ja anaerobista energiantuotantokapasiteettiaan. (Guyton 1996).



## 6 LIHASTEN VOIMANTUOTTO

Liikkeiden aikaansaamiseksi tarvitaan motorisen järjestelmän aktivointia, mikä edellyttää motoristen yksiköiden, johtavien kalvorakenteiden, eksitaatio-supistus parin ja sensoristen reseptorien yhteistoimintaa. Ihmisen liikkumisessa ominaista on lihasvoimien huolellinen ja tarkka säätely siten, että erilaisten liikkeiden suorittaminen mahdollistuu. (Enoka 1994).

Motorinen yksikkö sisältää motoneuronin, sen aksonin päätehaaroineen ja niiden hermottamat lihassolut. Motoriset yksiköt voidaan jakaa nopeisiin (IIa ja IIb) ja hitaisiin (I), joista kestävyysuorituksessa käytössä on pääasiassa hitaat johtuen niiden matalasta voimantuotosta, hitaasta supistumisnopeudesta sekä hyvästä väsymyksen sietokyvystä ja oksidatiivisesta kapasiteetista. Motoristen yksiköiden käyttöönotto eli rekrytointi noudattaa kokoperiaatetta eli pienet hermosolut (hitaat motoriset yksiköt otetaan ensin käyttöön ja sen jälkeen suuret hermosolut (nopeat motoriset yksiköt). Kevyemmässä urheilusuorituksessa kuten rauhallisessa hiihdossa rekrytoidaan valikoivasti hitaita motorisia yksiköitä, joilla on matalampi aktivointi kynnyks. Suurempia voimatasoja vaativissa suorituksissa aktivoidaan progressiivisesti nopeita motorisia yksiköitä (IIa, IIb) jolloin maksimivoimantuottotaso voidaan saavuttaa. (McArdle ym. 2000).

Kestävyysuorituksessa motoristen yksiköiden syttymismalli on vähemmän synkronoitu, jolloin motoriset yksiköt eivät rekrytoidu samanaikaisesti. Tällöin toiset motoriset yksiköt työskentelevät toisien palautellessa lepotilassa, mikä mahdollistaa suorituksen jatkamisen minimaalisella väsymyksellä. Voiman lisääminen tapahtuu ottamalla käyttöön uusia motorisia yksiköitä ja lisäämällä käytössä olevien yksiköiden käskytystiheyttä. (McArdle ym. 2000).

Samalla tavoin kuin maksimaalinen hapenotto-kyky ( $VO_{2max}$ ) asettaa rajat energiantuottoon, niin urheilijan maksimaalinen voimantuotto-kyky asettaa rajat voimantuotolle ja liikkumisnopeudelle. Aikaisemmin kestävyysurheiluvalmennuksessa ajateltiin, että suorituskyvyn vaikuttavina tekijöinä ovat vain energiantuotto-kyky ja liikkeen taloudellisuus, eikä hyväksytty, että voimantuotto-kyky rajoittaisi

kestävyysurheilijan suorituskykyä. Hermo-lihasjärjestelmän voimantuottoon liittyvät tekijät nähtiin suorituksen taloudellisuuteen liittyvänä tekijänä, mutta uudemmissa malleissa hermo-lihasjärjestelmän toimintakyky on myös osana kestävyysuorituskykyä. Hermo-lihasjärjestelmän merkitys on ymmärrettävissä sillä, että kestävyysurheilu on tahdonalaista toimintaa eli keskushermosto ohjaa lihasten toimintaa. Tämä tarkoittaa sitä, että hermoimpulssit määrittelevät lihastoiminnan tehon sekä lihastoiminnan vaatiman energiantuottotavan ja -lähteet. Tämä ketju ei toimi päinvastoin eli lihasten energiantuottotapa ei määrää lihastoiminnan tehoa. (Nummela ym. 2007).

Hyvä esimerkki tästä on erilaisen voimantuottokyvyn omaavien urheilijoiden maksimaalisen hapenottokyvyn vertailu vaihtelevassa maastossa. Paavolainen (1999) havaitsi tutkimuksessaan, että hyvällä voimantuottokyvyllä pystytään tasaisella saavuttamaan lähes ylämäen suoritusta vastaava VO<sub>2</sub>max, mutta heikon voimantuottokyvyn omaavilta urheilijoilta tämä jää hermo-lihasjärjestelmän toimintakyvyn takia selvästi saavuttamatta.

## **6.1 Voimantuoton mittaus hiihdossa**

Hiihtäjän liike on riippuvainen sekä käsillä että jaloilla aiheutetuista voimista. Käsien ja jalkojen hiihdon aikaisia voimia on tutkittu vuosien kuluessa melko paljon ja tutkimuksiin on kehitelty lukuisia eri laitteita. Vastusvenymäliuskojen käytön mittauksissa aloitti Ekström (1981), joka kiinnitti venymäliuskat suoraan suksiin. Ekströmin jälkeen kehitettiin lukuisia muita liikuteltavia venymäliuskoihin perustuvia suksiin ja sauvoihin kiinnitettäviä mittauslaitteita. (mm. Komi 1987; Babel 2003; Stöggl ym. 2006; Millet ym. 1998; Street ym. 1995; Leppävuori 1989; Holmberg ym. 2005).

Liikuteltavien laitteistojen jälkeen alettiin kehitellä massiivisempia, voimalevyihin perustuvia laitteistoja. Ensimmäinen lienee Paavo Komin 6 m pitkä voimalevylaitteisto, jolla voitiin mitata käsien ja jalkojen pysty- ja vaakavoimia. 6 metrin laitteisto todettiin hyvin nopeasti liian lyhyeksi hiihtomittauksiin, jolloin saatiin tarve rakentaa pitempi, 20

metriä pitkä voimalevyllaitteisto, joka on edelleen käytössä Vuokatin hiihtoputkessa. (Vähäsöyrinki 1996; Komi 1985).

## 7 VÄSYMINEN

### 7.1 Väsymyksen vaikutus hermolihasjärjestelmän toimintaan

Luurankolihasen yksi huono ominaisuus on, että se heikkenee eli väsyy, kun sitä rasitetaan. Lihasväsymys voidaan määritellä rasituksen vuoksi tapahtuneeksi lihaksen työkyvyn laskuksi, jolloin lihaksella ei ole kykyä tuottaa tai ylläpitää haluttua voimatasoa. Kestävyyssuorituksessa hermolihasjärjestelmän kyky toimia väsymyksessä on tärkeää. Väsymyksen aiheuttamat muutokset lihaksen toiminnassa voidaan havaita voiman tai tehon laskuna, relaksoitumisen hidastumisena, muutoksina supistusmekanismeissa ja muutoksina sähköisessä aktiivisuudessa, riippuen mittausolosuhteista ja väsytystavasta. (Gibson & Edwards 1985; Enoka 1992).

### 7.2 Väsymisen vaikutus voimantuottoon

Väsymys on hermolihasjärjestelmän akuutti vaste harjoitukseen. Mekaanisesta näkökulmasta katsottuna se on kroonisen adaptaation ja väsymisen yhteisvaikutusta. Heikentynyt lihasten suorituskyky vaihtelee riippuen harjoituksen pituudesta, harjoitusintensiteetistä, lihassolujakaumasta lihaksessa, käytettyjen lihasten supistumistavasta sekä urheilijan harjoittelutaustasta. (Merletti & Parker 2004; Häkkinen ym. 1990).

Fysiologisesti tarkastellen väsymys voidaan jaotella yleiseen ja paikalliseen väsymykseen. Sekä fyysinen rasitus että ympäristö tuottavat väsymystä, jos elimistön homeostaasi eli fysiologinen tasapainotila järkkyy. Homeostaasin heilahtaminen pois tasapainotilasta tuottaa sekä subjektiivisia väsymisen tunteita, että objektiivisesti mitattavissa olevia fysiologisia muutoksia. Tutkijat ovat yrittäneet yhdistää subjektiiviset väsymyksen tunteet objektiivisesti mitattaviin fysiologisiin muuttujiin, kuten maitohapon kasautumiseen vereen. Yhteyksiä psyykkisen ja fyysisen toiminnan välillä löytyykin, kun tarkastellaan voimakkaasti ja kauan ponnistelevaa urheilijaa. Sen

sijaan kevyttä työtä tai harjoitusta tekeillä ei väsymisen tunnetta pystytä perustelemaan fysiologisilla muutoksilla. (Åstrand ym. 1987; Shephard 1982).

Psyykettä ja subjektiivisia tuntemuksia ei paikallisesta väsymyksestä puhuttaessakaan voida jättää huomiotta. Väsymystä ”ei huomaa”, jos on tarpeeksi mielenkiintoista tekemistä. Samalla lailla esimerkiksi pienet lihaskivut voi unohtua urheilijalle tärkeässä kisassa. Tällöin henkilö pystyy tuottamaan myös enemmän lihasvoimaa, kuin muuten samanlaisessa tilanteessa. Selitys löytyy keskushermostosta. Positiivisen mielialan ja hyvän motivaation ansiosta poikkijuovaisia lihaksia hermottavien alfamotoneuronien toiminnan arvellaan vapautuvan aivokuoren estomekanismeista. Tällöin yhä useampi motorinen yksikkö voi tuottaa maksimaalista voimaa eli yhä useamman yksikön lihassolut voivat supistua tetanus-taajuudelle. Tämä tarkoittaa sitä, että motoriseen yksikköön kuuluviin lihassoluihin tulee niin paljon ärsykeitä, etteivät solut ehdi välillä levätä. Tällöin lihassolujen supistukset kasaantuvat tetanusmaiseksi tilaksi, ja motorisen yksikön voimantuotto on suurimmillaan. Jos voimaa tarvitaan lisää, aivot rekrytoivat uusia motorisia yksiköitä toimimaan. (Åstrand ym. 1987; Shephard 1982)

On ilmeistä, että suoritukseen tarvittavien lihasten hermostollinen ohjaus on opittua, vaikka oppimista ei ehkä tiedosteta. Hermoston toiminnalla on siis ratkaiseva merkitys motorisen yksikön voimantuotossa ja näin ollen paikallisen väsymisen syntymisessä. (Åstrand ym. 1987; Shephard 1982).

Lihaksen väsyessä lihasaktiivisuudessa eli EMG:ssä näkyy tyypillisiä muutoksia, käyrän amplitudin suuretessa ja rytmin hidastuessa. Tämän arvellaan olevan seurausta lihassolukalvojen ionipumpputoiminnan häiriintymisestä ja näin ollen lihassolukalvon sähköisten ominaisuuksien muuttumisesta EMG:llä mitattavaksi. Myös lihassolujen sisäarakenteiden toiminnassa saattaa tapahtua väsymiseen johtavia muutoksia. Kalsiumionien kuljetus sarkoplastisesta reticulumista aktiini-myosiinifilamenttien sidoskohtiin voi häiriintyä ja tällöin normaali lihassupistuminen ei käynnisty. Kalsiumionien kuljetusta häiritsee mm. happamuuden kasvu lihassoluissa. Solun happamuus kasvaa eli vetyionipitoisuus suurenee ja pH laskee, jos solun energiantuotto tapahtuu anaerobisesti. Anaerobinen energiantuotanto tapahtuu, kun lihaksen veren- ja hapensaanti on riittämätöntä. Vetyioneja vapautuu anaerobisen energiantuotannon yhteydessä syntyvästä maitohaposta ja solun kemiallisen energian, ATP:n hajoamisen

yhteydessä. Eri ihmiset kestävät happamuuden suurenemista eri tavoin. Huippu-urheilijat voivat kestää moninkertaisen happamuuden suurenemisen verrattuna tavalliseen kuntosuorittajaan, eli urheilijoiden lihassolut toimivat suuresta vetyionipitoisuudesta huolimatta. Säännöllinen harjoittelu lisää elimistön kykyä käsitellä eli puskuroida vetyioneja, mikä selittää osaltaan urheilijoiden toimintakyvyn maitohapon kasaantumisesta huolimatta. (Åstrand ym. 1987; Shephard 1982)

## 8 EMG

Elektromyografia (EMG) on lihassolujen muodostamaa biosähköistä signaalia (Vähämetsä 2008). Hermosolusta liikkeelle lähtenyt aktiopotentiaali johtuu lihasfiiberin molempiin päihin hermolihaskuitoksen jälkeen. Motorisen yksikön aktiopotentiaali muodostuu yksittäisten lihasfiiberien aktiopotentiaaleista. EMG-signaali on täten EMG-elektrodien rekisteröimisalueella sijaitsevien motoristen yksiköiden aiheuttamien aktiopotentiaalien painotettu summa. (Arent-Nielsen ym. 1989).

EMG on perinteinen tapa mitata lihasten aktiivisuutta ja se on myös yksi laajimmin käytetty elektrofysiologinen tekniikka. Sekä ihonalainen että pinta EMG ovat laajasti käytössä sekä kliinisessä että kokeellisessa tutkimuksessa. (Christie ym. 2009).

Aktiivisten motoristen yksiköiden lisääminen ja jo aktiivisten motoristen yksiköiden syttymisnopeuden kasvattaminen saa aikaan voimantuoton kasvun. Rekrytointi ja syttymistiheys vaihtelee paljon eri lihaksissa ja niihin oletettavasti vaikuttaa motoristen yksiköiden lukumäärä ja lihaksen tehtävä. (Christie ym. 2009; Nigg & Herzog 1999).

EMG:n taajuusalue on 10 Hz-10 kHz, mutta iho ja sen alaiset kudokset toimivat vaimentimena ja alipäästösuodattimena, minkä vuoksi ihon pinnalta mitattavien EMG-signaalien ylärajataajuus on vain noin sadan hertzin luokkaa ja korkeimmat amplitudit muutaman mV:n suuruisia. (Haataja 1984).

Biomekaanisissa mittauksissa EMG:tä voidaan käyttää visualisoimaan lihasten toimintaa, jolloin saadaan tietoa siitä, mitkä lihakset toimivat eri liikkeiden aikana ja millä aktiivisuudella. EMG:tä voidaan käyttää refleksitutkimuksiin sekä selvittää eri latenssiaikojen avulla lihaksiston ja hermoston toimintaa. Ei väsyneessä lihaksessa integroidun EMG:n on havaittu korreloivan hyvin lihasvoiman kanssa. (Haataja 1984).

Pinta EMG:n signaaliin vaikuttaa hyvin monenlaiset tekijät, joita ovat muun muassa lihassolujen läpimitta ja lukumäärä, elektrodin ja ihon välinen kontakti (Ihokarvat, rasva iholla), aktiivisten motoristen yksikköjen lukumäärä, ihon pinnan (elektrodin) ja

lihassyyn välinen etäisyys (mm. rasvakudoksen määrä), lihassolun aktiopotentiaalinopeus, lihassolutyypin, liikeartefakta (kaapeleiden liikkeet toistensa suhteen) ja sähkömagneettisen säteilyn lähteet mittaustilassa (tietokone, kännykkä, yms.). (Haataja 1984).

Ihon pinnalta mitattaessa mittausparametrit, kuten impedanssi ja elektrodien asema alla olevaan lihasmassaan vaihtelevat eri mittauskerroilla. Siksi ihon pinnalta pystytään mittaamaan vain suhteellisia arvoja, eikä minkäänlaisia vertailuja eri kanavien, eri henkilöiden eikä edes saman henkilön eri mittausten välillä pitäisi tehdä. (Haataja 1984).

EMG mittausmenetelmänä on käyttökelpoinen erityisesti staattisissa toiminnoissa ja toiminnoissa, joissa liike on vähäistä ja pienimuotoista (toistotyö) ja laboratorioolosuhteissa. Dynaamisessa työssä syntyy helposti liikehäiriöitä ja kenttäolosuhteissa luotettava mittaus on huomattavasti vaikeammin toteutettavissa., vaikkakin mittausvälineistön kehitys on mennyt lähivuosina eteenpäin ja nykyään on tarjolla langatonta tekniikkaa ja myös tekstiiliektrodeihin perustuvia anturivaatteita.

## 8.1 Väsyminen ja EMG

Kun yhdistetään EMG- ja voimamittaus, voidaan selvittää esimerkiksi lihäväsymyksen luonnetta sekä voimantuoton ajoitusta ja taloudellisuutta. Mikäli voimanlasku on samanaikaista sähköisen aktiivisuuden laskun kanssa, lihäväsymys johtuu eksitaation heikkenemisestä. Kun taas väsymys on lihassupistusemekanismeissa, EMG-aktiivisuus ei muutu, vaikka voimataso laskee. (Bigland-Ritchie 1981). EMG ilmaisee lihaksen aktiivisuustason ja siihen vaikuttavat muutokset mm. alfa-motoneuronien rekrytoinnissa, aktiopotentiaalin johtumisessa hermo-lihasliitoksessa ja lihassolukalvolla. Dynaamisessa lihastyössä EMG/voima-suhteen kasvua pidetään merkinä lihassupistuksessa tapahtuvasta väsymisestä. Ainakin osa vähentyneestä EMG-aktiivisuudesta submaksimaalisessa lihassupistuksessa voidaan selittää vähentyneellä motoristen yksiköiden rekrytoinnilla ja näin muutoksilla aktiopotentiaalin kanssa ja synkronisaatiossa (Edwards ja Lippold 1956). Väsymys maksimaalisessa supistuksessa johtuu ensisijaisesti riittämättömästä sähköisestä aktiivisuudesta. EMG-signaalin RMS



(Root mean square) -arvo on erinomainen mittari osoittamaan signaalin voimakkuutta ja sitä käytetään yleisesti lihasväsymyksen tutkimuksissa (Nigg & Herzog 1999).

## 9 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

On tunnettua, että suksen luisto- ja pito-ominaisuudet vaikuttavat hiihtosuoritukseen ja lihasvoiman käyttöön. Ne myös vaikuttavat selvästi voimantuoton jakaantumiseen, siten että huonosti pitävällä ja huonosti luistavalla suksella voimatuotto painottuu enemmän käsien puolelle. Pitkäkestoisen urheilusuorituksen aiheuttaman väsymisen vaikutusta lihasten voimantuottoon ja lihasaktiivisuuteen on tutkittu maailmalla jonkin verran. (Forsberg ym. 1979; Viitasalo ym. 1982; Millet ym. 2003). On todettu, että väsyminen laskee lihasten tahdonalaista maksimaalista voimantuottoa (MVC) ja EMG aktiivisuutta.

Epäselvää on kuitenkin se, kuinka suksen luisto ja pito-ominaisuuksien huononeminen vaikuttaa lihasten voimantuottoon sekä voimantuoton jakaantumiseen ja lihasaktiivisuuteen pitkäkestoisessa hiihtosuorituksessa.

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää pitkäkestoisen perinteisen tyylin hiihtosuorituksen vaikutus lihasten voimantuottoon ja lihasaktiivisuuteen suksen luisto- ja pito-ominaisuuksien muuttuessa. Samalla pyrittiin löytämään uusia tekniikoita suksen luisto- ja pito-ominaisuuksien mittaamiseen.

## 10 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 10.1 Koehenkilöt

Koehenkilöiksi valittiin 9 vapaaehtoista mieshiihtäjää. Kaikilla koehenkilöillä oli hiihtotausta, joka vaihteli kansallisesta huipputasosta peruskuntoilijaan. Koehenkilöille annettiin kirjallisena täydelliset tiedot tutkimuksen tarkoituksesta, sisällöstä sekä mahdollisista hyödyistä ja haitoista. Kirjallisten tietojen perusteella koehenkilöt allekirjoittivat suostumuslomakkeen. Koehenkilöiden perustiedot on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Koehenkilöiden perustiedot

Perustieto	Keskiarvo	Hajonta	Vaihteluväli
Ikä	37	9	23 - 50
Pituus	175.5	8.6	158 - 185
Paino	71.6	6.8	59 - 81
BMI	23.4	1	21.7 - 25.0

### 10.2 Voitelu

Hiihtotesteissä koehenkilöt käyttivät omia suksiaan (samat sukset molemmilla kerroilla), jotka voideltiin ennen testiä. Koehenkilöitä oli pyydetty puhdistamaan sukset kaikista voiteista ennen testitilaisuutta. Suksissa tuli olla myös selkeästi merkittynä pitovoidealue.

Sukset pyrittiin voitelemaan niin, että toisella kerralla suksen pito- ja luisto-ominaisuudet heikkenisivät selkeästi matkan aikana (eli voide kuluisi loppuun) ja toisella kerralla ominaisuudet pysyisivät paremmin loppuun asti. Tarvittavaa voidetta ja voidemäärää etsittiin etukäteen testihiihdoilla.

Testeissä käytettiin Rex:in (Oy Redox Ab, Finland) voiteita ja voitelu oli seuraavanlainen:

Parempi voitelu: Luisto: Rex sininen fluori -1 - -10 °C  
Pito: 4 x Rex PowerGrip 0 - +2 °C (4 kerrosta)

Huonompi voitelu: Luisto: Rex violetti 0 - -5 °C  
Pito: 2 x Rex PowerGrip 0 - +2 °C (2 kerrosta)

Kaikkiin voiteisiin oli sekoitettu pieni määrä UV-valoa refleктоivaa (heijastavaa) ainetta, jolloin voidemäärän vähentymistä voitiin mitata UV-valon heijastusmäärällä .

Hiihtoputken olosuhteet: Lämpötila -7 °C, Kosteus 72-77 %.

### 10.3 Tutkimusprotokolla

Tutkimusmittaukset suoritettiin Vuokatin hiihtoputkessa sekä Jyväskylän yliopiston Vuokatin toimipisteen biomekaniikan laboratoriossa kevään 2010 aikana.

Kaikki koehenkilöt suorittivat 2 eri testiä (paremmalla ja huonommalla voitelulla satunnaisessa järjestyksessä). Testien väli tuli olla vähintään viikko, jolloin ehdittiin palautua kunnolla testien välillä. Tutkimusprotokolla oli seuraavanlainen:

#### **20.7 km:n perinteinen kilpavauhtinen hiihto hiihtoputkessa (9 x n. 2.3 km)**

1. Koko matkan hyvin pitävällä suksella
2. Matkan aikana selvästi heikentyvällä pidolla

#### **Hermo-lihasjärjestelmän toimintaan liittyvät mittaukset:**

- Maksimaalinen voimantuotto (MVC) ja voimantuottonopeus (RFD) ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen voimapenkissä.
  - o Polven ojentajat
  - o Kyynärvarren ojentajat

- Lihasaktiivisuus (EMG) neljästä alaraajan lihaksesta, yhdestä selän lihaksesta sekä käden ojentajasta. Mittaukset tehtiin vain toisesta raajasta (yleensä oikeasta, mutta yhdessä tapauksessa (vamman vuoksi) vasemmasta jalasta). EMG mittaus tehtiin koko hiihtosuorituksen ajalta, mutta analyysissä vertailtiin vain lihasaktiivisuutta ennen ja jälkeen pitkäkestoisen suorituksen.
- Käsien ja jalkojen horisontaalinen ja vertikaalinen voimantuotto sekä syklimuuttujat hiihdon aikana hiihtoputkessa sijaitsevilla voimalevyillä (hiihto voimalevyjen yli jokaisella kierroksella). Parittomilla kierroksilla levyjen yli hiihdettiin vuorotahdilla ja parillisilla kierroksilla tasatyönöllä. Viimeisellä (9.) kierroksella koehenkilö hiihti levyjen yli ensin vuorotahdilla, jonka jälkeen palasi välittömästi takaisin levyjen alkupäähän ja hiihti vielä tasatyönöllä yli levyjen. Ennen varsinaista testihiihtoa hiihdettiin levyjen yli maksimi nopeudella sekä vuorotahdilla että tasatyönöllä. Myös viimeisellä kierroksella levyjen yli hiihdettiin maksiminopeudella (ns. loppukirivaihe), jolloin saatiin maksiminopeuden vertailu ennen ja jälkeen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen.

#### **Fysiologiset mittaukset:**

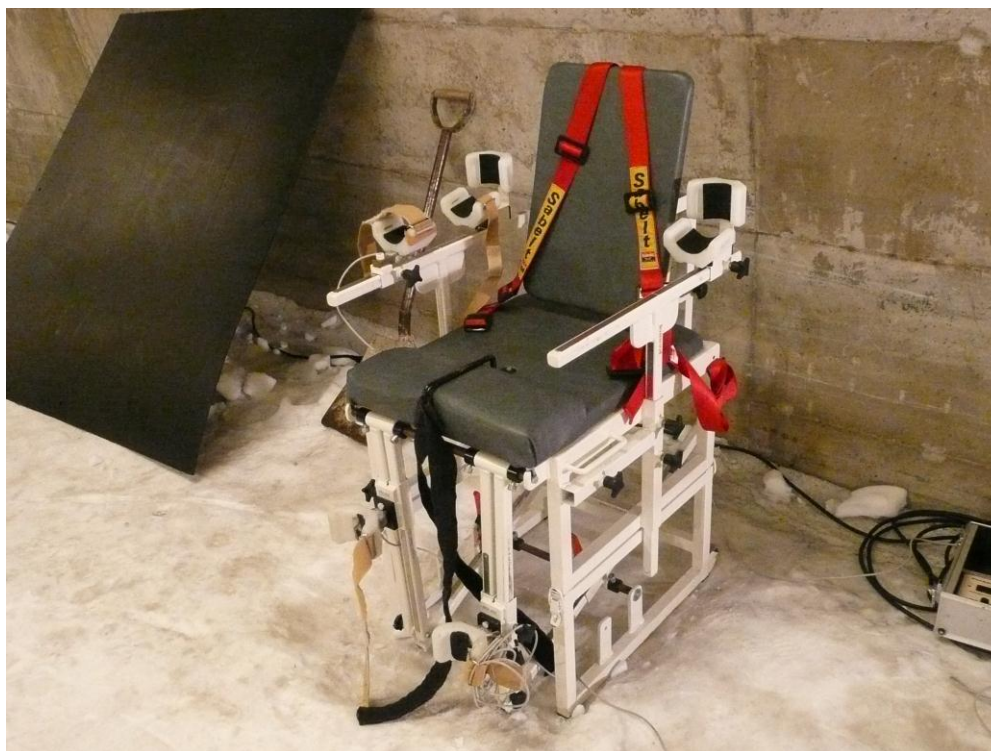
- Antrobometria (pituus ja paino)
- Laktaatti ennen, jälkeen ja 1 kerran hiihdon aikana (4 kierroksen jälkeen)
  - o Verinäyte sormenpästä
- Syke (tallentava sykemittari)

#### **Muut mittaukset**

- Suksen luisto- ja pito-ominaisuuksien mittaus testin aikana
  - o Suksen liikutuslaite
  - o Voiteen kulumista mittaavat laitteet (mittakello ja fluoresenssi-mittari)

## 10.4 Voimamittaukset voimapenkissä

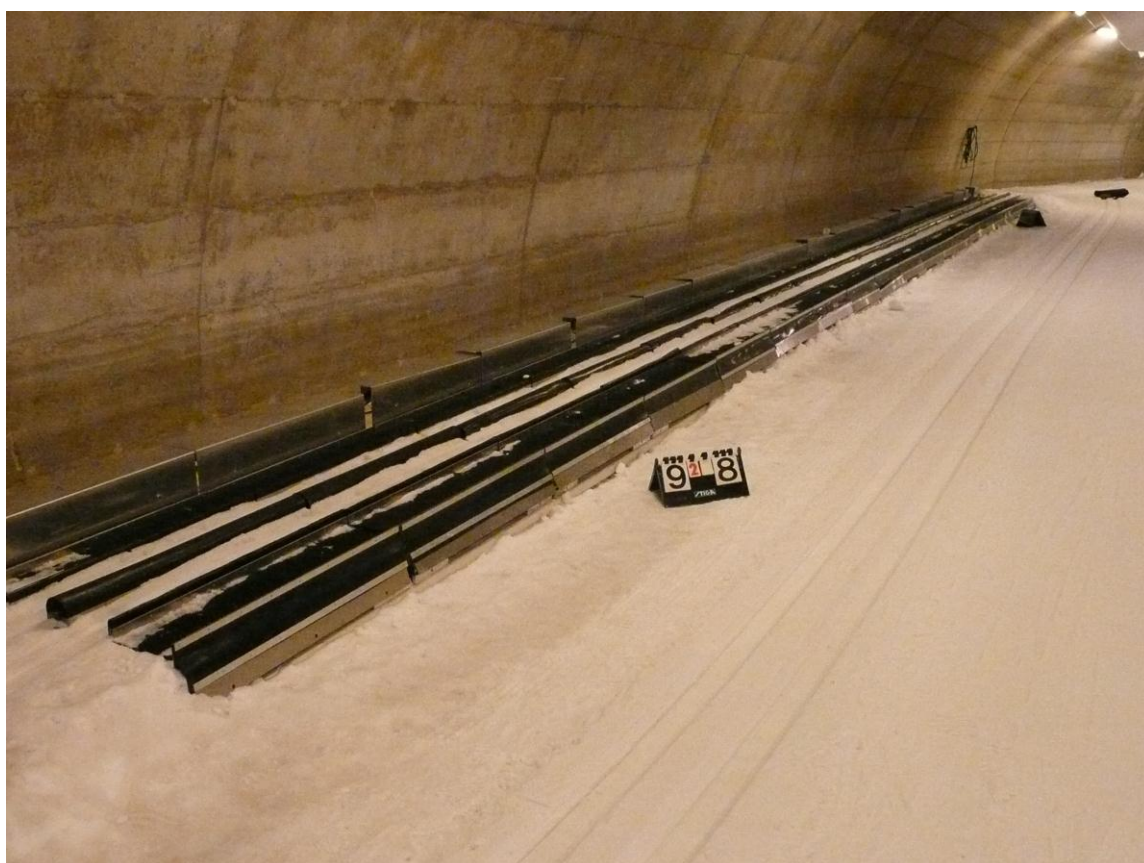
Koehenkilöiltä mitattiin ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen polvenojennuksen ja kyynärvarren ojennuksen maksimaalinen tahdonalainen voimantuotto ja voimantuottonopeus dynamometrillä isometrisessä voimapenkissä (Jyväskylän yliopisto, Suomi) (Kuva 18). Voimapenkkimittauksissa koehenkilö istui niin, että lantiokulma oli 110 astetta, polvikulma 120 astetta ja kyynärkulma 90 astetta. Sekä polvenojennuksen että kyynärvarren ojennuksen voimamittauksissa koehenkilöt suorittivat kolme peräkkäistä maksimaalista suoritusta puolen minuutin palautuksella. Koehenkilöt ohjeistettiin suorittamaan maksimaalinen isometrinen voimantuotto mahdollisimman nopeasti ja maksimaalisesti. Yhden suorituksen kesto oli noin kolme sekuntia ja koehenkilöitä kannustettiin koko suorituksen ajan. Suorituksista maksimivoimaltaan paras valittiin analysoitavaksi. Voimamittausten tiedot kerättiin ja analysoitiin käyttäen A/D-muunninta (CED Power 1401; CED Ltd. Cambridge, England) ja Spike 5.14 ohjelmistoa (CED Ltd. Cambridge, England). Mittaustuloksista analysoitiin korkeimmat maksimaaliset tahdonalaiset isometriset voimat (MVC) (= voimakäyrän huippuarvo) ja voimantuottonopeus (RFD) 100 ms:n ajalta suorituksen alusta.



KUVA 18. Voimapenkki (Jyväskylän yliopisto)

## 10.5 Hiihtomittaukset

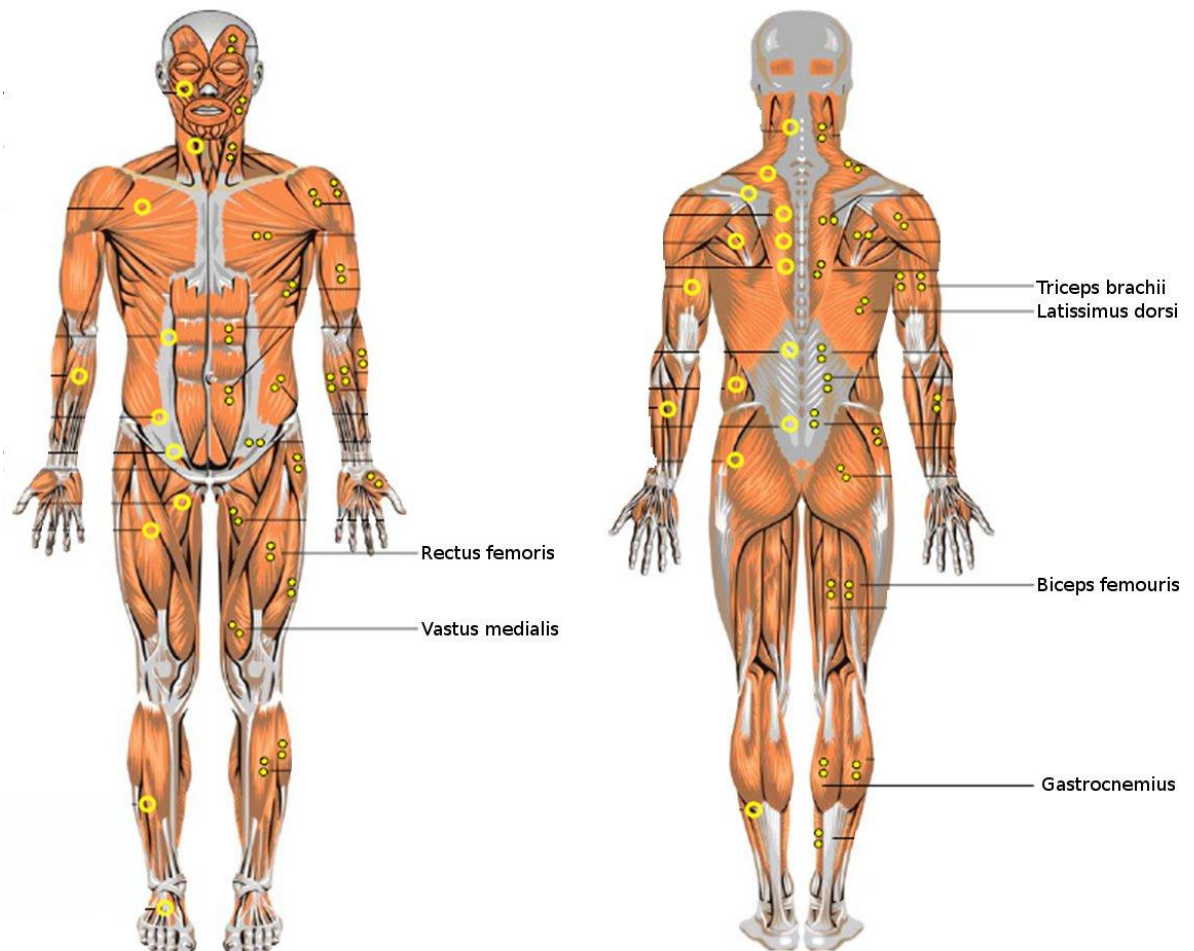
Koehenkilöt hiihtivät 20.7 km:n maksimaalisen (kilpavauhtisen) perinteisen tyylin hiihtosuorituksen Vuokatin hiihtoputkessa, missä on 18 m:n korkeusero ja 51 metriä kokonaisnousua yhdellä kierroksella. Hiihtoputken yksi edestakainen kierros oli 2.3 km. Koehenkilöt hiihtivät kierroksen 9 kertaa eli matkaa kertyi tarkalleen 20.7 km. Ennen varsinaista suoritusta koehenkilöt suorittivat yhden kierroksen pituisen lämmittelyhiihdon, jonka jälkeen välittömästi suoritettiin maksimivauhtinen hiihto sekä vuorotahdilla että tasatyönöllä yli hiihtoputkessa sijaitsevien voimalevyjen (Jyväskylän yliopisto, Vuokatti) (kuva 19). Voimalevyjen kokonaispituus on 20 m. Voimalevyt oli asennettu niin, että hiihdon nousukulma oli noin 2.5 astetta.



KUVA 19. Vuokatin hiihtoputken voimalevyt (Jyväskylän yliopisto)

Pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana koehenkilöiltä mitattiin lihasaktiivisuutta (EMG) kuudesta eri lihaksesta. Lihakset olivat m. biceps femoris (kaksipäinen reisilihas), m. rectus femoris RF (suora reisilihas), m. vastus medialis (nelipäinen reisilihas), m. gastrocnemius (kaksoiskantalihas), m. latissimus dorsi (leveä selkälihas)

ja m. triceps brachii (kolmipäinen olkalihas) (Kuva 20). EMG tallennettiin ajankohtana, jolloin koehenkilö hiihti yli voimalevyjen.



KUVA 20. EMG mittausten elektrodien paikat (mukaeltu Konrad. 2005)

Mittauksissa käytettiin bipolaarisia pintaelektrodeja (Bechman, Ag/AgCl), joissa mittaavien elektrodien etäisyys oli 2 cm. Elektrodit asetettiin paikoilleen SENIAM:n (Hermens ym. 1999) ohjeiden mukaisesti. Ennen elektrodien asennusta mittauspinnat valmisteltiin poistamalla ihokarvat, hiomalla pois kuollutta ihosolukkoa ja lopuksi puhdistamalla pinnat puhdistusaineella, jolloin aikaansaatiin elektrodeille laadukas kontakti. Elektrodien kiinnittämisen jälkeen tarvittava kontakti varmistettiin mittaamalla elektrodien mittapäiden välinen impedanssi yleismittarilla. Mitatun vastusarvon tuli olla alle 10 k $\Omega$ . Mikäli mitattu arvo ylitti 10 k $\Omega$ :n rajan mittauspinnan, valmistustoimenpiteet uusittiin, kunnes asetettu raja-arvo alitettiin. Elektrodien kiinnityspaikat merkittiin koehenkilön iholle tussilla, jotta tulevat mittaukset voitiin toistaa mahdollisimman tarkasti.



EMG-signaalit talletettiin 1500 Hz:n näytteenottotaajuudella ja suodatettiin (10-500 Hz kaista) käyttämällä langatonta EMG-mittausjärjestelmää (Noraxon, Scottsdale, USA) (kuva 21), A/D-muunnettiin (CED Ltd., Cambridge, England) sekä analysoitiin Spike5.14-ohjelmistolla (CED Ltd., Cambridge, England), IKE-Master v. 1.34-ohjelmistolla (IKE Software Solutions, Salzburg Austria) ja Microsoft Excel:illä (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). EMG-signaalista korjattiin (time shift) mittalaitteiden radiotien aiheuttama viive (vastaanotin 150 ms + lähetin 120 ms=270 ms), signaali tasasuunnattiin ja siitä analysoitiin keskiarvoistettu tehollisarvo (RMS EMG)



KUVA 21. Noraxon langaton EMG-mittalaite

Lihaskäytävyyden lisäksi hiihtäjiltä mitattiin sauvatyönön ja potkun vertikaalisia ja horisontaalisia voimia jokaisella kierroksella heidän ylittäessään 20 m pitkän voimalevyjärjan. Voimalevyjen ylihihdon analysointi tehtiin lopuksi vain alussa ja lopussa suoritettujen maksimaalisten suoritusten välillä. Voimalevyjen yli hiihrettiin niin, että joka toisella kierroksella hiihrettiin vuorohiihtoa ja joka toisella tasatyöntöä. Ensimmäisellä kierroksella hiihrettiin vuorohiihtoa ja viimeisellä kierroksella vuorohiihdon jälkeen palattiin levyjen ylityksen jälkeen heti takaisin levyjen alkupäähän ja hiihrettiin vielä tasatyöntöä yli levyjen, jolloin saatiin loppuun levyjen yli hiihto molemmilla tyyleillä. Koehenkilöt oli ohjeistettu hiihtämään viimeiset levyjen ylihihdot täysillä (loppukiri), jolloin saatiin vertailuarvot ennen pitkäkestoista suoritusta tehtyihin maksimisuorituksiin. Voimalevyjen ylihihdosta kerätty voimadata analysoitiin IKE-master v. 1.34-ohjelmistolla (IKE Software Solutions, Salzburg

Austria). Voimadatasta analysoitiin lukuisia hiihdon voimamuuttujia ja hiihdon aikaisia syklimuuttujia. Lista muuttujista on kappaleessa 10.7.3.

## **10.6 Suksien voidemittaukset**

Suksien pitovoiteen määrää ja pitovoiteen kulumista tutkittiin kahdella eri menetelmällä, Mittakellosta rakennetulla voidepaksuuden mittarilla (kuva 22) ja Oulun yliopiston mittalaitelaboratorion (MILA) kehittämällä fluoresenssi-mittarilla (kuva 23). Suksen luistoa ja pitoa tutkittiin Vuokatin hiihtotunnelissa sijaitsevalla suksen liikutuslaitteella (Jyväskylän yliopisto, Vuokatti) (kuva 24). Voidemäärä- ja liikutuslaitemittaus suoritettiin lämmittelykierroksen jälkeen, hiihdon keskivaiheilla (4 kierroksen jälkeen) sekä hiihdon loputtua. Hiihdon puolesta välissä tehtävän mittauksen ajaksi hiihtäjä vaihtoi yhden kierroksen ajaksi toiset sukset, jolloin ei tullut pitkää taukoa hiihdon aikana.

### **10.6.1 Pitovoiteen mittaus mittakellolla**

Kuvan 22 mukaisella mittakelloon perustuvalla mittalaitteella, joka suunniteltiin ja rakennettiin tätä tutkimusta varten Oulun yliopistolla, mitattiin pitovoiteen paksuutta ennen pitkäkestoista hiihtoa, hiihdon keskivaiheilla (4 kierroksen eli noin 9.2 km:n jälkeen) ja hiihdon päätyttyä. Mittakellolla saatiin voidepaksuus millimetrin sadasosan tarkkuudella. Mittaus suoritettiin vain toisesta suksesta. Suksen sivusyrjään merkittiin ennen koetta mittauspisteet 10 cm:n välein, jolloin mittaus voitiin suorittaa melko tarkkaan samoista kohdista jokaisella mittauskerralla. Mittauspisteitä oli pitoalueella yleensä 5 kappaletta (yhdessä tapauksessa vain 4, koska pitoalue oli lyhyt); suksen painopisteessä, painopisteen takana yksi ja loput painopisteen edessä. Mittaustulokset analysoitiin Microsoft Excel:illä (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). Luistovoiteen määrää ei tällä laitteella voinut mitata, koska voidemäärä, joka sukseen voitelussa jää on hyvin pieni ja on imeytynyt pääosin suksen pohjamateriaalin huokosiin.



KUVA 22. Voidepaksuuden mittauslaite (Mittakello)

### 10.6.2 Voidemäärän mittaus MILA:n fluoresenssi-mittarilla

Oulun yliopiston mittalaitelaboratorio (MILA) oli kehittänyt voidemäärän mittaamiseen tarkoitettua laitteen (kuva 23), joka perustui UV-valoon reagoivan aineen määrän mittaamiseen valon heijastusmäärän mittaamisen perusteella. Tätä UV-valoa heijastavaa (reflektioivaa) ainetta sekoitettiin pieni määrä pito ja luistovoiteisiin.

Laitteisto koostuu seuraavista osista:

#### **Valaisin ja virtalähde:**

Valaisimena toimii Orieln deuteriumvalaisin

Virtalähteenä on Oriel deuterium 68840 power supply

#### **Detektori + referenssi**

Detektorina on valomonistinputki Hamamatsu ja laboratoriovirtalähde HP E3616A.

Referenssidetektorina on Oriel modell 70710.

#### **Lukulaitteina olivat:**

Fluke 45 Dual Display Multimeter (detektori)

Yleismittari HP 974A (referenssi)

Valaisimen ja valaistun pinnan välille tehtiin MILA:ssa runko-osa.

Voidemittaus tehtiin ennen hiihtoa, hiihdon puolivälissä (4 kierroksen jälkeen) ja hiihdon päätyttyä. Laitteella mitattiin sekä luistovoiteen että pitovoiteen määrää.

Mittaustulokset analysoitiin Microsoft Excel:illä (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). Mittauspisteet oli merkitty tussilla suksen sivusyrjään 10 cm:n välein. Vain toinen suksi mitattiin.



KUVA 23. fluoresenssi-mittalaite (MILA)

### 10.6.3 Suksen liikutus- ja analysointilaitteisto

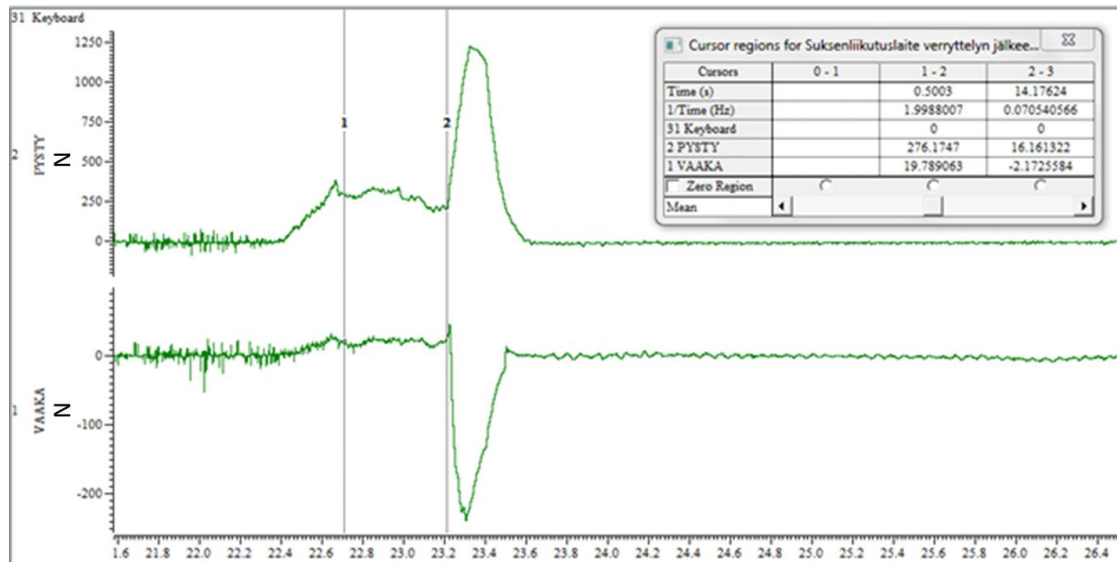
Suksen luistoa ja pitoa (kitkakertoimia) tutkittiin vuonna 2006 rakennetulla suksen liikutus- ja analysointilaitteella (kuva 24), joka sijaitsee Vuokatin hiihtoputkessa. Laitteella voidaan mitata suksen liukukitkaa sekä simuloida hiihtäjän potkua ja mitata suksen pito-ominaisuuksia luonnollisissa olosuhteissa. Laitteen runkona on lineaarijohdin jolla saadaan suksenliikutuslaitteelle 12000 mm liikematka. Suksenliikutuslaitteessa on kaksi 7,5 kW oikosulkumoottoria, joilla liikutetaan hammashihnan välityksellä kahta kelkkaa. Kelkoissa on suksen kiinnityksen lisäksi pneumaattinen sylinteri, jolla suksi painetaan alustaan kiinni. Alustassa on kuusi kappaletta metrin mittaisia voimalevyjä, jotka mittaavat sukseen kohdistuvia vaak- ja pystyvoimia. Voimalevyt antavat analogisignaalit summasignaalina. (Kolehmainen 2006).

Liikutuslaitteen voimalevyiltä saadut esivahvistetut voimasignaalit kerättiin CED Power 1401-A/D muuntimella ja analysoitiin Spike 5-ohjelmistolla .



KUVA 24. Suksenliikutuslaite Vuokatin hiihtoputkessa

Mittaukset suksen liikutuslaitteella tehtiin ennen pitkäkestoista suoritusta, suorituksen puolella välissä (4 kierroksen jälkeen) ja suorituksen lopussa. Mittaustuloksiksi saatiin suksen liu'un pysty- ja vaakavoimat jännitteinä (voltti). Absoluuttiset jännitearvot muunnettiin kalibrointikertoimilla voima-arvoiksi (N) (kuva 25), joista voitiin laskea kitkakerroin kaavalla  $kitkakerroin = vaakavoima/pystyvoima$ . Jokaisella suksella tehtiin 4 peräkkäistä liikutusta eli simuloitua potkua, joiden vaakavoimien ja pystyvoimien keskiarvoista laskettiin kitkakerroin luistolle ja pidolle.



KUVA 25. Suksen liikutuslaitteella saadut voimakäyrät Spike5-ohjelmassa. Kursorien 1 ja 2 väli on suksen liukua kuvaava 0.5 sekunnin aika, josta saadaan pysty- ja vaakavoimille keskimääräiset (Mean) arvot Newtonina (N). Liukua seuraavat korkeammat huiput kuvaavat potkuvaihetta, jonka maksimiarvoista saadaan suksen pito eli lepokitka (vaakavoima/pystyvoma)

## 10.7 Fysiologiset mittaukset

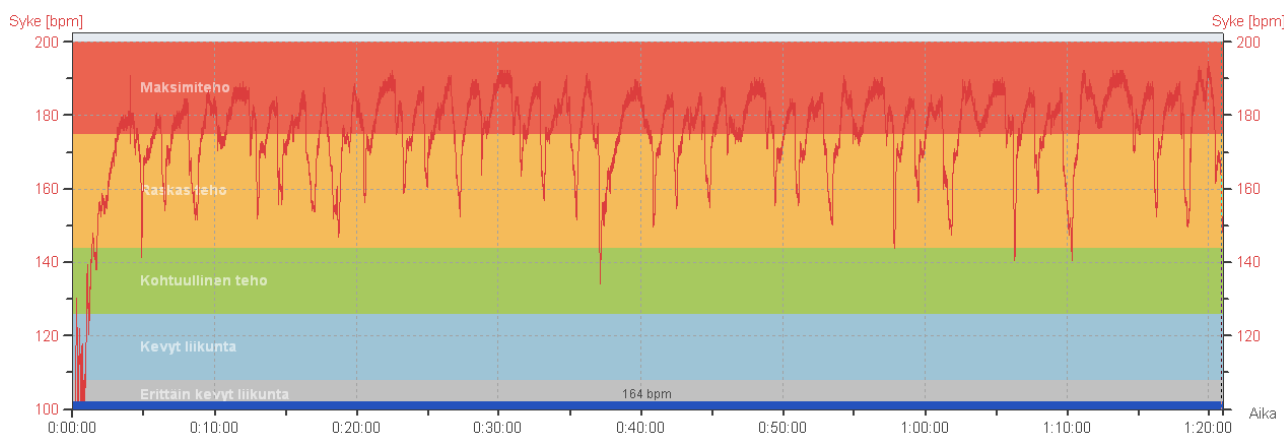
Koska tutkimuksen tarkoitus oli mitata maksimaalisen, kilpavauhtisen suorituksen vaikutusta koehenkilöiden biomekaanisiin ominaisuuksiin eli voimantuoton muuttumista väsymisen myötä, niin halusimme seurata myös hieman fysiologisia tekijöitä. Samalla halusimme seurata, miten fysiologiset arvot (syke ja laktaatti) kehittyvät testin aikana väsymisen myötä.

### 10.7.1 Veren laktaattimittaus

Koehenkilöiltä mitattiin veren laktaattipitoisuus lämmittelylenkin jälkeen, testihiihdon puolella välissä (4 kierroksen jälkeen) ja heti hiihdon jälkeen. Laktaatti mitattiin koehenkilön sormenpästä Lactate Pro LT-1710 laktaattimittarilla. Ennen mittausta koehenkilön sormenpää puhdistettiin huolellisesti puhdistusaineella. Laktaattiarvoja tutkittiin, jotta nähtäisiin suksen voitelun mahdollinen vaikutus laktaattiarvoihin.

### 10.7.2 Syke

Koehenkilöiden sykettä mitattiin ja tallennettiin koko testihiihdon ajan Polarin sykemittarilla ( Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Sykedata analysoitiin Polar ProTrainer 5-ohjelmistolla ( Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Sykedataa tutkittiin, jotta nähtiin, löytyikö mahdollisesti ajankohta, jossa syke lähtee selkeään nousuun/laskuun sekä näkyikö selkeitä eroja paremmalla ja huonommalla voitelulla hiihdettyessä. Vertailu paremmalla ja huonommalla suksella hiihdetyn suorituksen välillä tehtiin sykkeiden keskiarvon perusteella. Esimerkki hiihdon aikaisesta sykekäyrästä kuvassa 26.



KUVA 26. Hiihdon aikainen sykekäyrä (Polar Pro Trainer 5)

### 10.7.3 Tilastollinen analyysi

Kaikki tulokset on esitetty keskiarvoina ja  $\pm$  keskihajontana ( $\pm$  SD). Ennen tilastollista analyysiä mittaustuloksista poistettiin mittauksista ja mittalaitteista selkeästi johtuvat virheelliset mittaustulokset. Mitatut ja lasketut muuttujat saatettiin PASW-ohjelman vaatimaan muotoon MS Excel-ohjelmistolla. Analyysi eri muuttujille tehtiin ennen maksimaalista pitkäkestoista hiihtosuoritusta tehtyjen mittausten ja hiihtosuorituksen jälkeisten mittausten välillä, käyttämällä kahden riippuvan otoksen T-Testiä. Tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä, jos  $p < 0.05$ . Muuttujien välistä korrelaatiota analysoitiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. Kaikki korrelaatioanalyysit suoritettiin PASW Statistics –ohjelmistolla (Version 18.0.0. 2009; SPSS Inc., Chicago, IL, USA) sekä tilastollinen merkitsevyys käyttäen Microsoft Excelin kahden riippuvan otoksen t-testiä (parempi ja huonompi voitelu).

Tutkimuksessa analysoitiin lukuisia muuttujia, joiden arvoja verrattiin tilanteessa ennen ja jälkeen maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen niin vuorotahtihiihdossa kuin tasatyönöllä.

Analysoitavia muuttujia olivat:

CT	Cycle time (vuorohiihtopotkun yhden syklin kesto aika)
CR	Cycle rate (vuorohiihtopotkun frekvenssi 1/CT)
GT	Glide time (suksen liukuaika)
rGT	relative Glide time (sykli aikaan suhteutettu liukuaika)
KT	Kick time (potkuaika)
rKT	relative Kick time ( sykli aikaan suhteutettu potkuaika)
RT	Recovery time (Potkun palautusaika)
rRT	relative Recovery time (sykli aikaan suhteutettu potkun palautusaika)
PC	Poling cycle (sauvatyönön syklin kesto aika)
PCR	Poling cycle rate (sauvatyönön syklin frekvenssi 1/PC)
PT	Poling time (Sauvan työntö aika)
rPT	relative Poling time (sykli aikaan suhteutettu sauvan työntö aika)
RT_pole	Recovery time poling (sauvatyönön palautusaika)
rRT_pole	relative Recovery time Poling (sykli aikaan suhteutettu sauvatyönön palautusaika)
p_VLF	Peak_Vertcal leg force (Potkun vertikaalinen huippuvoima)
p_VLF_r	Peak_relative Vertcal leg force (Potkun vertikaalinen huippuvoima suhteessa kehon painoon)
i_VLF	Impulse_Vertcal leg force (Potkun vertikaalinen impulssi)
i_VLF_r	relative_Impulse_Vertcal leg force (Potkun vertikaalinen impulssi suhteessa kehon painoon)
av_VLF	Average Vertical leg force (Potkun keskimääräinen vertikaalinen voima)
av_VLF_r	Relative_Average Vertical leg force (Potkun keskimääräinen vertikaalinen voima suhteessa kehon painoon)



p_HLF	Peak_Horizontal leg force (Potkun horisontaalinen huippuvoima)
p_HLF_r	Relative_Peak_Horizontal leg force (Potkun horisontaalinen huippuvoima suhteessa kehon painoon)
i_HLF	Impulse_Horizontal leg force (Potkun horisontaalinen impulssi)
i_HLF_r	Relative_Impulse_Horizontal leg force (Potkun horisontaalinen impulssi suhteessa kehon painoon)
av_HLF	Average Horizontal leg force (Potkun keskimääräinen horisontaalinen voima)
av_HLF_r	Relative_Average Horizontal leg force (Potkun keskimääräinen horisontaalinen voima suhteessa kehon painoon)
PPF	Peak pole force (Sauvatyönnön huippuvoima)
rPPF	Relative_Peak pole force (Sauvatyönnön huippuvoima suhteessa kehon painoon)
i_PF	Impulse_pole force (Sauvatyönnön impulssi)
i_PF_r	Relative_Impulse_pole force (Sauvatyönnön impulssi suhteessa kehon painoon)
av_PF	Average pole force (Sauvatyönnön keskimääräinen voima)
av_PF_r	Relative_Average pole force (Sauvatyönnön keskimääräinen voima suhteessa kehon painoon)
H_PPF	Horizontal Peak pole force (Sauvatyönnön horisontaalinen huippuvoima)
H_rPPF	Relative_Horizontal peak pole force (Sauvatyönnön horisontaalinen huippuvoima suhteessa kehon painoon)
H_i_PF	Horizontal_Impulse_pole force (Sauvatyönnön horisontaalinen impulssi)
H_i_PF_r	Relative_Horizontal_Impulse_pole force (Sauvatyönnön horisontaalinen impulssi suhteessa kehon painoon)
H_av_PF	Horizontal average pole force (Sauvatyönnön keskimääräinen horisontaalinen voima)

H_av_PF_r	Realtive_Horizontal average pole force (Sauvatyönnön keskimääräinen horisontaalinen voima suhteessa kehon painoon)
BiFem_RMS_preAct	Biceps Femouris RMS preactivity (Biceps femouris-lihaksen esiaktiivisuus ennen potkua)
BiFem_RMS_kick	Biceps Femouris RMS activity_kick (Biceps femouris-lihaksen RMS aktiivisuus potkun aikana)
RF_RMS_preAct	Rectus femouris RMS preactivity (Rectus femouris-lihaksen esiaktiivisuus ennen potkua)
RF_RMS_kick	Rectus femouris RMS activity_kick (Rectus femouris-lihaksen RMS aktiivisuus potkun aikana)
VM_RMS_preAct	Vastus Medialis RMS preactivity (Vastus Medialis-lihaksen esiaktiivisuus ennen potkua)
VM_RMS_kick	Vastus Medialis RMS activity_kick (Vastus Medialis-lihaksen RMS aktiivisuus potkun aikana)
Gastro_RMS_preAct	Gastrocnemius RMS preactivity (Gastrocnemius-lihaksen esiaktiivisuus ennen potkua)
Gastro_RMS_kick	Gastrocnemius RMS activity_kick (Gastrocnemius-lihaksen RMS aktiivisuus potkun aikana)
LatDor_RMS_preAct	Latissimus Dorsi RMS preactivity (Latissimus Dorsi-lihaksen esiaktiivisuus ennen sauvatyöntöä)
LatDor_RMS_pole	Latissimus Dorsi RMS activity_kick (Latissimus Dorsi -lihaksen RMS aktiivisuus sauvatyönnön aikana)
Triceps_RMS_preAct	Triceps RMS preactivity (Triceps-lihaksen esiaktiivisuus ennen sauvatyöntöä)
Triceps_RMS_pole	Triceps RMS activity_kick (Triceps-lihaksen RMS aktiivisuus sauvatyönnön aikana)
MVC_jalka	Maximal Voluntary Conduction_jalka (Polven ojentajien maksimaalinen tahdonalainen voimantuotto (Vääntömomentti) isometrisessä voimapenkissä)
MVC_käsi	Maximal Voluntary Conduction_käsi (Kyynärvarren ojentajien maksimaalinen tahdonalainen voimantuotto (Vääntömomentti) isometrisessä voimapenkissä)

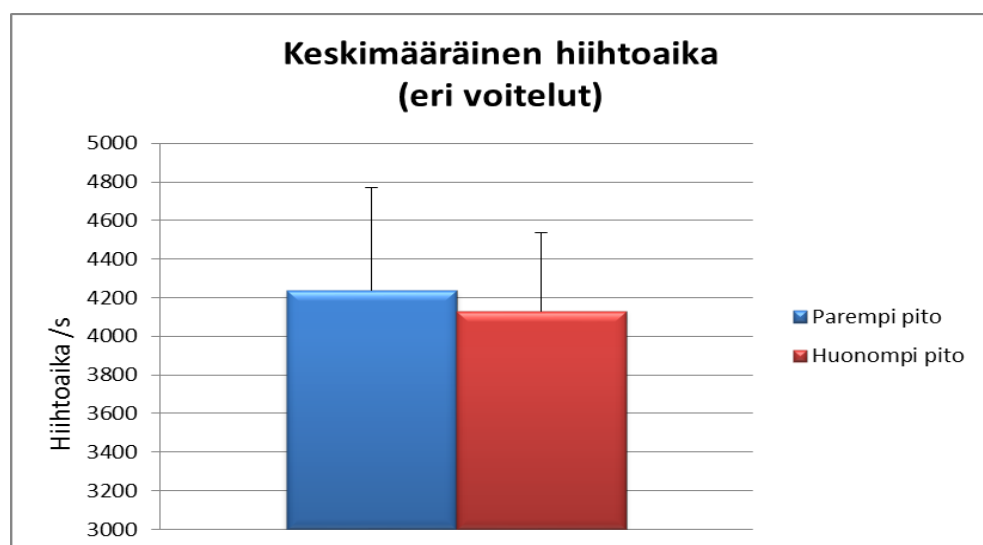
RFD_jalka	Rate of force development_jalka (Polven ojentajien voimantuottonopeus isometrisessä voimapenkissä)
RFD_käsi	Rate of force development_käsi (Kyynärvarren ojentajien voimantuottonopeus isometrisessä voimapenkissä)
MVC_EMG_RMS	EMG RMS activity during MVC (Triceps-, Rectus femouris-, Vastus Medialis- ja Gastrocnemius-lihasten RMS aktiivisuus (RMS amplitudi) maksimaalisen tahdonalaisen voimantuoton aikana isometrisessä voimapenkissä)
Kitkakerroin	Luisto- ja pitokitka suksen liikutuslaitteella
Milan UV-mittaus	UV-valon heijastusmäärä (keskiarvo mittautuloksista)
Mittakello	Voidepaksuus (cm) mittausten keskiarvona
Hiihtoaika	Maksimaalisen pitkäkestoisen (21,6 km) hiihtosuorituksen kokonaisaika
Max.nopeus	Maksiminopeus vuorohiihdolla ja tasatyönöllä mitattuna voimalevyjen (20 m) ylihihdosta

## 11 TULOKSET

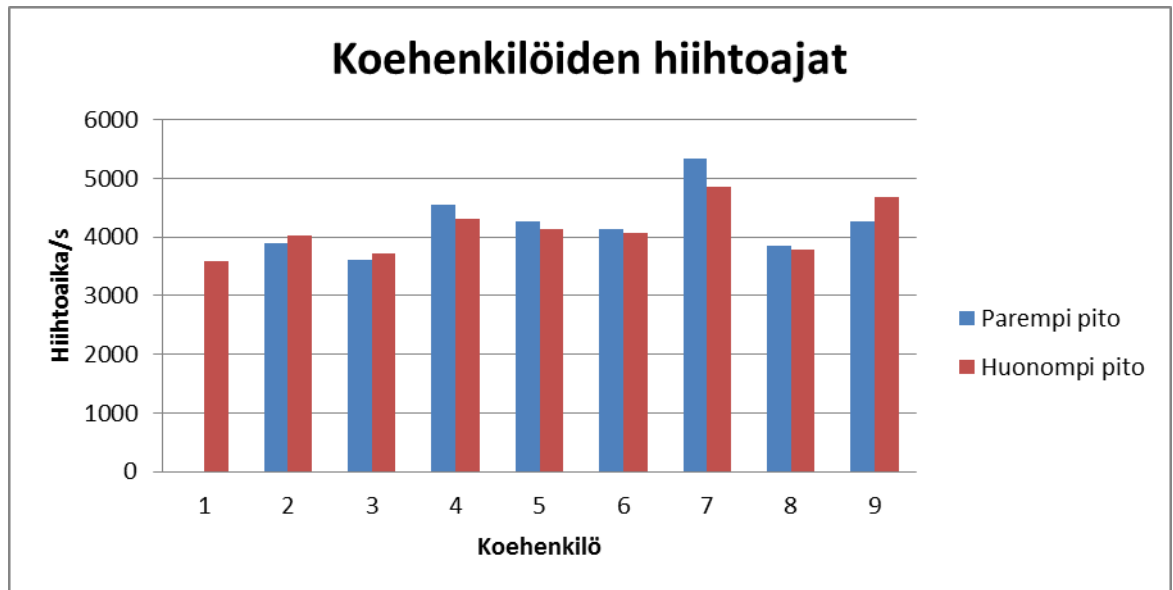
Tuloksissa on vertailtu erilaisia hiihdon aikaisia voima-, sykli- ja lihasaktiivisuusmuuttujia ennen ja jälkeen maksimaalisen pitkäkestoisen (20.7 km) hiihtosuorituksen paremmin ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyessä. Lisäksi on vertailtu suksen kitkakertoimia (pito ja luisto) ja voiteen määrää sekä paksuutta ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen. Näiden lisäksi on vertailtu voimapenkissä saatuja maksimivoima- sekä voimantuottonopeusarvoja. Hiihtäjiltä mitattiin suorituksen aikana myös fysiologisia muuttujia eli veren laktaatti-pitoisuutta ja sykettä. Näitä analysoitiin, jotta nähtiin, tekikö koehenkilö maksimaalisen suorituksen ja löytyikö mahdollisesti eroavaisuuksia erilaisilla voiteluilla hiihdettyessä.

### 11.1 Hiihtoaika

Kuvassa 27 on esitetty koehenkilöiden keskimääräinen hiihtoaika paremmalla ja huonommalla voitellulla hiihdettyessä. Kuvassa 28 on esitetty jokaisen koehenkilön (1-9) hiihtoajat sekä paremmalla että huonommalla voitellulla (pidolla) hiihdettyessä. Keskimääräinen hiihtoaika oli paremmin voidelluilla (parempi pito) suksilla hiihdettyessä  $70.6 \pm 8.9$  min ja huonommin voidelluilla (huonompi pito) suksilla hiihdettyessä  $68.9 \pm 6.7$  min. Hiihtoaikojen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää.



KUVA 27. Koehenkilöiden keskimääräinen hiihtoaika paremmalla ja huonommalla voitellulla hiihdettyessä.



KUVA 28. Koehenkilöiden (1-9) hiihtoajat paremmalla ja huonommalla voitelulla hiihdettäessä. Koehenkilön 1 ensimmäisestä hiihtosuorituksesta ei saatu vertailukelpoista aikaa.

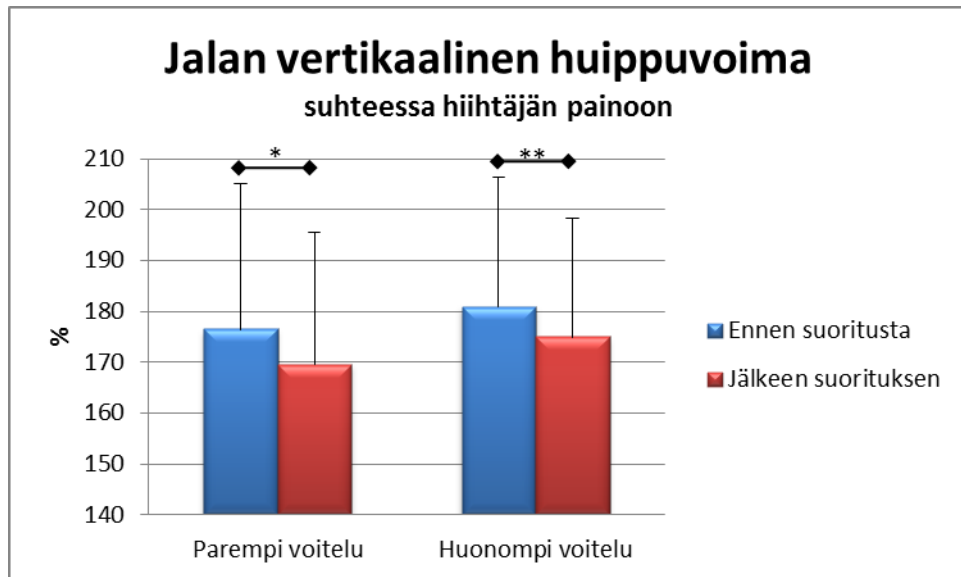
## 11.2 Vuorohiihto

Vuorohiihdossa maksiminopeus (voimalevyjen ylihihto) laski sekä paremmin voidelluilla suksilla ( $4.4 \pm 0.6$  m/s  $\rightarrow$   $3.9 \pm 0.6$  m/s,  $p < 0.01$ ) että huonommin voidelluilla suksilla ( $4.5 \pm 0.7$  m/s  $\rightarrow$   $4.0 \pm 0.5$  m/s,  $p < 0.01$ ) hiihdettäessä maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Eri voiteluiden välillä ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa maksiminopeuksissa tai niiden muutoksissa.

### 11.2.1 Jalkavoimat

*p\_VLF\_r (Jalan vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon)*

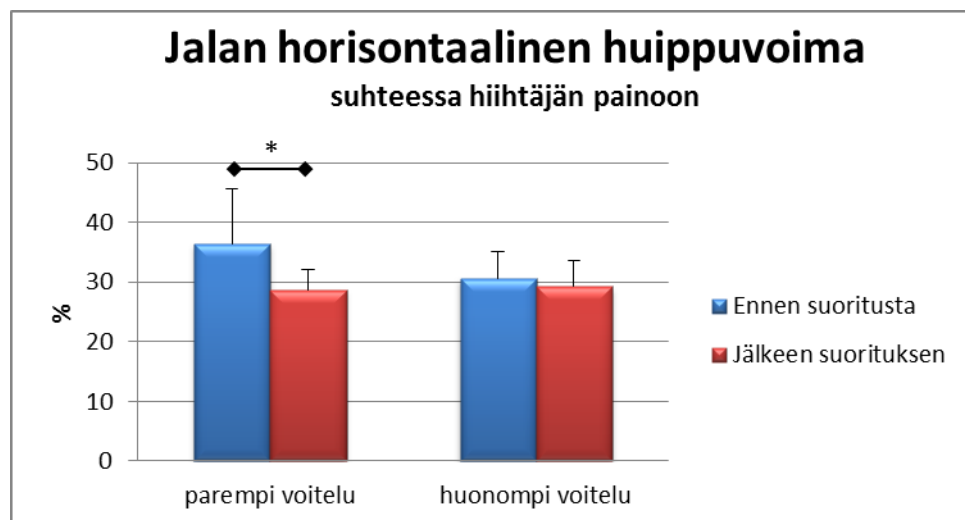
Jalan vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon laski sekä hiihdettäessä paremmin voidelluilla suksilla ( $176.5 \pm 28.7$  %  $\rightarrow$   $169.5 \pm 26.0$  %,  $p < 0.05$ ) että huonommin voidelluilla suksilla ( $180.9 \pm 25.4$  %  $\rightarrow$   $175.0 \pm 23.5$  %,  $p < 0.01$ ) maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. (Kuva 29)



KUVA 29. Jalan vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon

***p\_HLF\_r (Jalan horisontaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon)***

Jalan horisontaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon ( $36.43 \pm 9.19$  %  $\rightarrow$   $28.72 \pm 4.51$  %,  $p < 0.05$ ) laski maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Huonommalla voitelulla hiihettäessä tilastollisesti merkitsevää muutosta horisontaalisessa voimassa ei havaittu. (Kuva 30)

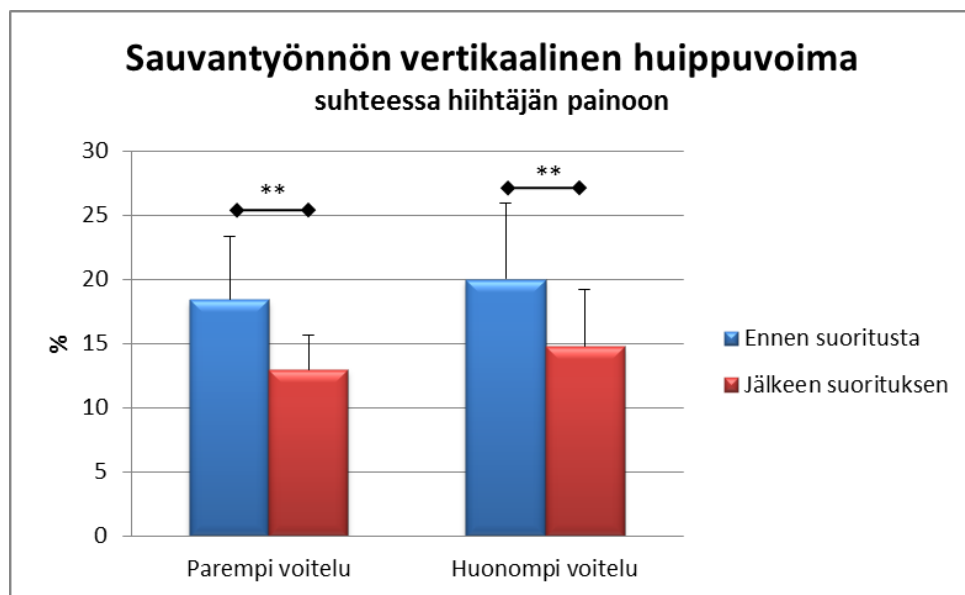


KUVA 30. Jalan horisontaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon

## 11.2.2 Sauvavoimat

### *PPF<sub>r</sub> (Sauvatyönnön vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon)*

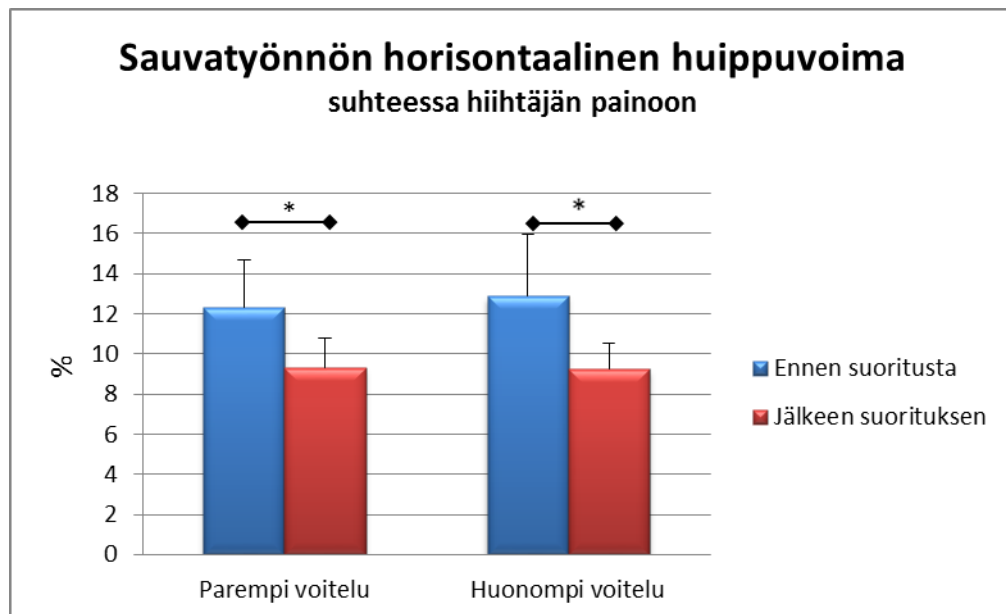
Sauvan vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon laski sekä paremmin voidellulla suksilla hiihdettyessä ( $18.4 \pm 4.9\%$   $\rightarrow$   $13.0 \pm 2.7\%$ ,  $p < 0.01$ ) että huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyessä ( $20.0 \pm 5.9\%$   $\rightarrow$   $14.7 \pm 4.5\%$ ,  $p < 0.01$ ) maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. (kuva 31)



KUVA 31. Sauvatyönnön vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon

### *H<sub>r</sub>PPF (Sauvatyönnön horisontaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon)*

Sauvan horisontaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon laski sekä paremmin voidellulla suksilla hiihdettyessä ( $12.3 \pm 2.4\%$   $\rightarrow$   $9.3 \pm 1.5\%$ ,  $p < 0.05$ ) että huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyessä ( $12.9 \pm 3.1\%$   $\rightarrow$   $9.23 \pm 1.3\%$ ,  $p < 0.05$ ) maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. (kuva 32). Huippuvoiman lasku oli huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyessä suurempi ( $3.0 \pm 0.9\%$  vs  $3.7 \pm 1.9\%$ ,  $p < 0.05$ ).



KUVA 32. Sauvatyönnön horisontaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon

### 11.2.3 Lihaskäyttö (EMG)

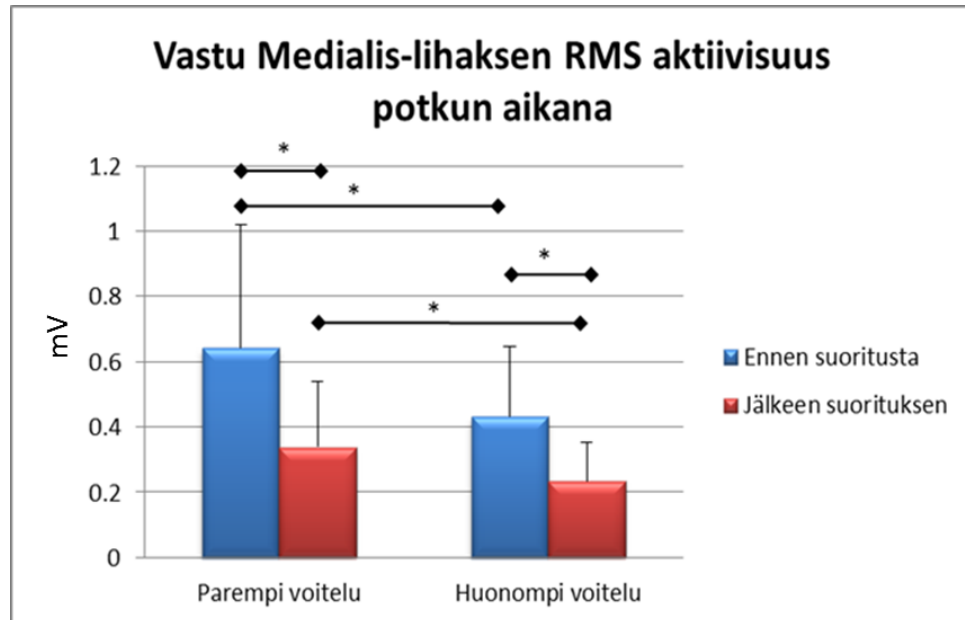
*Vastus Medialis\_RMS\_kick (Vastus Medialis-lihaksen RMS (Root mean square) aktiivisuus potkun aikana)*

Vastus Medialis-lihaksen RMS aktiivisuus potkun aikana laski sekä paremmin voidelluilla suksilla hiihdettäessä ( $0.64 \pm 0.38$  mV  $\rightarrow$   $0.34 \pm 0.20$  mV,  $p < 0.05$ ) että huonommin voidelluilla suksilla hiihdettäessä ( $0.43 \pm 0.22$  mV  $\rightarrow$   $0.23 \pm 0.12$  mV,  $p < 0.05$ ) maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Vastus Medialis-lihaksen RMS aktiivisuus oli paremmin voidelluilla suksilla hiihdettäessä tilastollisesti merkitsevästi korkeampi kuin huonommin voidelluilla suksilla hiihdettäessä sekä ennen että jälkeen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen tehdyissä vertailuissa. (kuva 33)

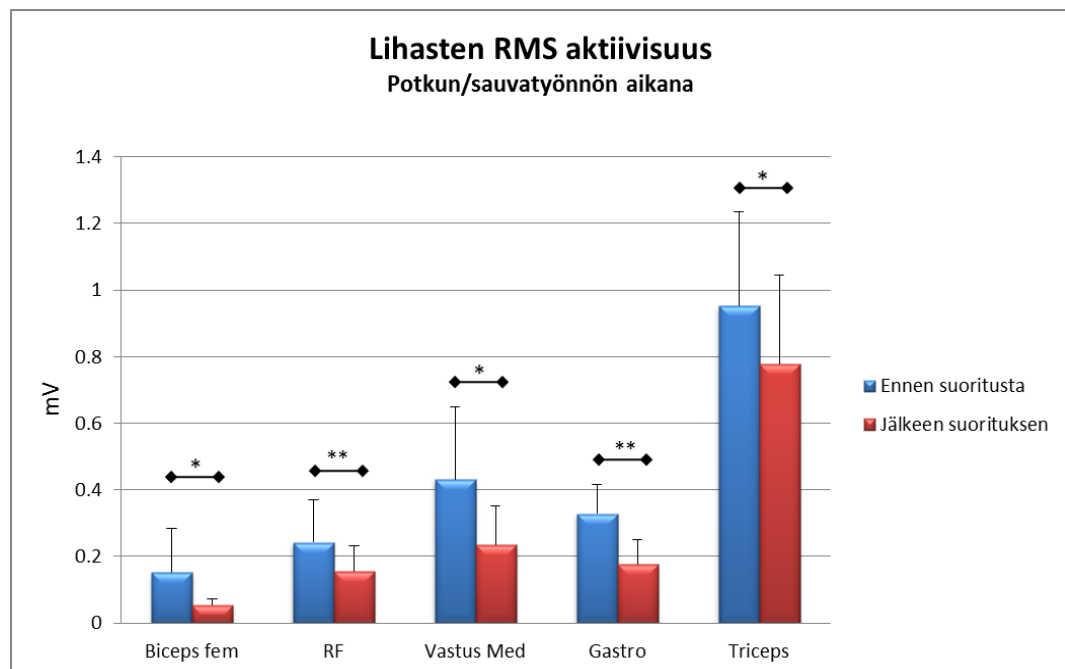
Huonommin voidelluilla suksilla hiihdettäessä myös kaikkien muiden mitattujen lihasten RMS aktiivisuus laski pitkäkestoisen hiihtosuorituksen myötä; Biceps femouris-lihas ( $0.15 \pm 0.13$  mV  $\rightarrow$   $0.06 \pm 0.02$  mV,  $p < 0.05$ ), Rectus Femouris-lihas ( $0.24 \pm 0.13$  mV  $\rightarrow$   $0.16 \pm 0.08$  mV,  $p < 0.01$ ), Gastrocnemius-lihas ( $0.33 \pm 0.09$  mV  $\rightarrow$   $0.18 \pm 0.07$  mV,  $p < 0.01$ ) ja Triceps Brachii-lihas ( $0.95 \pm 0.28$  mV  $\rightarrow$   $0.78 \pm 0.27$  mV).



$p < 0.05$ ) (Kuva 34). Muiden lihasten RMS aktiivisuudessa ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyessä. Latissimus Dorsi-lihaksen analysointi jätettiin tekemättä, koska mittaus epäonnistui suurimmassa osassa mittauksia.



KUVA 33. Vastus Medialis-lihaksen RMS aktiivisuus

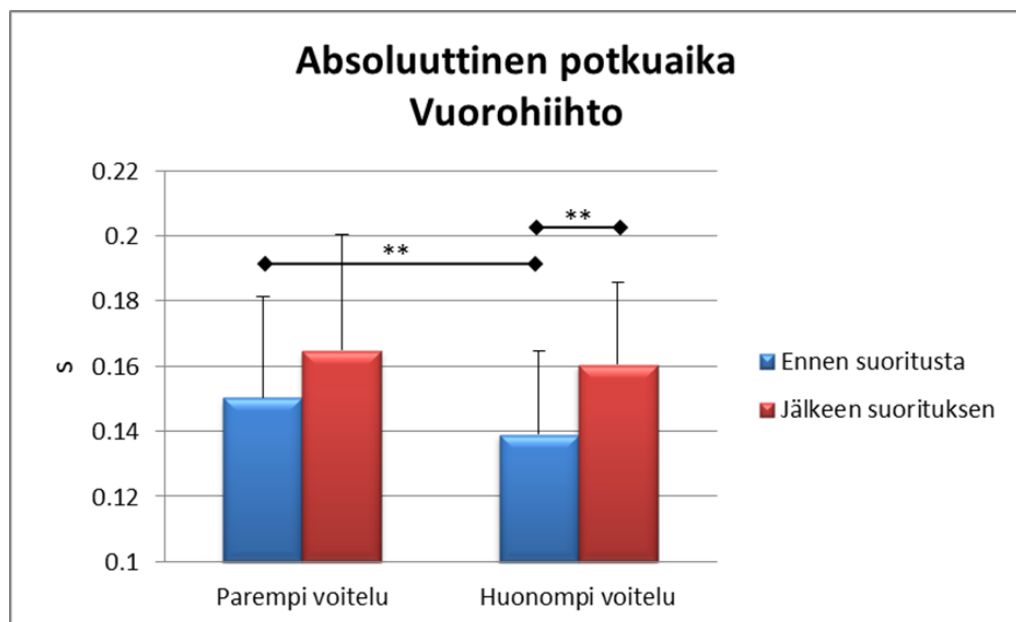


KUVA 34. Lihasten RMS-aktiivisuus huonommin voidellulla suksella hiihdettyessä.

## 11.2.4 Sykliajat

### *KT (KickTime=Potkuaika)*

Huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyessä absoluuttinen potkuaika ( $0.14 \pm 0.03$  s  $\rightarrow$   $0.16 \pm 0.03$  s.  $p < 0.01$ ) piteni maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyessä potkuajan piteneminen ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyessä potkuaika oli ennen pitkäkestoista hiihtosuoritusta pitempi kuin huonommalla voitelulla hiihdettyessä ( $0.15 \pm 0.03$  s  $\rightarrow$   $0.14 \pm 0.03$  s.  $p < 0.01$ ). (Kuva 35)



KUVA 35. Absoluuttinen potkuaika vuorohiihdossa

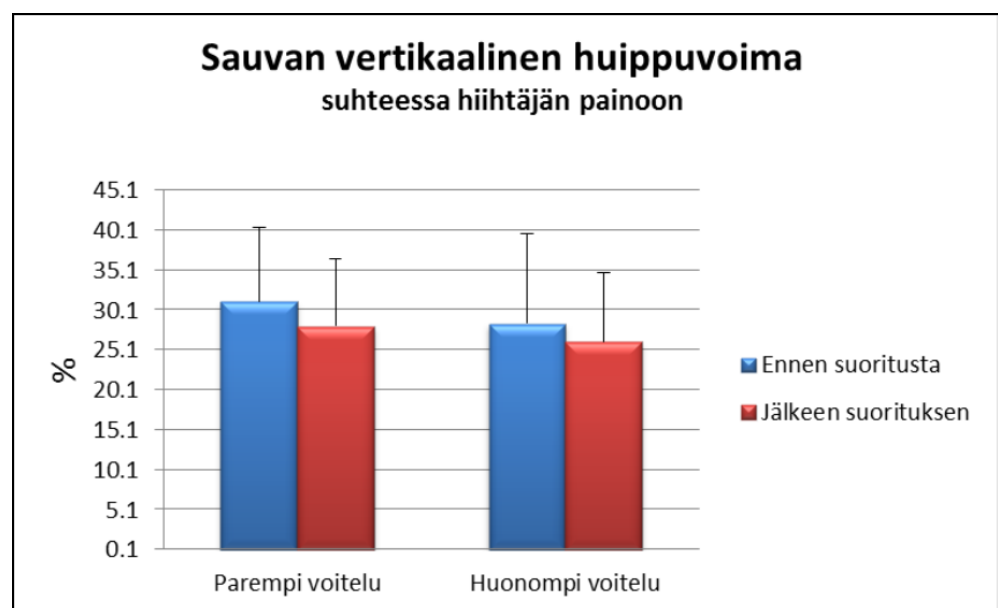
## 11.3 Tasatyöntö

Tasatyönnössä maksiminopeus (voimalevyjen ylihihto) laski sekä paremmin voidelluilla suksilla ( $4.3 \pm 0.6$  m/s  $\rightarrow$   $3.8 \pm 0.4$  m/s,  $p < 0.001$ ) että huonommin voidelluilla suksilla ( $4.5 \pm 0.5$  m/s  $\rightarrow$   $3.9 \pm 0.7$  m/s,  $p < 0.01$ ) hiihettäessä maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Eri voiteluiden välillä ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa maksiminopeuksissa tai niiden muutoksissa.

### 11.3.1 Sauvavoimat

#### *PPF<sub>r</sub> (Sauvan vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon)*

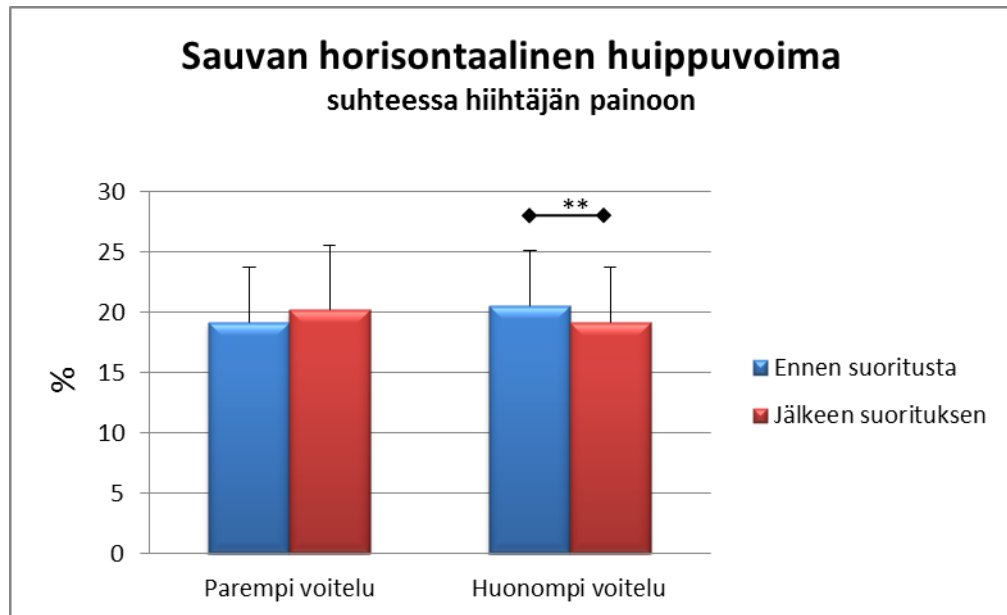
Paremmin voidelluilla suksilla hiihettäessä sauvan vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon ( $31.2 \pm 9.2$  %  $\rightarrow$   $28.1 \pm 8.4$  %,  $p = 0.08$ ) laski lähes tilastollisesti merkitsevästi maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Huonommin voidelluilla suksilla hiihettäessäkin voiman laskua havaittiin, mutta se ei ollut tilastollisesti merkitsevää. (kuva 36)



KUVA 36. Sauvan vertikaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon

### *H\_PPF\_r (Sauvan horisontaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon)*

Huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä sauvan horisontaalinen huippuvoima suhteessa hiihtäjän painoon ( $20.6 \pm 4.5\%$  ->  $19.2 \pm 4.5\%$ ,  $p < 0.01$ ) laski maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä horisontaalinen huippuvoima jopa nousi hieman, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. (Kuva 37)

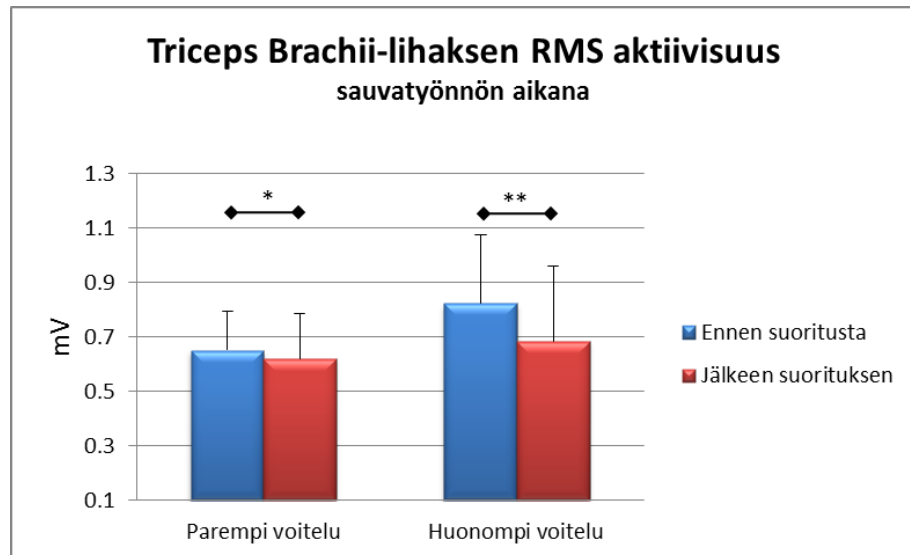


KUVA 37. Sauvan horisontaalinen huippuvoima

### 11.3.2 Lihasaktiivisuus

#### *Triceps\_RMS\_poling (Triceps brachii-lihaksen RMS (Root Mean Square) aktiivisuus sauvatyönnön aikana)*

Triceps Brachii-lihaksen RMS aktiivisuus sauvatyönnön aikana laski sekä paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä ( $0.7 \pm 0.1$  mV ->  $0.6 \pm 0.2$  mV,  $p < 0.05$ ) että huonosti voidelluilla suksilla hiihdettyäessä ( $0.8 \pm 0.3$  mV ->  $0.7 \pm 0.3$  mV,  $p < 0.01$ ) maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. (Kuva 38)

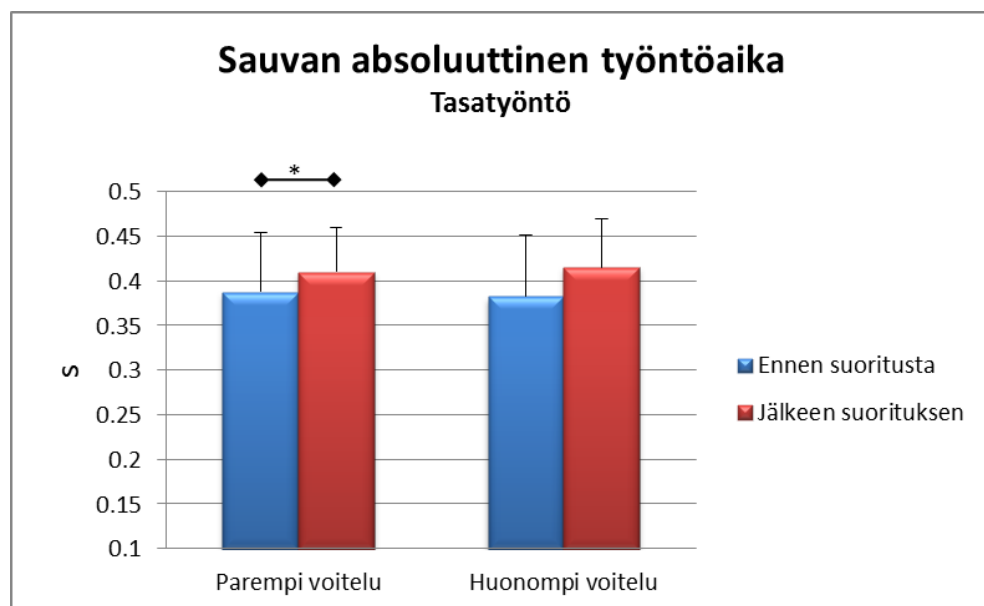


KUVA 38. Triceps Brachii-lihaksen RMS aktiivisuus

### 11.3.3 Sykliajat

#### *PT (Sauvan absoluuttinen työntöaika)*

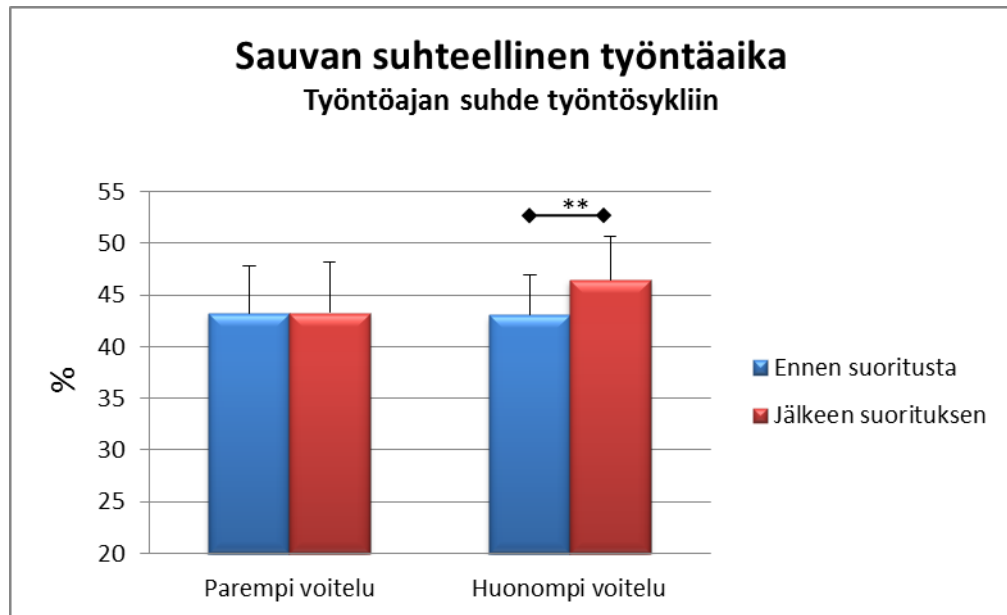
Paremmiin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä sauvan absoluuttinen työntöaika ( $0.39 \pm 0.07$  s  $\rightarrow$   $0.41 \pm 0.05$  s,  $p < 0.05$ ) piteni maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittu. (Kuva 39)



KUVA 39. Sauvan absoluuttinen työntöaika

***PT<sub>r</sub>*** (Sauvan työntöajan suhde työntösykliin)

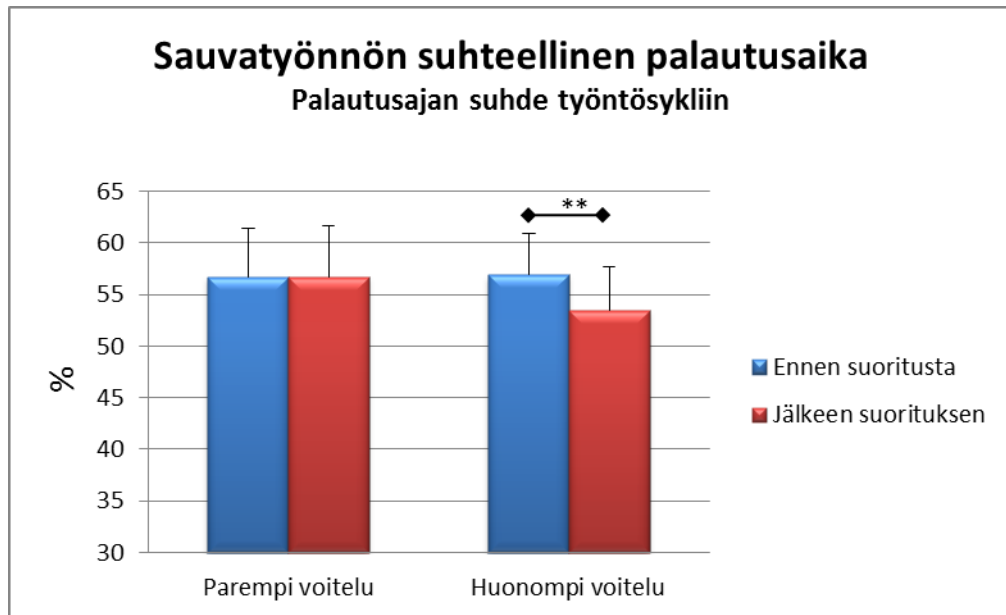
Huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyessä sauvan työntöajan suhde työntösykliin ( $43.1 \pm 3.9$  %  $\rightarrow$   $46.5 \pm 4.2$  %,  $p < 0.01$ ) kasvoi maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyessä tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittu. (Kuva 40)



KUVA 40. Sauvan suhteellinen työntäaika

***RT<sub>pole\_r</sub>*** (Sauvatyönnön palautusajan (recovery time) suhde työntösykliin)

Huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyessä sauvatyönnön palautusajan suhde työntösykliin ( $56.9 \pm 3.9$  %  $\rightarrow$   $53.5 \pm 4.2$  %,  $p < 0.01$ ) pieneni maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyessä tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittu. (kuva 41)



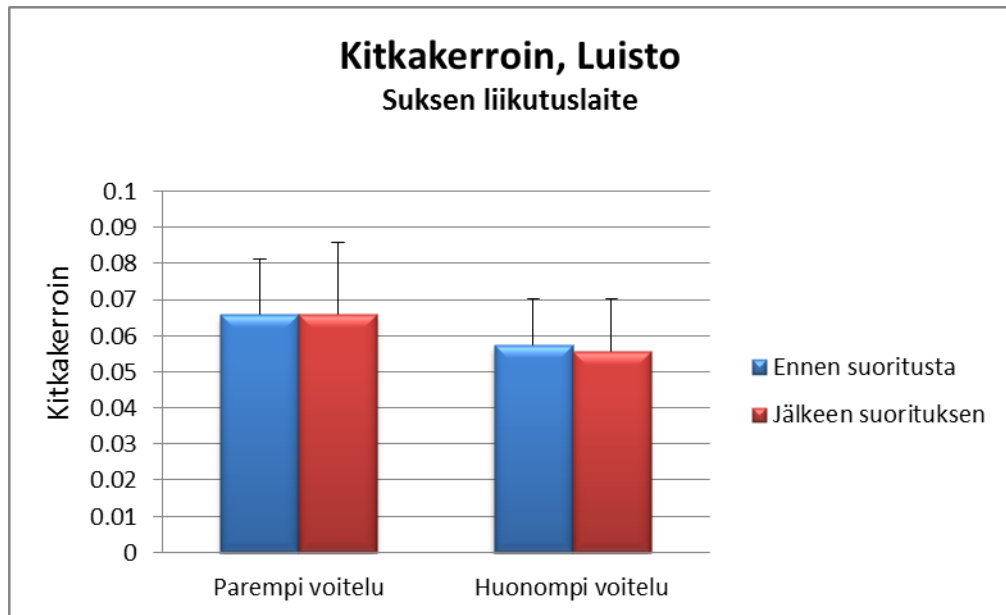
KUVA 41. Sauvatyönnön suhteellinen palautusaika

## 11.4 Suksen voidemittaukset

### 11.4.1 Suksen liikutuslaite

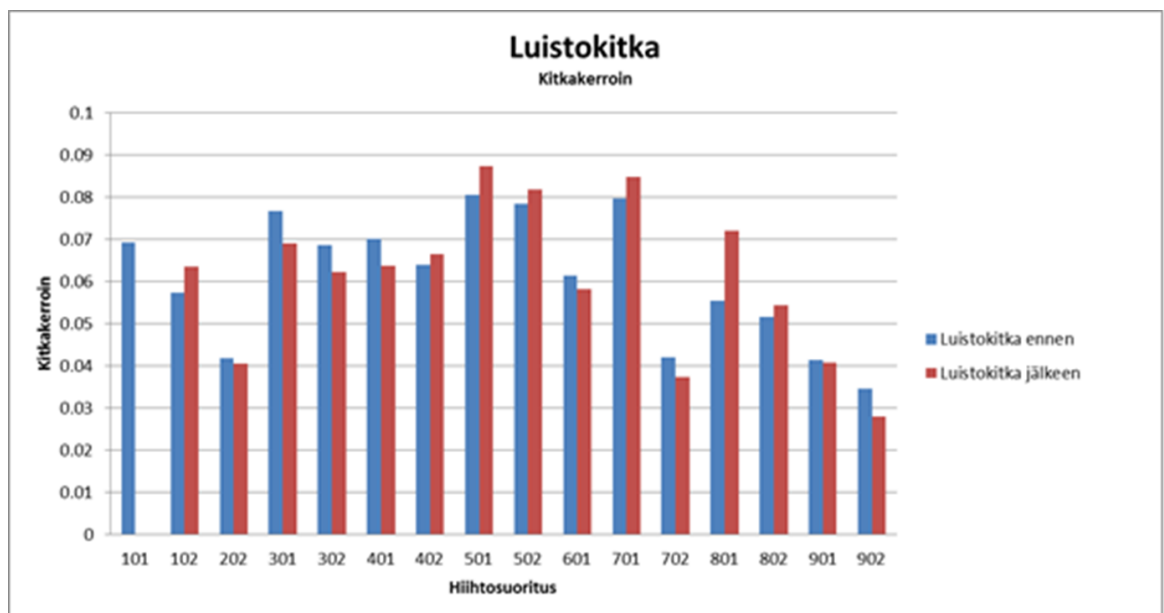
#### *Luistokitka*

Suksen liikutuslaitteella ei havaittu tilastollisesti merkittäviä muutoksia luistokitkassa hyvin ( $0.07 \pm 0.02 \rightarrow 0.07 \pm 0.02$ ,  $p=0.42$ ) tai huonosti ( $0.06 \pm 0.01 \rightarrow 0.06 \pm 0.02$ ,  $p=0.28$ ) voidelluissa suksissa pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. (Kuva 42)



KUVA 42. Suksen luistokitka

Seuraavassa kuvassa (kuva 43) on esitetty suksen liikutuslaitteella mitatut keskimääräiset kitkakertoimet luistomittauksessa.

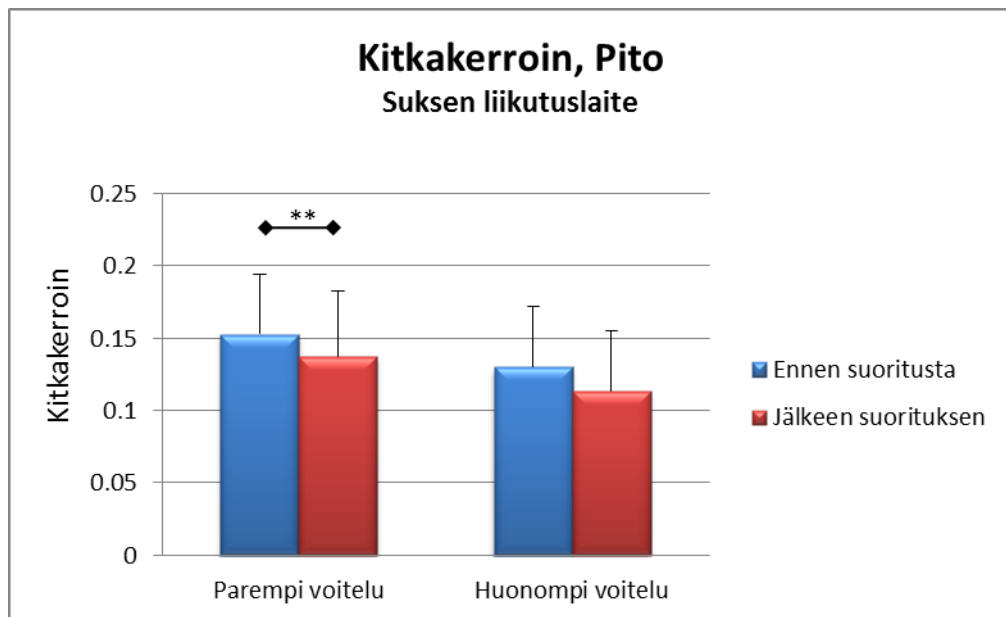


KUVA 43. Suksen liikutuslaitteella mitatut keskimääräiset kitkakertoimet luistomittauksessa. Vaaka-akselin luvut (101-902) ovat koehenkilöiden suksien mittauksia. 101 ja 102 koehenkilön 1 sukset eri suorituskerroilla, 201 ja 202 koehenkilön 2 sukset jne. Koehenkilön 1 ensimmäisen testin jälkimmäinen mittaus sekä koehenkilön 6 koko toinen mittaus (=602) epäonnistuivat.



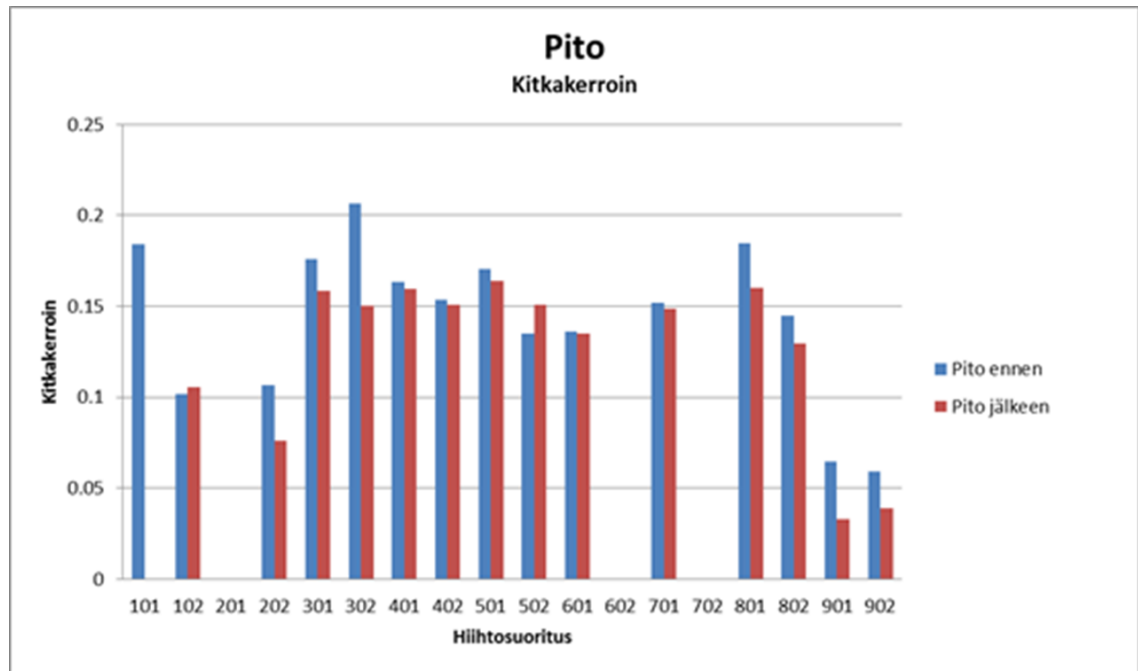
### *Pito*

Suksen liikutuslaitteella tehdyissä pito-mittauksissa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla ( $0.15 \pm 0.04 \rightarrow 0.14 \pm 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) lepokitkan pieneneminen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana. Huonommin voidelluilla suksilla ( $0.13 \pm 0.04 \rightarrow 0.11 \pm 0.04$ ,  $p = 0.062$ ) kitkan pieneneminen ei ollut tilastollisesti aivan merkitsevää. (Kuva 44)



KUVA 44. Suksen pito (lepokitka)

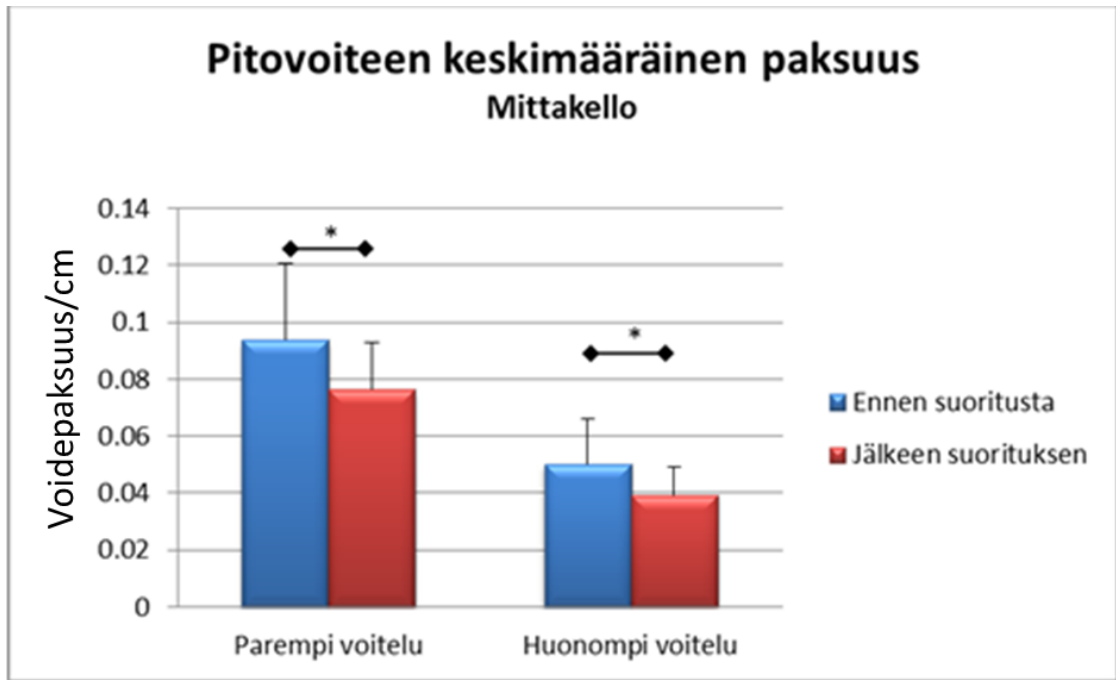
Seuraavassa kuvassa (Kuva 45) on esitetty suksen liikutuslaitteella eri koehenkilöiden suksilla mitatut keskimääräiset kitkakertoimet pito-mittauksessa.



KUVA 45. Suksen liikituslaitteella mitatut keskimääräiset kitkakertoimet pitomittauksessa. Vaaka-akselin luvut (101-902) ovat koehenkilöiden suksien mittauksia. 101 ja 102 koehenkilön 1 sukset eri suorituskerroilla, 201 ja 202 koehenkilön 2 sukset jne. Puuttuvat tulokset ovat mittauksessa epäonnistuneet.

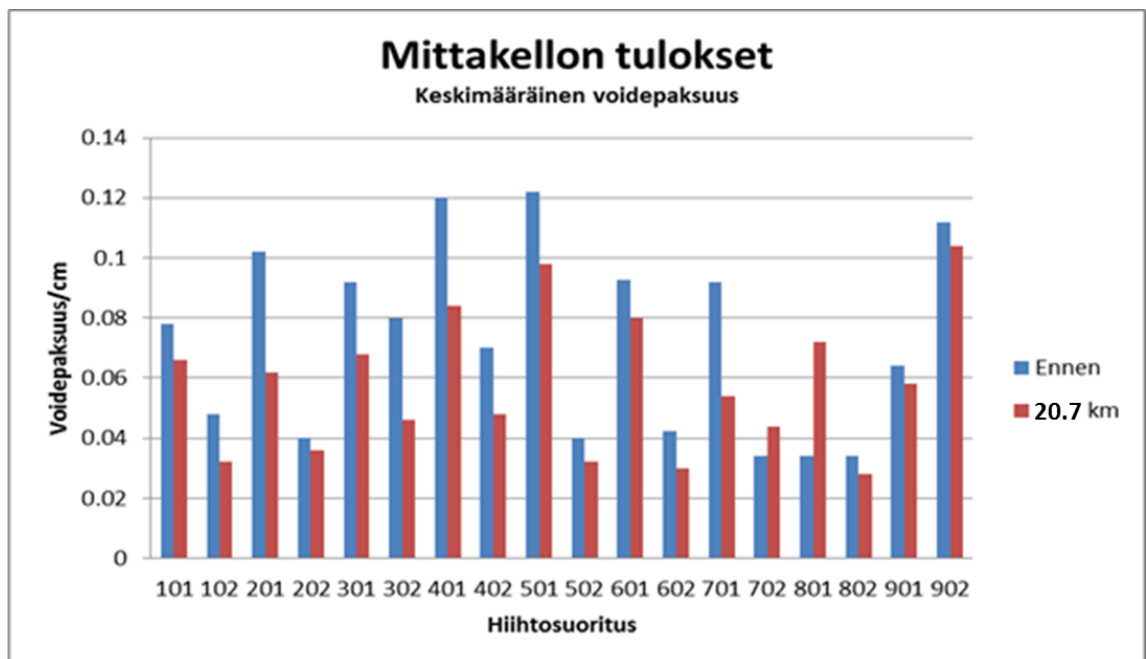
### 11.4.2 Mittakello

Mittakellolla tehdyssä pitovoiteen paksuusmittauksessa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla ( $0.09 \pm 0.03$  cm  $\rightarrow$   $0.08 \pm 0.02$  cm,  $p < 0.05$ ) sekä huonommin voidelluilla suksilla ( $0.05 \pm 0.02$  cm  $\rightarrow$   $0.04 \pm 0.01$ ,  $p < 0.05$ ) pitovoiteen paksuuden pieneminen eli pitovoiteen keskimääräinen väheneminen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana. (Kuva 46). Tuloksista voidaan myös selkeästi nähdä, että paremmin voidelluissa suksissa oli sekä ennen että jälkeen hiihdon huomattavasti eli noin puolet enemmän pitovoidetta.



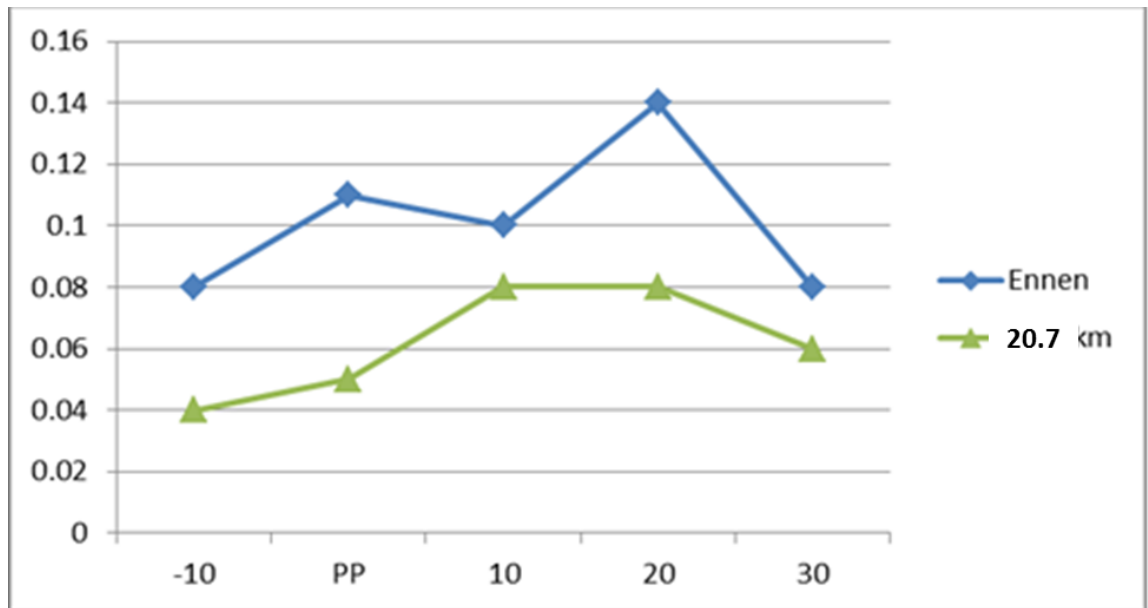
KUVA 46. Pitovoiteen keskimääräinen paksuus mittakellolla mitattuna

Seuraavassa kuvassa (Kuva 47) on mittakellolla mitatut keskimääräiset pitovoidepaksuudet kaikille hiihtosuorituksille ennen ja jälkeen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen.



KUVA 47. Mittakellolla mitatut keskimääräiset pitovoidepaksuudet kaikille hiihtosuorituksille (101 – 902)

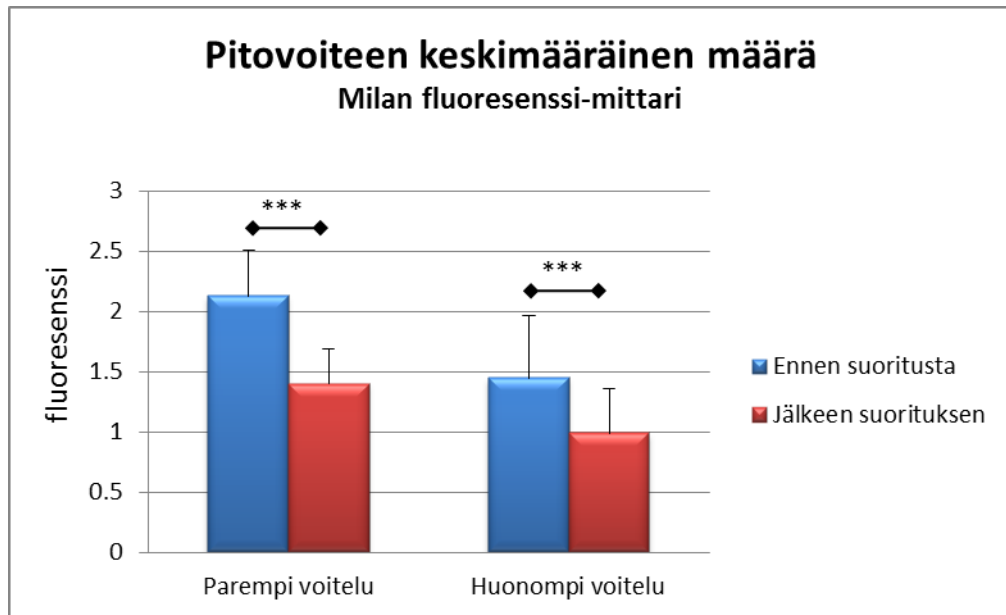
Kuvassa 48 on esimerkki mittakellon pitoalueen eri mittauspisteiden tuloksista (pitovoiteen määrä) ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen.



KUVA 48. Mittakellon pitovoiteen mittaustulokset (voidepaksuus/cm) eri mittauspisteissä. PP on suksen painopiste, -10 on 10 cm painopisteen takana, 10 on 10 cm painopisteen edessä jne. Kyseessä paremmin voideltu suksi.

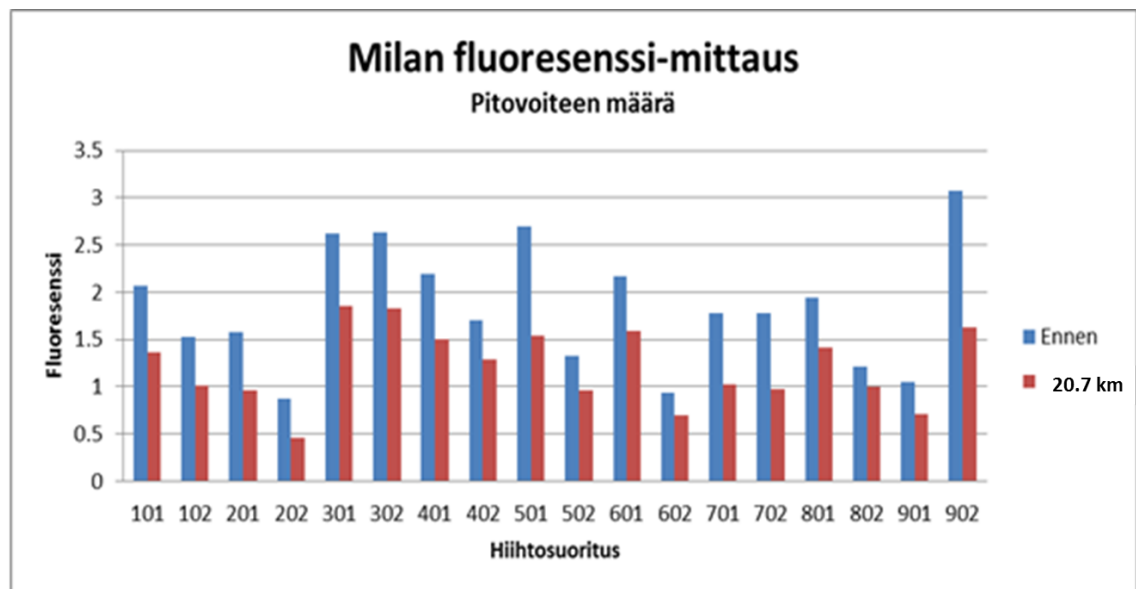
### 11.4.3 Milan fluoresenssi-mittari

Milan fluoresenssi-mittarilla tehdyssä pitovoiteen mittauksessa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla ( $2.1 \pm 0.4 \rightarrow 1.4 \pm 0.3$ ,  $p < 0.001$ ) sekä huonommin voidelluilla suksilla ( $1.5 \pm 0.5 \rightarrow 1.0 \pm 0.04$ ,  $p < 0.001$ ) pitovoiteen keskimääräinen väheneminen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana. (Kuva 49)



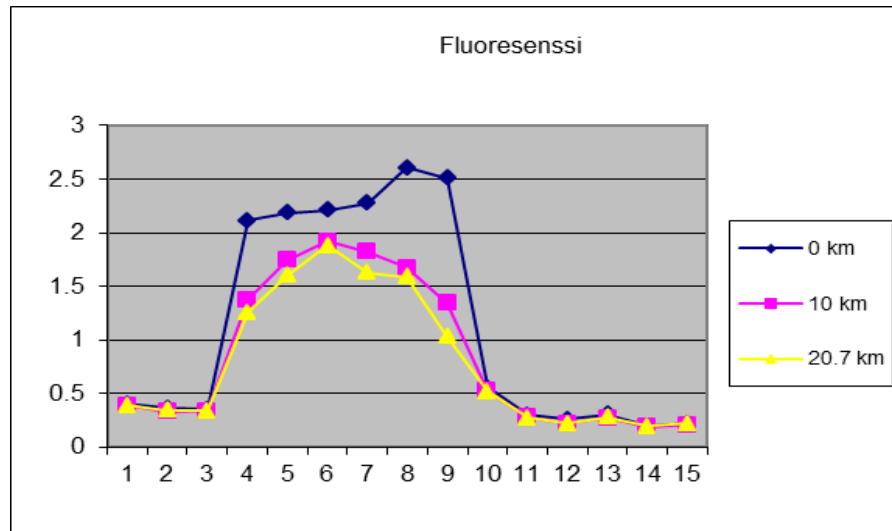
KUVA 49. Pitovoiteen määrä Milan fluoresenssi-mittarilla mitattuna

Seuraavassa kuvassa (Kuva 50) Milan fluoresenssi-mittarilla mitatut pitovoiteen määrät eri hiihtosuorituksista. Fluoresenssi-mittaus tehtiin ennen hiihtoa ja hiihdon jälkeen sekä puolessa matkassa. Tässä tarkastellaan kuitenkin vain alku ja lopputilannetta.



KUVA 50. Milan fluoresenssi-mittalaitteella mitatut pitovoidemäärät (fluoresenssi) kaikille hiihtosuorituksille (101-902)

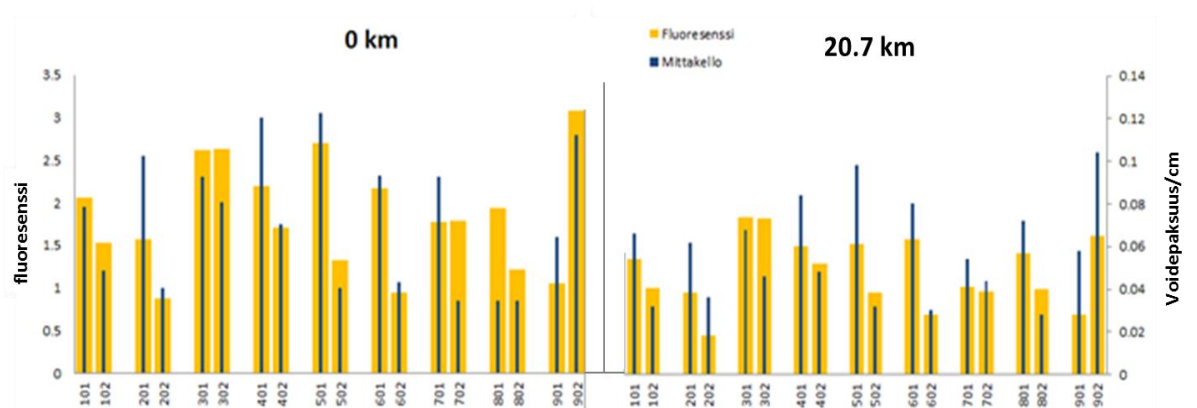
Kuvassa 51 on esimerkki fluoresenssi-mittarin mittaustuloksista suksen eri mittauspisteissä.



KUVA 51. Esimerkki fluoresenssi-mittarin mittaustuloksista suksen eri mittauspisteissä. X-akselin 1-numero on ensimmäinen mittauspiste suksen kärjestä lukien. Käyrät nousevat jyrkästi (voidemäärä lisääntyy), kun pitoalue alkaa. Kyseessä paremmin voideltu suksi.

#### 11.4.4 Mittakello vs Fluoresenssi-mittari

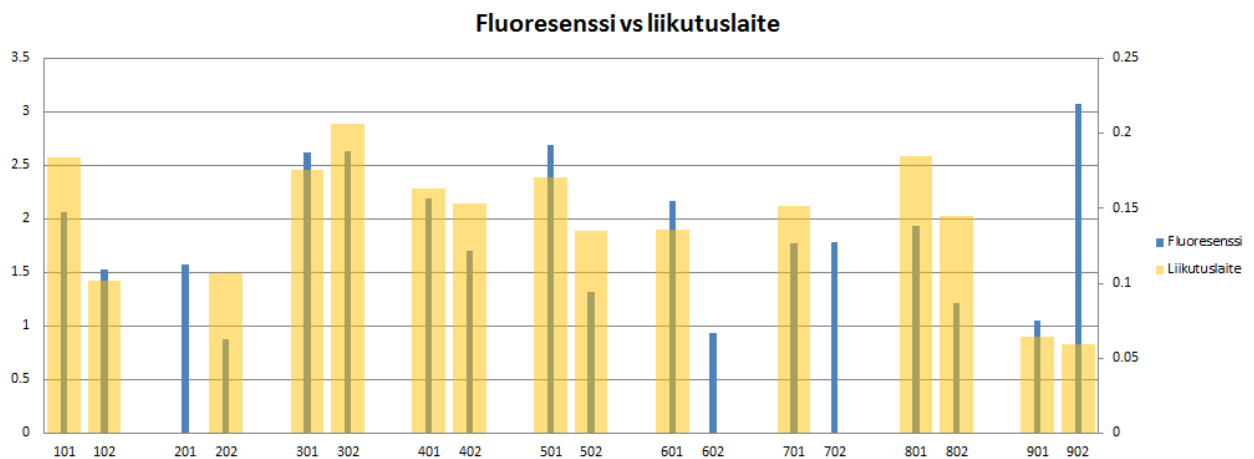
Kuvassa 52 on havainnollistettu vertailua mittakellon ja fluoresenssi-mittarin mittaustulosten välillä pitovoiteen mittauksessa. Ennen hiihtosuoritusta (0 km) mitatuilla mittakellon mittaustuloksilla oli tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio fluoresenssi-mittausten tuloksiin ( $r=0.665$ ,  $p<0.01$ ) ja hiihdon jälkeen (21.6 km) mitatuilla mittakellon mittaustuloksilla oli myös tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio fluoresenssi-mittausten tuloksiin ( $r=0.610$ ,  $p<0.01$ )



KUVA 52. Voidemäärän (pitovoide) keskimääräiset mittaustulokset mittakellolla ja fluoresenssi-mittarilla ennen hiihtoa (0 km) ja hiihdon jälkeen (20.7 km) tehdyistä mittauksista. Vasemmalla pystyakselilla fluoresenssi-mittauksen arvot (0 – 3.5) ja oikealla mittakellon arvot (0 – 0.14).

### 11.4.5 Fluoresenssi vs. suksen liikutuslaite

Kuvassa 53 on havainnollistettu vertailua fluoresenssi-mittauksen ja suksen liikutuslaitteen mittaustulosten välillä pitovoiteen mittauksessa ennen hiihtosuoritusta tehdyissä mittauksissa. Ennen hiihtosuoritusta mitatuilla fluoresenssi-mittarin mittaustuloksilla oli tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio liikutuslaitteen tuloksiin ( $r=0.778$ ,  $p<0.001$ ) ja hiihdon jälkeen mitatuilla fluoresenssi-mittarin mittaustuloksilla oli myös tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio liikutuslaitteen tuloksiin ( $r=0.732$ ,  $p<0.01$ )



KUVA 53. Fluoresenssi-mittarin ja suksen liikutuslaitteen keskimääräiset mittaustulokset ennen hiihtosuoritusta. Vasemmalla Y-akselilla fluoresenssi-arvot ja oikealla Y-akselilla liikutuslaitteen kitka-arvot. Keltaisen palkin puuttuminen tarkoittaa testauksen epäonnistumista.

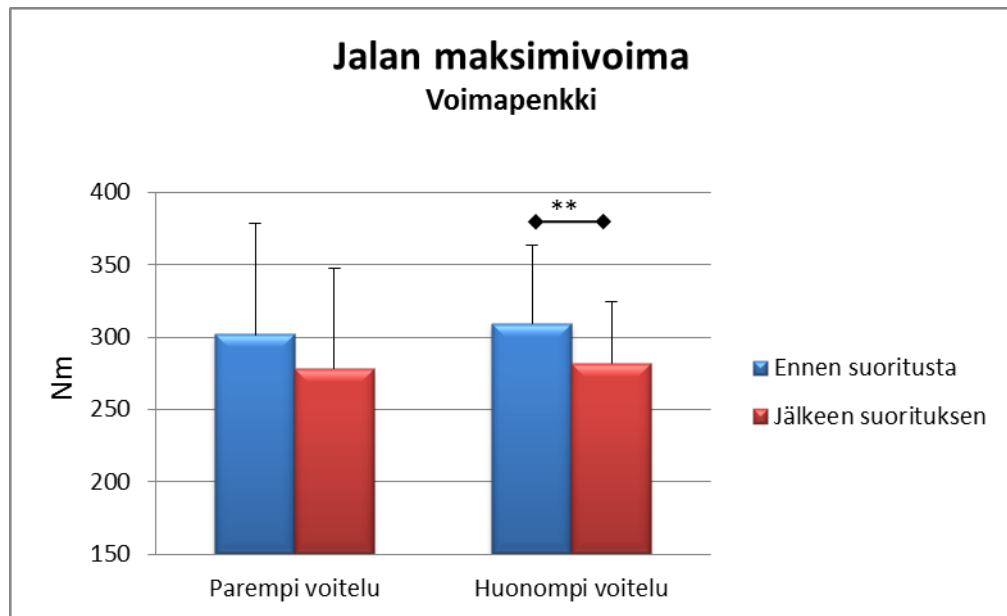
## 11.5 Maksimivoima ja voimantuottonopeus

### 11.5.1 Maksimivoima (MVC), Voimapenkki

#### *Jalka*

Voimapenkissä suoritettussa polven ojentajien maksimivoimamittauksessa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla ( $301.8 \pm 76.8$  Nm  $\rightarrow$   $278.1 \pm 69.7$  Nm,  $p=0.056$ ) tilastollisesti lähes merkitsevä voimatason lasku maksimaalisen pitkäkestoisen

hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Huonommin voidelluilla suksilla ( $309.7 \pm 53.6$  Nm  $\rightarrow$   $282.1 \pm 42.2$ ,  $p < 0.01$ ) voimatason lasku oli tilastollisesti merkitsevää. (Kuva 54)

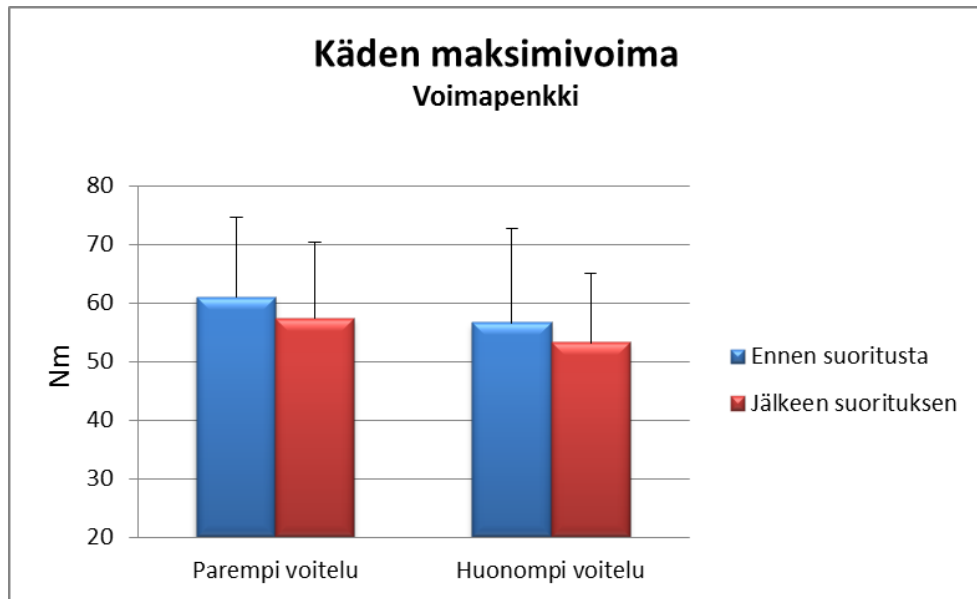


KUVA 54. Polven ojentajien maksimivoima (MVC)

### ***Käsi***

Voimapenkissä suoritettussa kyynärvarren ojentajien maksimivoimamittauksessa paremmin voidelluilla suksilla hiihdettäessä ( $61.1 \pm 13.7$  Nm  $\rightarrow$   $57.4 \pm 13.1$  Nm,  $p = 0.075$ ) sekä huonommin voidelluilla suksilla hiihdettäessä ( $56.7 \pm 16.1$  Nm  $\rightarrow$   $53.2 \pm 12.0$  Nm,  $p = 0.18$ ) ei havaittu tilastollisesti merkittäviä voimatason muutoksia maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta, vaikkakin molemmissa tapauksissa voimataso hieman laski. (Kuva 55)



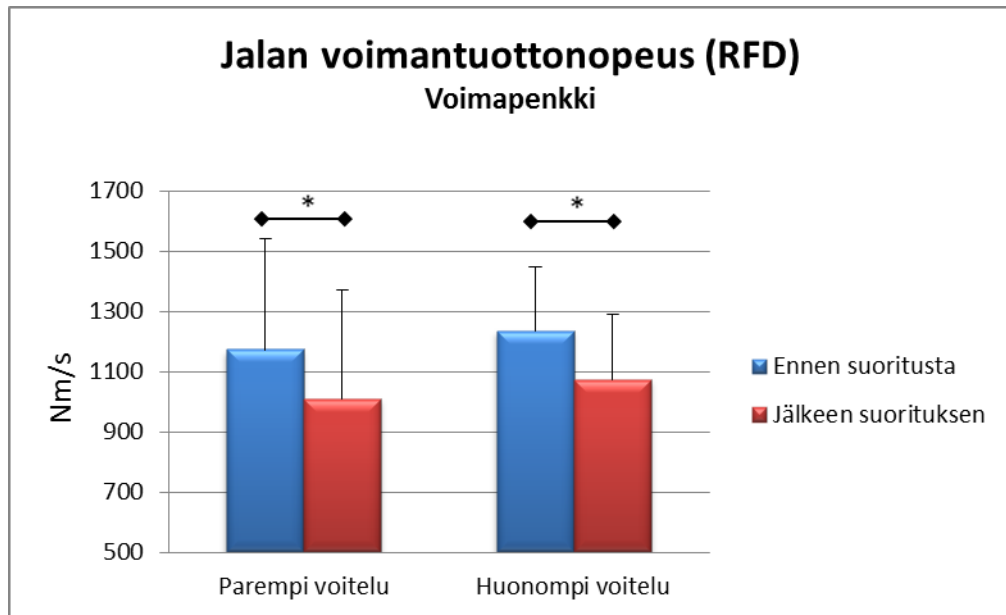


KUVA 55. Kynärvarren ojentajien maksimivoima

### 11.5.2 Voimatuottonopeus (RFD), Voimapenkki

#### *Jalka*

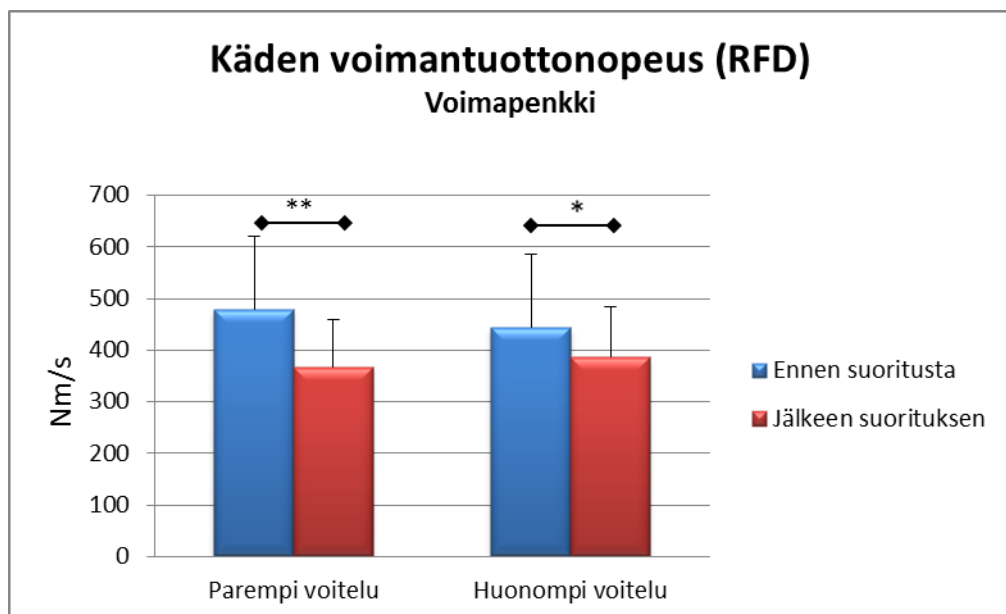
Voimapenkissä suoritettussa polven ojentajien RFD-mittauksessa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyessä ( $1173.7 \pm 368.2$  Nm/s  $\rightarrow$   $1010.5 \pm 360.1$  Nm/s,  $p < 0.05$ ) sekä huonommin voidelluilla suksilla ( $1236.7 \pm 212.3$  Nm/s  $\rightarrow$   $1073.36 \pm 219.2$ ,  $p < 0.01$ ) hiihdettyessä voimantuottonopeuden lasku maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. (Kuva 56)



KUVA 56. Polven ojentajien voimantuottonopeus (RFD)

### ***Käsi***

Voimapenkissä suoritettua kyynärvarren ojentajien RFD-mittauksessa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla ( $478.7 \pm 142.9$  Nm/s  $\rightarrow$   $366.5 \pm 91.5$  Nm/s,  $p < 0.01$ ) sekä huonommin voidelluilla suksilla ( $443.3 \pm 142.5$  Nm/s  $\rightarrow$   $386.1 \pm 98.4$  Nm/s,  $p < 0.05$ ) hiihettäessä voimantuottonopeuden lasku maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. (Kuva 57)



KUVA 57. Kyynärvarren ojentajien voimantuottonopeus (RFD)

## 11.6 Fysiologiset mittaukset

### 11.6.1 Veren laktaattipitoisuus

Seuraavassa kuvassa (kuva 58) on esitetty veren laktaattipitoisuuden (koehenkilöiden keskiarvo) muuttuminen hiihtosuorituksen aikana paremmalla ja huonommalla voitelulla hiihdettyäessä. Keskimääräinen laktaattitaso verryttelylänkin jälkeen oli paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 1.9 mmol/l ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 1.7 mmol/l, hiihdon puolessa välissä paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 2.8 mmol/l ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 3.2 mmol/l sekä heti hiihdon loputtua paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 3.5 mmol/l ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 2.5 mmol/l.



KUVA 58. Veren keskimääräiset laktaattiarvot maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana

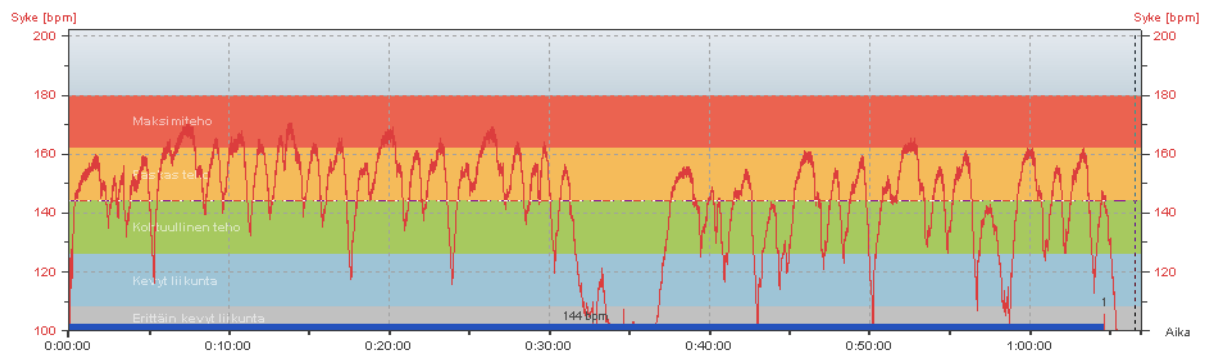
### 11.6.2 Syke

Tutkimuksessa mitattiin ja analysoitiin koehenkilöiden sykettä hiihdon aikana. Seuraavassa taulukossa (taulukko 3) on esitetty koehenkilöiden keskimääräinen syke sekä paremmalla että huonommalla voitelulla hiihdettyäessä ja koehenkilöiden sykkeiden keskiarvot (ka). Sykkeiden keskiarvo oli 1.8 % suurempi hiihdettyäessä huonommalla voitelulla. Ero oli tilastollisesti lähes merkitsevä ( $p=0.05$ ).

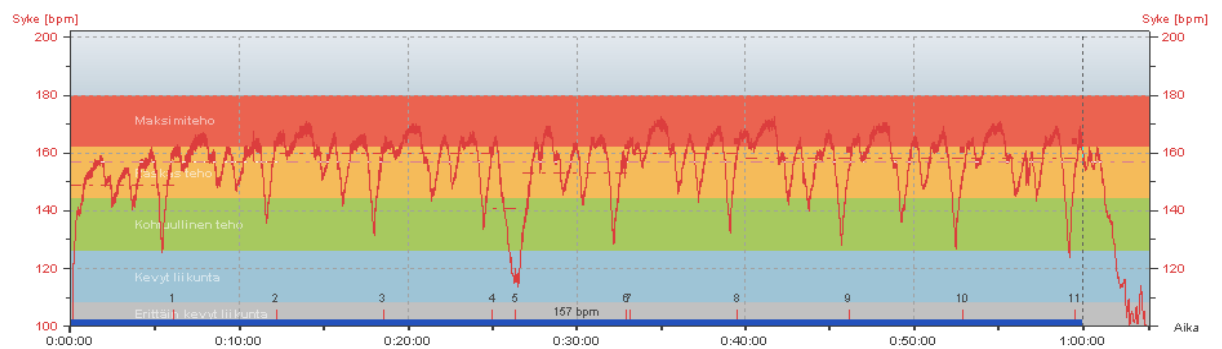
TAULUKKO 3. Sykemittarilla kerätyn sykedatan keskiarvot hiihtosuorituksista

Koehenkilö	Parempi voitelu	Huonompi voitelu
1	144	157
2	149	155
3	170	173
4	175	175
5	170	171
6	165	163
7	150	150
8	156	155
9	171	178
ka	161.1	164.1

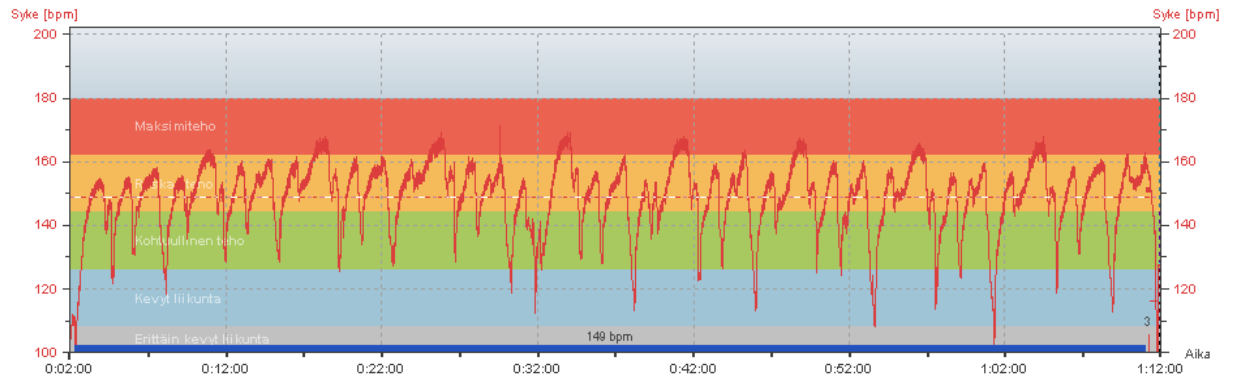
Alla olevissa kuvissa (kuvat 59-76) on esitetty eri koehenkilöiden testihiihdon aikaiset sykkeet käyrinä. Punainen alue kuvassa on arvioitu maksimitehon alue, josta voidaan karkeasti päätellä hiihdon fysiologista kuormittavuutta ja mm. sitä, onko hiihtosuoritus ollut maksimaalinen (ns. kilpailusuoritus)



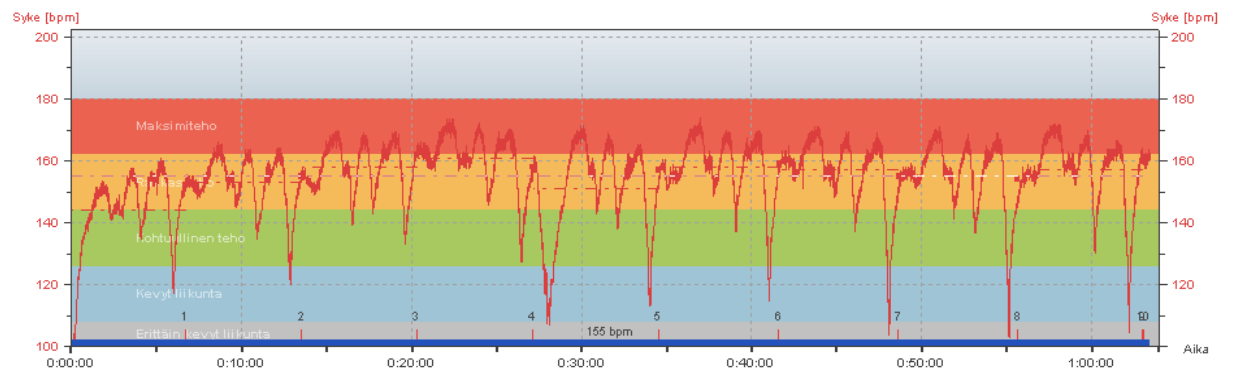
KUVA 59. Koehenkilön 101 sykekäyrä



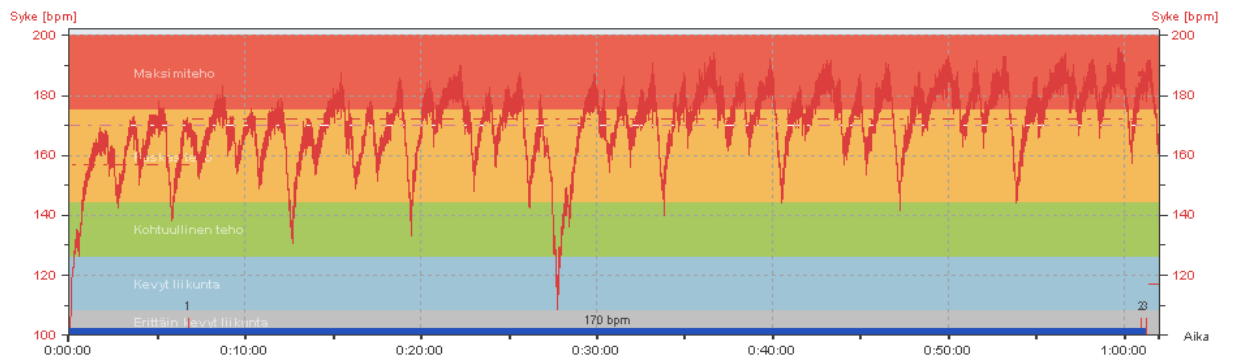
KUVA 60. Koehenkilön 102 sykekäyrä



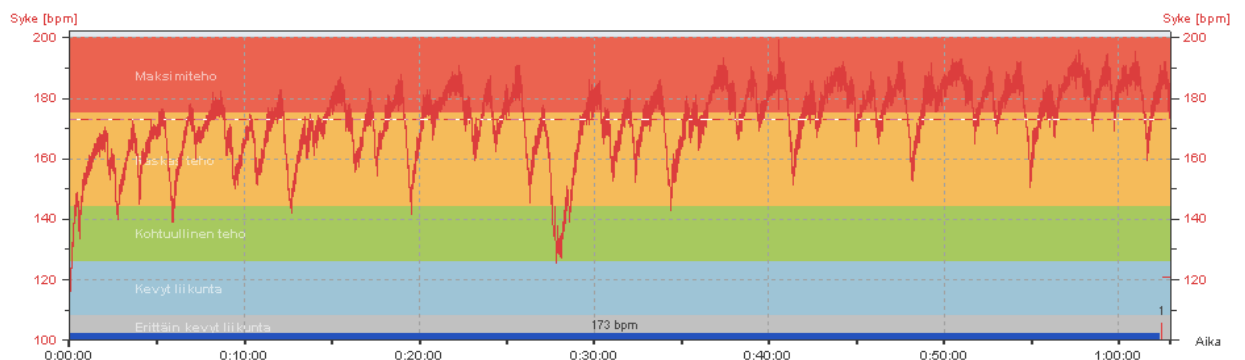
KUVA 61. Koehenkilön 201 sykekäyrä



KUVA 62. Koehenkilön 202 sykekäyrä



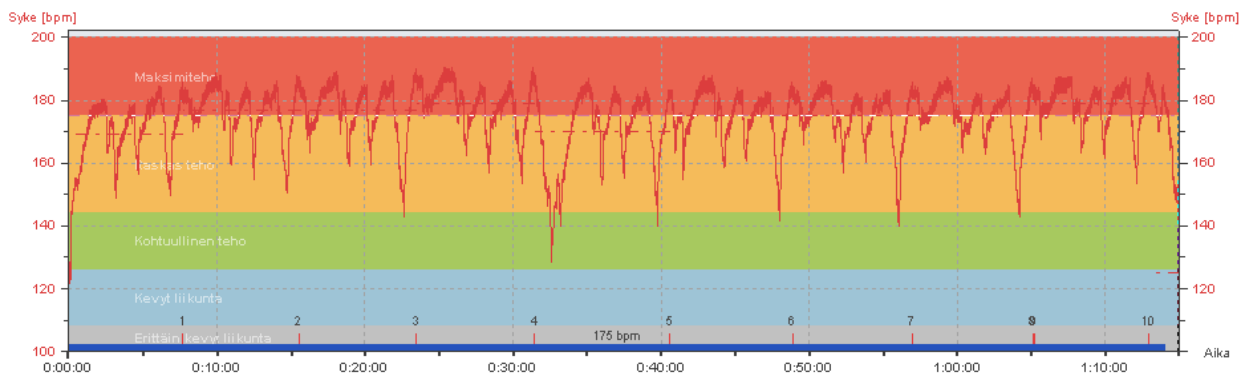
KUVA 63. Koehenkilön 301 sykekäyrä



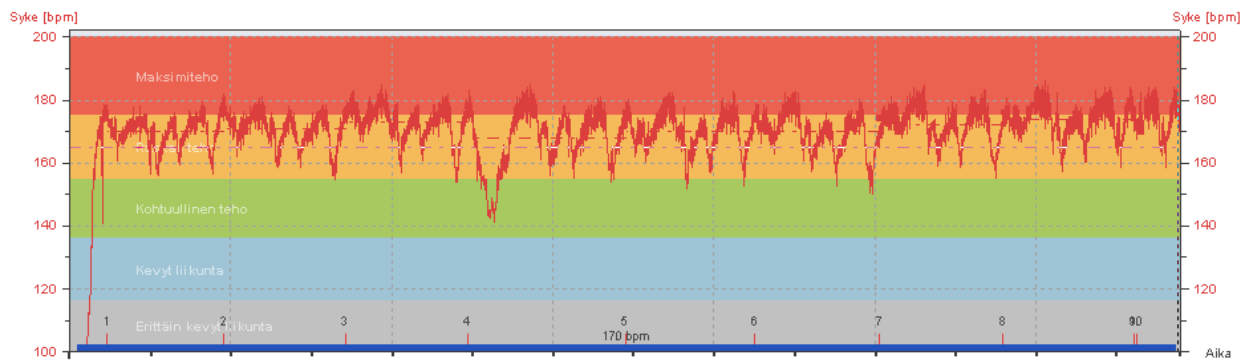
KUVA 64. Koehenkilön 302 sykekäyrä



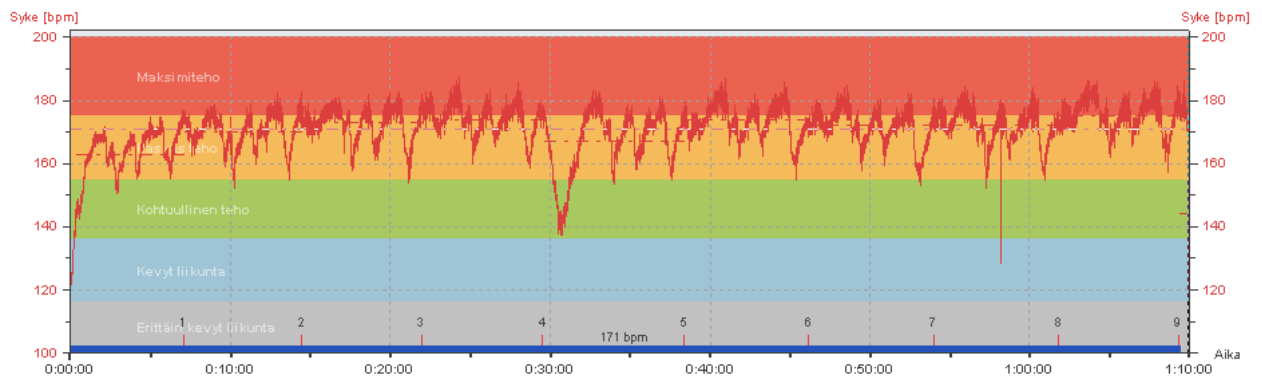
KUVA 65. Koehenkilön 401 sykekäyrä



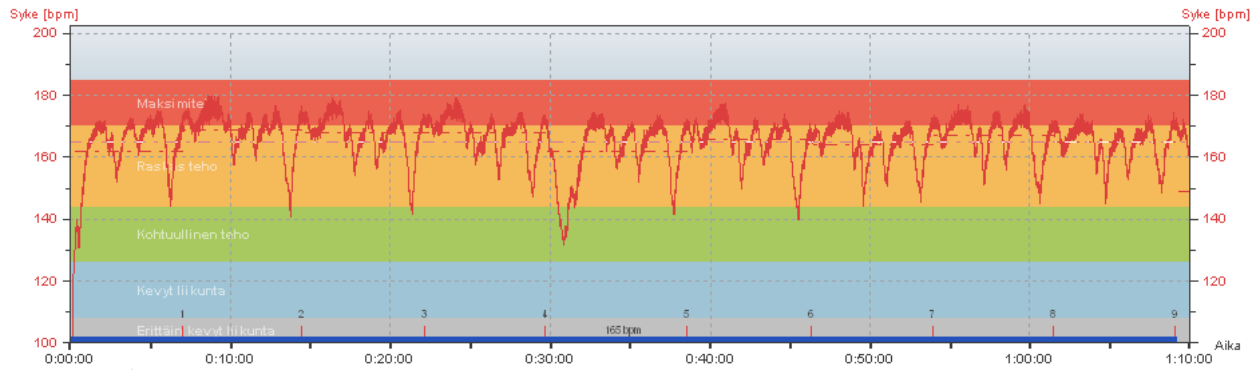
KUVA 66. Koehenkilön 402 sykekäyrä



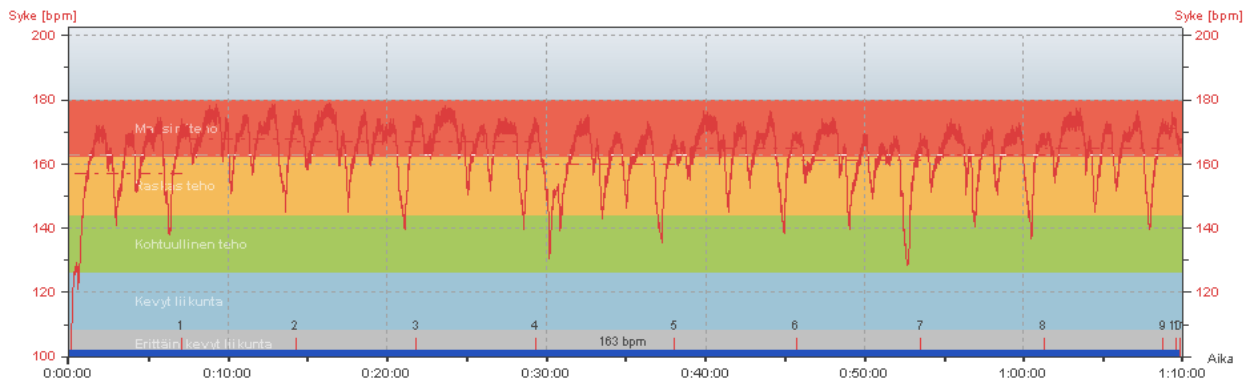
KUVA 67. Koehenkilön 501 sykekäyrä



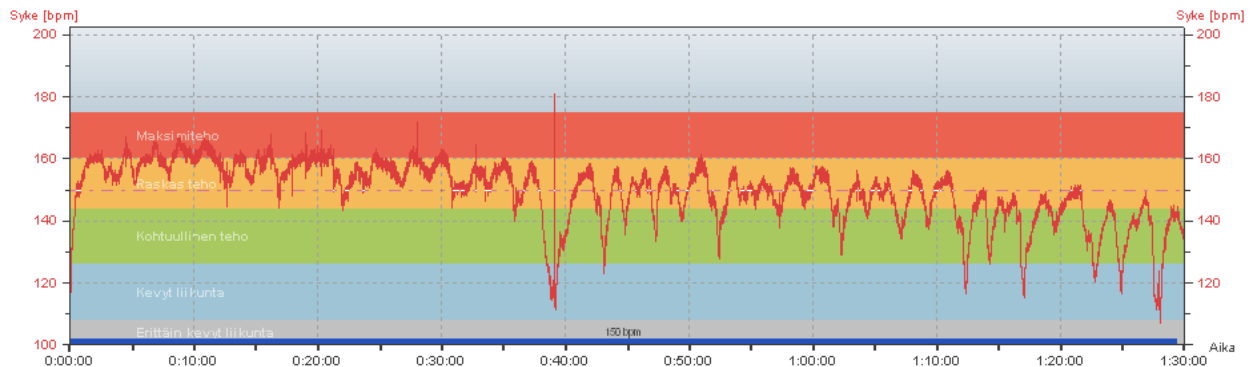
KUVA 68. Koehenkilön 502 sykekäyrä



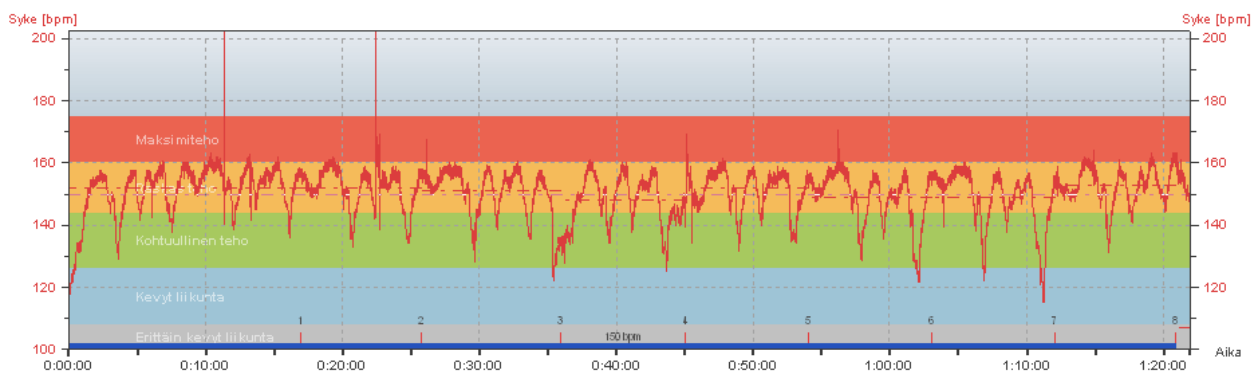
KUVA 69. Koehenkilön 601 sykekäyrä



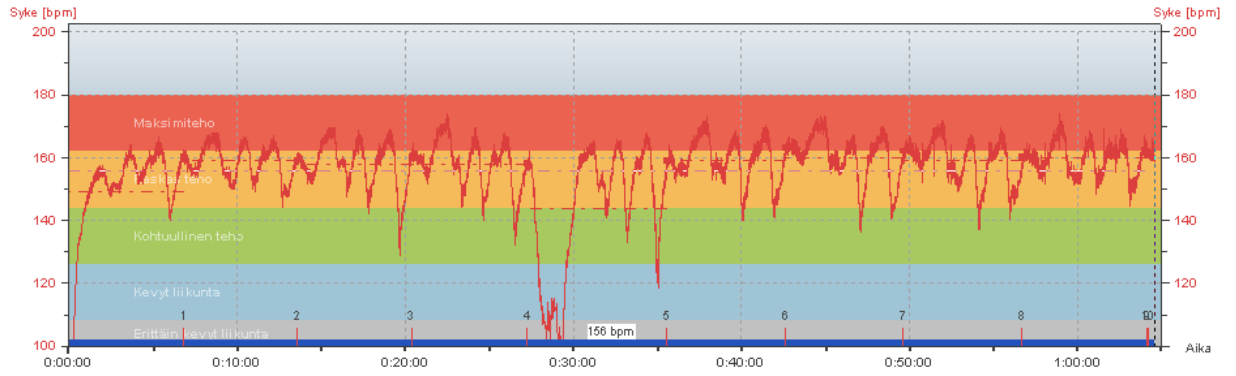
KUVA 70. Koehenkilön 602 sykekäyrä



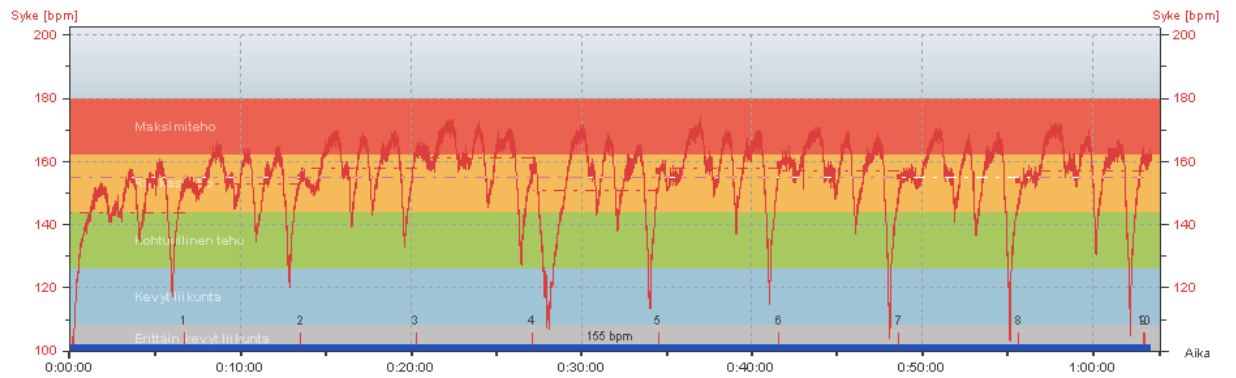
KUVA 71. Koehenkilön 701 sykekäyrä



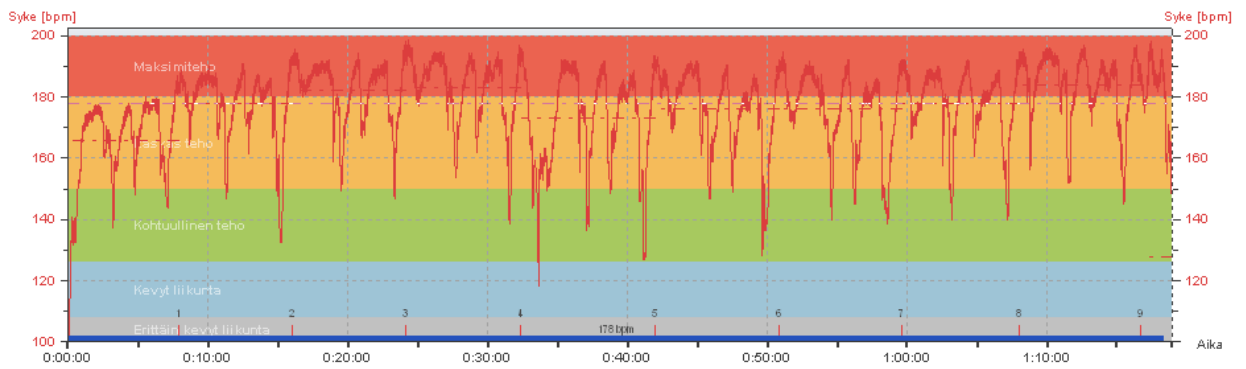
KUVA 72. Koehenkilön 702 sykekäyrä



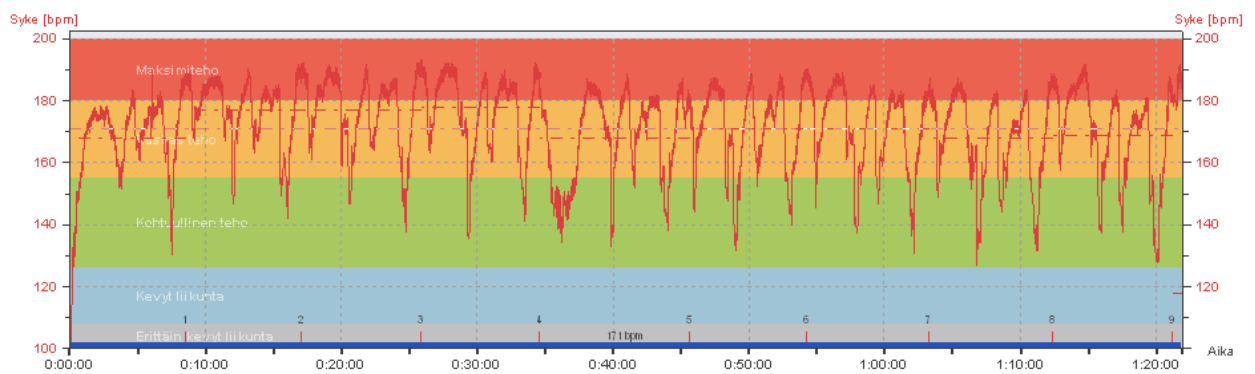
KUVA 73. Koehenkilön 801 sykekäyrä



KUVA 74. Koehenkilön 802 sykekäyrä



KUVA 75. Koehenkilön 901 sykekäyrä



KUVA 76. Koehenkilön 902 sykekäyrä



## 12 POHDINTA

Hiihtosuoritukseen vaikuttaa hyvin monenlaiset tekijät. Nämä tekijät voidaan karkeasti jakaa kolmeen eri osa-alueeseen; vallitsevaan säähän, välineisiin ja hiihtäjän suorituskyykyyn liittyviin ominaisuuksiin. Kaikkien näiden osa-alueiden optimoinnilla saadaan hiihtosuorituksesta aikaan paras mahdollinen.

Tässä työssä oli tarkoitus tutkia sitä, kuinka suksen pito- ja luisto-ominaisuuksien erilaiset muutokset maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana vaikuttavat hiihtäjän voimantuottoon (lihasväsymykseen) ja sitä myötä suorituskyykyyn. Samalla oli pyrkimys löytää uusia mittausmenetelmiä suksen pito- ja luisto-ominaisuuksien sekä voiteiden määrän analysointiin.

Tutkimuksen päätulokset olivat: 1) Hiihtoajassa ja maksiminopeudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja eri voiteluiden välillä 2) Perinteisessä hiihdossa jalan tuottamat voimat pienenevät enemmän paremmin pitävillä suksilla maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana, 3) sauvatyönnön horisontaaliset voimat pienenevät huomattavasti enemmän pitävillä suksilla hiihdettyä enemmän sekä vuorohiihdossa että tasatyönnössä, 4) lihasten RMS aktiivisuus pieneni paremmin pitävillä suksilla hiihdettyä enemmän tilastollisesti merkitsevästi polven ojentaja lihaksissa, kun taas huomattavasti enemmän pitävillä suksilla hiihdettyä enemmän RMS aktiivisuuden pieneneminen oli merkitsevää kaikissa mitatuissa lihaksissa, 5) vuorohiihdon potkuaika piteni huomattavasti enemmän pitävillä suksilla hiihdettyä enemmän, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä 6) tasatyönnössä sauvan työntösykliin suhteutettu työntöaika piteni huomattavasti enemmän pitävillä suksilla hiihdettyä enemmän tilastollisesti merkitsevästi, mutta paremmalla pidolla muutosta ei havaittu, 7) Uusien voidemäärän mittauslaitteiden (mittakello ja fluoresenssi-mittari) tulokset olivat tilastollisesti merkitsevästi samanlaisia kuin liikutuslaitteen kitkamittauksien tulokset ja 8) hiihtäjän keskimääräinen syke oli korkeampi hiihdettyä enemmän pitävillä suksilla.

## 12.1 Hiihtoaika

20.7 km:n kilpavauhtiseen hiihtosuoritukseen meni paremmalla pitovoitelulla aikaa keskimäärin  $70.6 \pm 8.9$  min. ja huonommalla pitovoitelulla  $69.9 \pm 6.7$  min. Paremmilla pitävällä suksella hiihdettyä keskimääräinen hiihto-aika oli siis noin 1 % huonompi, mikä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ero. Myös luistovoitelulla pyrittiin saamaan eroja hiihtosuoritukseen, mutta ennalta heikommaksi luistovoiteluksi suunniteltu voitelu ei loppujen lopuksi osoittautunutkaan tarpeeksi huonoksi, vaan suksen liikutuslaitteella tehdyt kitkamittaukset näyttivät molemmille luistovoiteluille hyvin samanlaisia tuloksia koko testin ajan. Tästä syystä voitelun erottelu parempaan ja huonompaan voiteluun jäi pelkästään pitovoitelun varaan. Pitovoitelusta voitiinkin eri testien perusteella havaita selkeä ero voiteluiden välillä. Se, oliko paremmilla pitävällä suksella tässä tutkimuksessa parempi, jäi epäselväksi. Paremmilla pitävällä suksella hiihrettiin keskimäärin hieman huonompi aika, mutta suksien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Loppuaikojen vertailussa täytyy kuitenkin ottaa huomioon muutamat seikat: Testin parhaalta hiihtäjältä jäi puuttumaan testin loppuaika paremmalla pidolla suoritettua testisuorituksesta (ongelmia ajanoton kanssa), yhdellä koehenkilöllä tapahtui paremmalla pidolla hiihdettyä selkeä kokemattomuudesta johtuva uupuminen n. 15 km:n kohdalla, jolloin suoritus ei ollut vertailukelpoinen toisen suorituksen kanssa. Kaikilla koehenkilöillä ei ollut lähiaikojen kokemusta pitkäkestoisesta kilpavauhtisesta suorituksesta, jolloin suoritusten lähtökohdat saattoivat olla hyvinkin erilaiset. Ensimmäinen testikerta saattoi olla hyväkin ”avaava” harjoitus toista testikertaa varten tai se saattoi olla liian rasittava, jolloin noin viikon palautusaika ei välttämättä riittänyt. Mikäli parhaan hiihtäjän sekä ensimmäisessä testissä selkeästi uupuneen hiihtäjän tulokset jätetään pois vertailusta, niin paremmalla pidolla hiihdetty keskimääräinen aika oli noin 1 % parempi. Tämäkin osoittaa sen, että suksien erilaisilla voiteluilla ei tässä tutkimuksessa havaittu loppuajan suhteen merkittäviä eroja.

## 12.2 Vuorohiihto

*Vuorohiihdossa* voimalevyillä mitattu *Jalan* hiihtäjän *painoon suhteutettu vertikaalinen huippuvoima* laski paremmalla voitelulla 4 % ja huonommalla voitelulla 3.3 %. Molemmat muutokset ovat tilastollisesti merkitseviä. Vertikaalisessa voimantuotossa tapahtuu merkittävä voimatason lasku molemmilla voiteluilla, mutta

voiteluiden välillä ei löydetty eroa voimatason laskussa. Vuorohiihdossa mitattu *jalan painoon suhteutettu horisontaalinen huippuvoimakin* laski jopa 21 % paremmalla voitelulla ja huonommallakin hieman (4 %) mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Voimatason lasku oli paremmalla voitelulla hiihdetäessä 71 % suurempi, mutta tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tästä voidaan päätellä, että hyvin pitävällä suksella hiihtäjä käyttää etenemiseen suhteessa enemmän jalkojaan kuin huonosti pitävällä (lipsuvalla) suksella hiihdetäessä, jolloin jalat väsyvät enemmän ja voimataso laskee enemmän. Myös Komi (1985) havaitsi tutkimuksissaan, että paremmalla voitelulla sekä jalan vertikaaliset että horisontaaliset voimat ovat suurempia kuin huonolla voitelulla. Komin tutkimuksessa ei kuitenkaan mitattu voitelun vaikutusta väsymiseen.

*Vuorohiihdossa* paremmalla voitelulla jalan painoon suhteutetun *vertikaalisen voiman lähtötaso* (ennen pitkäkestoista hiihtosuoritusta mitattu) oli hieman (2.5 %) matalampi ( $176.5 \pm 28.68$  vs  $180.9 \pm 26.97$  %), mutta *horisontaalinen* taas selkeästi (16 %) korkeampi ( $36.43 \pm 9.19$  vs  $30.63 \pm 3.68$  %,  $p=0.221$ ) kuin huonommalla suksella hiihdetäessä. Piirainen (2008) havaitsi tutkimuksissaan, että vuorohiihdon maksimaalinen pystyvoimantuotto sekä vaakavoimantuotto kasvavat hieman, kun suksen pito paranee. Hän havaitsi myös lyhytkestoisen hiihtosuorituksen nopeuden kasvavan pidon parantumisen myötä. Useat muutkin aikaisemmat tutkimukset (Vähäsöyrinki 1996; Leppävuori 1989; Komi 1985; Vähäsöyrinki ym. 2008) ovat osoittaneet, että suksien ja sauvojen vertikaalinen ja horisontaalinen voimantuotto kasvaa nopeuden lisääntyessä. Tässä tutkimuksessa ennen rasiutusta vuorohiihdon maksimi nopeus ei ollut paremmin voidelluilla suksilla hiihdetäessä suurempi kuin huonommin voidelluilla suksilla (4.5 m/s vs 4.5 m/s), vaikka jalkojen horisontaalinen voimantuotto oli ennen rasiutusta kuitenkin selkeästi korkeampi paremmin voidelluilla suksilla hiihdetäessä. Vertikaalisen voiman hieman alempi lähtötaso paremmalla voitelulla saattaa olla osa syy tähän eli se kompensoi horisontaalisen voiman korkeamman tason. Samoin sauvan vertikaalisen ja horisontaalisen voiman lähtötaso oli matalampi paremmin voidelluilla suksilla hiihdetäessä, joten osa syy löytyy myös sieltä. Hiihtonopeuden kasvun johtuu kokonaisvoimantuoton lisääntymisestä, jos muut tekijät pysyvät muuttumattomina. Tässä tutkimuksessa näitä muita tekijöitä ei välttämättä pystytty täysin kompensoimaan, joten ero hiihtonopeudessa saattoi osaltaan johtua myös ladun liukkauseroista, hiihtäjän päivän kunnosta/vireystilasta, 20 metrin maksimisuorituksen onnistumisesta (horjahdukset ym.) ja niin edelleen.

**Vuorohiihdossa** voimalevyillä mitattu **sauvan hiihtäjän painoon suhteutettu vertikaalinen huippuvoima** laski paremmalla voitelulla suksilla hiihdetäessä 30 % ja huonommalla voitelulla 26 %. Molemmissa tapauksissa lasku on tilastollisesti merkitsevä ja voimatason lasku samaa suuruusluokkaa. Käsien vertikaalisessa voimantuoton vähenemisessä ei nähty merkitsevää eroa erilaisten voiteluiden välillä. **Sauvan hiihtäjän painoon suhteutettu horisontaalinen huippuvoima** laski paremmin voidelluilla suksilla hiihdetäessä 24 % ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdetäessä 28 %. Molemmissa tapauksissa muutos oli melko suuri ja tilastollisesti merkitsevä. Myöskään käsien horisontaalisessa voimantuoton vähenemisessä ei nähty merkitsevää eroa erilaisten voiteluiden välillä. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että huonommin pitävällä ja luistavalla suksella hiihtäjä joutuu käyttämään enemmän käsiään, jolloin horisontaalinen voimataso laskee hieman enemmän. Tutkimus osoitti myös selvästi sen, kuinka käsien voimantuotto vähenee merkittävästi pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana. Syynä tähän on hermolihasjärjestelmän väsyminen maksimaalisessa pitkäkestoisessa suorituksessa. Myös Millet ym. (2003), Forsberg ym. (1979) ja Viitasalo ym. (1982) totesivat tutkimuksissaan, että pitkäkestoisen hiihtosuorituksen johdosta voimantuotto pienenee melko paljon (MVC -8.4 – -28%) . Kyseisissä tutkimuksissa ei kuitenkaan käytetty voimanmittausta hiihdon aikana, vaan voimia mitattiin ennen ja jälkeen hiihtosuoritusten isokineettisillä ja isometrisillä mittalaitteilla.

**Vuorohiihdossa** Vastus Medialis-lihaksen **RMS aktiivisuus** potkun aikana laski paremmin voidellulla suksella hiihdetäessä 48 % ja huonommin voidellulla suksella hiihdetäessä 44 %. Molemmissa tapauksissa muutos oli melko suuri ja tilastollisesti merkitsevä. Vastus Medialis- lihaksen RMS aktiivisuus oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi huonolla voitelulla hiihdetäessä sekä ennen että jälkeen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen testatuissa maksiminopeushiihdoissa. Huonommin voidelluilla suksilla hiihdetäessä myös muiden mitattujen lihasten RMS aktiivisuus laski pitkäkestoisen suorituksen aikana (Biceps femouris 60 %, Rectus femouris 33%, Gastrocnemius 45% ja Triceps brachii 18%) tilastollisesti merkitsevästi, mutta paremmin voidelluilla suksilla hiihdetäessä tilastollisesti merkitsevää laskua ei muissa lihaksissa tapahtunut. Yleisesti ottaen lihasten RMS aktiivisuuden lasku maksimaalisen pitkäkestoisen hiihtosuorituksen aikana oli huomattavaa, mikä oli odotettua ja aikaisempien tutkimusten mukaista (mm. Millet 2003, Viitasalo 1982 (-30 % ja -35 %

Vastus Lateralis-lihaksen RMS aktiivisuuden muutos). Tuloksista voidaan päätellä, että huonommalla suksella hiihdettyessä tapahtuu merkittävää lihasaktiivisuuden laskua kokonaisvaltaisesti sekä jaloissa että käsissä, kun taas paremmalla (pitävällä) suksella hiihdettyessä jalat tekevät töitä suhteessa enemmän, mikä näkyy lihasaktiivisuuden suurempana laskuna Vastus Medialis-lihaksessa, mikä on polven ojentajalihas eli toimii aktiivisesti hiihtopotkun aikana. Lihasten aktiivisuustason suurempi kokonaisvaltainen lasku huonommalla voitelulla hiihdettyessä ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa näkynyt hiihtoajassa tai maksiminopeudessa Tuloksista voidaan myös päätellä, että lihasten aktiivisuus ja siten myös voimantuotto on hieman suurempi paremmin voidelluilla suksilla, kuten aikaisemmatkin tutkimuksetkin osoittavat (mm. Komi 1985; Vähäsöyrinki ym. 2008 ; Vähäsöyrinki 1996). Tässä tutkimuksessa kuitenkin alkutilanteessa sekä hyvä että huono sukki olivat kohtuullisen hyvin pitäviä, joten alkutilanteen vertailu ei ole tilastollisesti vertailukelpoinen.

***Vuorohiihdossa*** huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyessä ***absoluuttinen potkuaika*** piteni 14 % pitkäkestoisen hiihtosuorituksen johdosta. Tulos on tilastollisesti merkitsevä. Paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyessä tapahtui myös pientä potkuajan pidentymistä, mutta ei tilastollisesti merkitsevää. Hyvän ja huonon voitelun välillä ei kuitenkaan nähty tilastollisesti merkitsevää eroa potkuajan muutoksessa. Rasituksen jälkeinen potkuaika oli kuitenkin paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyessä hieman pitempi, mikä mistä voisi päätellä, että paremmalla pidolla kuormitus pysyy pitempään jaloilla, eikä siirry enemmän käsille, niin kuin lipsuvalla suksella hiihdettyessä tapahtuu. Potkuajan piteneminen johtuu sekä lihasten väsymisestä että suksen pito-ominaisuuksien heikkenemisestä. Väsyneenä ei enää pystytä yhtä räjähtävään potkusuoritukseen, joten sitä kompensoidaan pitempiketoisella potkulla. Kitkan pieneneminen (pitovoiteen kuluminen) taas aiheuttaa sen, että joudutaan käyttämään enemmän vertikaalista voimaa, jotta sukki saadaan pysähtymään potkun ajaksi. Jalan vertikaalisen voiman mittaustuloksissa tämä näkyi selvästi. Useassa aikaisemmassakin tutkimuksessa (mm. Vähäsöyrinki 1996; Vähäsöyrinki ym 2008; Nilsson 2004 ) on todettu, että potkuaika pitenee hiihtovauhdin hidastuessa.

### 12.3 Tasatyöntö

**Tasatyönnössä sauvan hiihtäjän painoon suhteutettu vertikaalinen huippuvoima** laski paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 10 %, mikä oli hyvin lähellä tilastollista merkitsevyyttä oleva muutos. Huonommin voidelluilla suksilla tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittu, mutta huippuvoima laski tässäkin tapauksessa selvästi. Voiteluiden välillä ei nähty tilastollisesti merkitsevää eroa. Pitkäkestoisen suorituksen aikana tapahtuu väsymisen myötä voimatason lasku, jolloin työntö hidastuu ja työntöaika kasvaa, niin kuin jatkossa työntöajan analysoinnissa todetaan. Holmberg ym. (2005) totesivat tutkimuksissaan, että absoluuttinen huippuvoima korreloi negatiivisesti työntöajan kanssa. Tutkimuksessa saadut sauvatönnön suhteelliset huippuvoimat olivat linjassa Holmberg:in ym. (2005) tuloksiin (~32 BW).

**Tasatyönnössä sauvan hiihtäjän painoon suhteutettu horisontaalinen huippuvoima** laski huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 7 %, mikä oli tilastollisesti merkitsevä muutos. Paremmalla suksella hiihdettyäessä horisontaalinen huippuvoima sen sijaan hieman nousi, mikä oli yllättävää. Tämä kuitenkin osoittaa sen, että huonommalla suksella käsien käyttö ja siten myös väsyminen hiihdon aikana on voimakkaampaa, jolloin myös työnnön tehokkuus laskee enemmän.

**Tasatyönnön** aikana mitattu **Triceps Brachii-lihaksen RMS aktiivisuus** sauvatönnön aikana laski paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 4.6 % ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 17 %. Molemmissa tapauksissa muutos oli tilastollisesti merkitsevä. Tilastollisesti merkitsevää muutosta voiteluiden välillä ei kuitenkaan nähty. Tuloksista voidaan päätellä, että huonommin voidelluilla (lipsuvilla) suksilla hiihdettyäessä hiihtäjä pyrkii kompensoimaan suksen lipsumista siirtämällä kuormitusta enemmän ylävartalolle ja käsiin, jolloin kädet väsyvät enemmän pitkäkestoisessa suorituksessa ja lihasaktiivisuus laskee enemmän. Myös Forsberg ym. (1979), Viitasalo ym. (1982) ja Cignetti (2010) havaitsivat tutkimuksissaan, että pitkäkestoisen rasituksen aikana voimantuotto tippuu ja EMG aktiivisuus laskee.

**Tasatyönnössä** voimalevyllä mitattu **sauvan absoluuttinen työntöaika** piteni paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 5 %, mikä on tilastollisesti merkitsevä muutos. Huonommin voidelluilla suksilla työntöaika piteni myös selkeästi, mutta muutos ei ollut

tilastollisesti aivan merkitsevä ( $p=0.59$ ). Sauvan työntöajan piteneminen johtuu lihasten väsymisestä ja sitä myötä voimantuoton heikkenemisestä, jolloin hiihtäjä ei pysty enää yhtä nopeaan ja räjähtävään työntösuoritukseen, jolloin työnnön sykliäkin pitenee, mikäli palautusaika pysyy samana tai kasvaa (kasvoi tässä tutkimuksessa 8 %) Tällöin seurauksena on hiihtonopeuden lasku, joka tässä tutkimuksessa laski keskimäärin 12 %. Hiihtonopeuden on aikaisemmissakin tutkimuksissa (mm. Holmberg ym. 2005) todettu korreloivan negatiivisesti suhteellisen työntöajan kanssa. Eri voiteluiden välillä ei havaittu suurta eroa absoluuttisen työntöajan muutoksessa, vaikka oletuksena oli, että huonommin voidelluilla suksilla hiihdettäessä voimantuotto painottuu hiihdon aikana enemmän käsille, jolloin kädet väsyvät enemmän ja työntöaika tällöin pitenee enemmän. Huonommalla voitelulla työntöaika olikin lopussa hieman pitempi, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi.

Tasatyönnön aikana mitattu *sauvan suhteellinen* (työntösykliin suhteutettu) *työntöaika* kasvoi huonommin voidelluilla suksilla hiihdettäessä 8 %, mikä on tilastollisesti merkitsevä muutos. Paremmiin voidelluilla suksilla suhteellisessa työntöajassa ei havaittu muutoksia. Tästä voidaan päätellä, että lipsuvalla suksella hiihtäjä siirtää voimantuottoa enemmän käsille, jolloin kädet väsyvät suhteessa enemmän. Väsymyksen aiheuttamaa voimatason laskua taas pyritään kompensoimaan pitempiketoisella työnnöllä, jolloin työnnön sykliäkin pitenee, mikäli palautusaika pysyy samana. Tuloksista voidaan kuitenkin huomata, että huonommin voidellulla suksella hiihdettäessä ovat hiihtäjät kompensoineet työntöajan pitenemisen palautusajan lyhentämällä (*suhteellinen palautusaika* on lyhentynyt 6 %, mikä on tilastollisesti merkitsevä muutos), jolloin frekvenssi on säilynyt. Paremmiin voidelluilla suksilla hiihdettäessä ei palautus ajoissakaan havaittu mitään muutosta eli työntösyklin rakenne ja frekvenssi pysyi hiihdon aikana samanlaisena.

## 12.4 Maksimivoima ja voimantuottonopeus

### 12.4.1 MVC (maksimaalinen tahdonalainen voima)

#### *Jalka*

Isometrisessä voimapenkissä suoritettussa *polvenojentajien tahdonalaisen maksimivoiman* mittauksessa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 8 % voimatason lasku ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 9 % lasku ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen mitattujen tulosten välillä. Paremmilla suksilla hiihdetyn testin tulos on tilastollisesti lähes merkitsevä ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdetyn testin tulos on tilastollisesti merkitsevä. Maksimaalinen pitkäkestoinen hiihtosuoritus vähentää siis selkeästi polven ojentajien maksimaalista tahdonalaista voimantuottoa, mikä on todettu monessa aikaisemmassakin tutkimuksessa (Nicol ym. 1991; Sahlin ym. 1995; Viitaslo ym. 1982; Lepers ym. 2000; Millet ym. 2003). Tuloksissa erilaisilla suksilla hiihdettyäessä ei kuitenkaan nähty suurta eroa, joten tämän perusteella ei voida suuria johtopäätöksiä erilaisten voiteluiden vaikutuksesta maksimaalisen tahdonalaisen voimantuoton muuttumiseen tehdä.

#### *Käsi*

Voimapenkissä suoritettussa *kyynärvarren ojentajien maksimivoimamittauksessa* havaittiin paremmin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 6 % ja huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä 6 % voimatason pieneneminen ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen mitattujen tulosten välillä. Kumpikaan tuloksista ei ole tilastollisesti merkitsevä, vaikkakin selkeä lasku voimatasoissa oli. Tilastollisesti merkitsevä käden ojentajien voimatason lasku havaittiin vertailtaessa hiihdon jälkeistä tilannetta eri voiteluiden välillä. Voimataso oli tällöin paremmalla voitelulla hiihdettyäessä 7 % korkeampi. Tämä jälleen osoittaa, että huonommalla voitelulla hiihtäjä joutuu käyttämään enemmän käsiään hiihdon aikana. Maksimaalinen pitkäkestoinen hiihtosuoritus vähentää siis selkeästi myös kyynärvarren ojentajien maksimaalista tahdonalaista voimantuottoa ja huonommalla voitelulla myös jonkin verran enemmän. Myös Millet ym. (2003), Forsberg ym. (1979) ja Viitasalo ym. (1982) totesivat tutkimuksissaan, että pitkäkestoisen hiihtosuorituksen johdosta käsien voimantuotto pienenee melko paljon



(MVC -8.4 – -28). Aikaisemmat tutkimukset eivät kuitenkaan ole vertailleet erilaisten voiteluiden vaikutusta voimantuoton laskuun.

Vaikka isometriset voimatestit ovat yleisesti käytössä urheilutesteissä, niin niitä ei välttämättä suositella, koska isometrisessä voimantestauksessa on rajoittavana tekijänä se, että isometrisillä testeillä on suhteellisen huono vertailtavuus dynaamiseen suorituskyykyyn. Vaikka dynaaminen suorituskyyky (esim. 1 RM) kasvaa, niin isometrinen voima ei välttämättä muutu. Dynaaminen lihastesti olisi huomattavasti parempi, koska se herättää myös hermostollisen vasteen. Isometrisessä testissä ei pystytä myöskään tutkimaan elastisen voiman ja energian vaikutusta eli tulos riippuu lähinnä lihas-jänne kompleksin jäykkyydestä.

#### **12.4.2 RFD (voimantuottonopeus)**

##### ***Jalka***

Voimapenkissä suoritettussa *polven ojentajien RFD*-mittauksessa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla hiihdetäessä 14 % sekä huonommin voidelluilla suksilla hiihdetäessä 13 % lasku voimantuottonopeudessa pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Molemmat muutokset olivat tilastollisesti merkitseviä. Voimantuottonopeuden muuttumisessa eri voiteluiden välillä ei kuitenkaan nähty eroa. Myös mm. Santala (2010) havaitsi tutkimuksissaan, että lihasten voimantuottonopeus laskee väsytyksessä (Eksentrinen polkupyöräergometri).

##### ***Käsi***

Voimapenkissä suoritettussa *kyynärvarren ojentajien RFD*-mittauksessa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla hiihdetäessä 23 % sekä huonommin voidelluilla suksilla hiihdetäessä 13 % lasku voimantuottonopeudessa pitkäkestoisen hiihtosuorituksen vaikutuksesta. Molemmat muutokset olivat tilastollisesti merkitseviä. Paremmalla voitelulla hiihdetäessä voimantuottonopeuden lasku oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin huonommalla voitelulla ( $126.3 \pm 86.0$  Nm/s  $\rightarrow$   $57.2 \pm 68.9$  Nm/s,  $p < 0.01$ ), mikä oli hieman yllättävä tulos, koska oletuksena oli, että huonommalla pitovoitelulla voimantuotto siirtyy enemmän käsille ja kädet väsyvät enemmän, jolloin myös ojentajien voimantuottonopeus laskee enemmän.

## 12.5 Liikutuslaite

### *Luisto*

Suksen liikutuslaitteella tehdyissä luistomittauksissa ei havaittu merkittäviä muutoksia luistossa hiihtoa ennen ja hiihdon jälkeen tehtyjen mittaustulosten välillä. Liikutuslaitteella saatiin kuitenkin pieni kitkaero eri voiteluiden välille. Etukäteen ajateltuna ns. paremmin voidelluilla suksilla lustokitkakerroin oli kuitenkin suurempi (0.066 vs. 0.058), mikä asettaa sekä mittalaitteen toimivuuden että voitelun hieman kyseenalaiseksi. Kitkan mittaaminen on kuitenkin niin herkkä erilaisille ympäristötekijöille, että luotettavan tuloksen saamiseksi tulisi mittauksia tehdä huomattavasti enemmän ja liikutuslaitteen latu-ura tulisi pystyä stabiloimaan samanlaiseksi kaikissa testeissä. Luistokitkaan vaikuttaa tietenkin paljon myös pitovoitelu, joka oli paremmin voidelluilla suksilla huomattavasti paksumpi, jolloin suksen pitovoide saattoi heikentää luistoa. Tarkasteltaessa eri hiihtäjien suksien keskimääräisiä luistokitkakertoimia, voidaan hyvin todeta, että vaikka suksissa oli samanlainen luistovoitelu, niin kitkaerot olivat huomattavia (0.03 – 0.09). Syitä tähän on monia; Suksen rakenne, pohjamateriaali, pohjan kuviointi, naarmut, latu-uran lumen/jään rakenne yms.. Varsinaista tarkastelua hyvän ja huonon voitelun välillä ei tästä syystä kannatakaan näiden tulosten perusteella tehdä.

### *Pito*

Suksen liikutuslaitteella tehdyissä pito-ominaisuuksien mittauksissa havaittiin paremmin voidelluilla suksilla hiihdettäessä 10 % ( $0.153 \pm 0.041 \rightarrow 0.138 \pm 0.045$ ,  $p < 0.01$ ) kitkan pieneneminen hiihtoa ennen ja hiihdon jälkeen tehtyjen mittaustulosten välillä. Muutos on tilastollisesti merkitsevä. Huonommin voideltujen suksien testissä havaittiin 12% ( $0.130 \pm 0.042 \rightarrow 0.114 \pm 0.042$ ,  $p = 0.062$ ) kitkan pieneneminen, mutta muutos ei ole aivan tilastollisesti merkitsevä. Paremmin voideltujen suksien lepokitka oli hiihdon jälkeinkin korkeampi kuin huonommin voideltujen suksien kitka ennen hiihtoa. Tarkasteltaessa liikutuslaitteella mitattuja keskimääräisiä kitkakertoimia pitomittauksissa (kuva 45), voidaan huomata, että muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta pitovoitelu onnistui melko hyvin ja eri koehenkilöiden sukset saatiin pito-ominaisuuksiltaan melko tasalaatuisiksi (liikutuslaitteen tulosten perusteella). Täytyy kuitenkin todeta, että kitkanmittaus pitovoitelun osaltakin on erittäin herkkä erilaisille ympäristötekijöille sekä suksen erilaisille ominaisuuksille, joten luotettavien tulosten

saamiseksi mittauksia tulisi tehdä huomattavasti enemmän ja ympäristön olosuhteen (esim. latu) tulisi pystyä stabiloimaan samanlaiseksi kaikissa testeissä.

## 12.6 Voidemäärän mittaus

Tutkimuksen yksi tarkoitus oli löytää uusia mittausmenetelmiä voidemittauksiin. Sekä Oulun yliopistolla rakennetulla mittakelloon perustuvalla voiteen paksuuden mittarilla että Milan kehittämällä UV-valoon perustuvalla fluoresenssimittarilla saatiin hyvin samansuuntaisia voidemäärän tuloksia pitoalueen mittauksissa. Korrelaatioanalyysissä mittaustuloksilla oli tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio. Molemmilla mittareilla saatiin selkeä ero pitovoiteen määrissä ennen ja jälkeen hiihtosuorituksen. Luistovoiteen paksuutta ei mittakellolla mitattu, koska luistovoiteen määrä voidelluissa suksissa liian pieni tälle mittarille ja Milan mittarillakaan ei voidemäärissä pystytty eroja havaitsemaan. Tulosten pohjalta voidaan todeta, että molemmat mittarit todennäköisesti soveltuvat voidemäärien optimointiin ja mittaamiseen pitovoiteiden osalta, kunhan mittareilla ensin tehdään paljon alustavia mittauksia eri voiteilla ja löydetään näin optimaalinen voidevoidemäärä erilaisille keliolosuhteille, suksille ja hiihtomatkoille. Milan mittari tosin vaatii voiteeseen lisäaineen, joka hankaloittaa testijärjestelyjä melko paljon. Yksi mahdollisuus olisi sekoittaa aine voiteisiin jo voidetehtaalla.

Suksen liikituslaitteen ja fluoresenssi-mittarin tulosten välillä oli myös tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio eli pitovoide määrän lisäys näytti lisäävän myös liikituslaitteen perusteella suksen lepokitkaa eli pitoa. Tässäkin suhteessa tutkimuksia kannattaisi jatkaa ja tehdä huomattava määrä testejä lisää erilaisilla voiteilla, jolloin olisi mahdollista löytää tarkempia yhtäläisyyksiä pitovoiteen, pitovoiteen määrän ja lepokitkan eli pidon välille.

## 12.7 Fysiologiset mittaukset

Laktaattia mitattiin ennen hiihtoa, noin puolessa matkassa ja heti hiihdon jälkeen. Laktaatin lähtötaso oli molemmilla voiteluilla melko samaa tasoa (1.7 vs 1.9). Puolessa välissä hiihtoa laktaatti oli noussut huonommalla voitelulla hieman enemmän (2.8 vs

3.2) , mutta hiihdon päätyttyä tehdyssä mittauksessa taas huonommalla voitelulla saatu tulos oli laskenut tasolle 2.5, kun paremmalla voitelulla saatu tulos oli jatkanut nousua ja oli lopussa tasolla 3.5 mmol/l. Laktaatin mittausta pakkasäässä ei mielestäni onnistunut ennako-odotusten mukaisesti. Mittari ei todennäköisesti toimi aivan luotettavasti pakkasessa ja antaa hyvin ”kirjavia” tuloksia. Teimme muutamia laktaattimittauksia myös testien jälkeen sisätiloissa ja havaitsimme huomattavasti korkeampia veren laktaattipitoisuuksia. Näistä syistä laktaattimittauksista saadut tulokset täytyy jättää ilman tarkempaa analyysiä.

Sykettä tallennettiin koko hiihdon ajan ja Polar Pro trainer 5-ohjelmistolla tehdyn analyysin mukaan keskimääräinen syke oli huomattavasti huonommin voidelluilla suksilla hiihdettyäessä tilastollisesti merkitsevästi korkeampi (1.8 %). Ainegren ym. (2012) havaitsivat tilastollisesti merkitsevän 7 % eron keskimääräisessä syketasossa hiihdettyäessä rullasuksilla, joihin oli rakennettu mekaaninen kitkansäätö. Syketaso oli korkeampi hiihdettyäessä lumen kitkaa vastaavilla säädöillä verrattuna kokonaan ilman lisäkitkaa suoritettuun hiihtoon. Hiihtosuoritus tehtiin submaksimaalisella tasolla 10 minuutin hiihtosuorituksina.

Sykekäyrien tarkastelussa havaittiin, että syketaso nousee alussa muutaman minuutin aikana maksimitehotasolle, pysyen siellä koko hiihtosuorituksen ajan. Tästä voidaan päätellä, että 20.7 km:n maksimaalinen hiihtosuoritus on fysiologisesti erittäin kuormittava. Yhtä testiä lukuun ottamatta syketaso pysyy kaikilla tasaisesti lähellä maksimaalista sykettä, tippuen palauttavissa laskuissa useita kymmeniä lyöntejä, riippuen koehenkilöstä. Tarkempaa analyysiä sykkeen palautumiseen ei lähdetty tekemään. Yhdellä koehenkilöllä tapahtui selkeä syketason lasku noin 40-50 minuutin kohdalla, mikä viittaa jonkinlaiseen uupumiseen, koska hiihtoaikakin oli huomattavasti toista suoritusta pitempi. Kyseisen henkilön voitelussa oli pieniä ongelmia, koska ei ollut tarkkaa tietoa pitovoiteen voitelualueesta. Tästä syystä pitovoitelusta tuli ehkä ”liian hyvä” ja se vaikutti negatiivisesti luistoon ja uuvutti koehenkilön matkan aikana täysin. Tosin syynä voi olla myös koehenkilön kokemattomuus vauhdinajaosta kilpavauhtisessa pitkäkestoisessa hiihdossa.

## 12.8 Johtopäätös

Tutkimustulosten ja aikaisempien tutkimusten perusteella voidaan olettaa, että hiihdettyä huonosti pitävillä suksilla voimantuotto siirtyy enemmän käsille, jolloin pitkäkestoisen suorituksen aikana kädet väsyvät suhteessa enemmän. Huonosti pitovoiteltu suksi ei kuitenkaan näytä tämän tutkimuksen perusteella vaikuttavan hiihdon loppuaikaan eikä hiihtäjän maksiminopeuteen, ainakaan kohtuullisen helpossa ja loivapiirteisessä maastossa. Pitovoiteiden määrää ja kulumista on kohtuullisen helppo analysoida, mutta luistovoiteen tapauksessa analysointi onkin jo huomattavasti vaativampaa. Tutkimuksessa käytetyt uudet voidemäärän mittaamenetelmät (fluoresenssi-mittari ja mittakello) osoittautuivat kehityskelpoisiksi mittaamenetelmiksi varsinkin pitovoiteen mittaamiseen. Laitteiden kehittämistä ja testaamista tulisi jatkaa ja niillä tulisi tehdä paljon testejä erilaisilla voiteilla, jotta nähtäisiin, voiko niitä mahdollisesti tulevaisuudessa käyttää voidemäärien optimointiin jopa kenttäolosuhteissa.

## 13 LÄHTEET

Ahonen, J., Lahtinen, T., Sandström, M., Pogliani, G. & Wirhed, R. 1998. Kehon rakenne, toiminta ja lihashuolto. VK-kustannus. jyväsylä

Ainegren, M., Carlsson, P., Laaksonen, M.S. & Tinnsten, M. 2012. The Influence of grip on oxygen consumption and leg forces when using classical style roller skis. Scand J Med Sci Sports. doi: 10.1111/sms.12006

American College of Sports medicine. 2006. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 7<sup>th</sup> edition.

Babel, S. 2003. Studies on Intra-individual Variability of Selected Cross-Country Skiing Techniques. European Journal of Sport Science, vol. 3, issue 3.

Bigland-Ritchie, B. (1981) EMG/force relations and fatigue of human voluntary contractions. Exr.Sport Sci. Rev., 9, 75-117

Bowden FB. & Hughes TP. 1939. The mechanism of sliding on ice and snow. Laboratory on physical chemistry. Cambridge. Proceedings of the Royal Society of London. A172, 280-298

Bäurle, L., Szabo, D., Fauve, M., Rhyner, H. & Spencer, N.D. 2006. Sliding Friction of polyethylene on ice: Tribometer Measurements. Tribology. Letters. 24 (1), 77-85

Cagnon, M. 1981. A kinematic analysis of alternate stride in cross-country skiing. Morecki, A., Fidelius, K., Kedzior, K. & Wit, A. (toim). Biomechanic VII-B: 483-487. Baltimore. University Park Press.

Cignetti, F., Schena, F., Mottet, D. & Rouard, A. 2010. A limit-cycle model of leg movements in cross-country skiing adjustments with fatigue. Human movement science. Volume 29.Issue 4, 590-604.

Christie A., Inglis J.G., Kamen G. & Gabriel D.A. 2009. relationships between surface EMG variables and motor unit firing rates. *Eur J Appl Physiol.* 107:177-185

Colbeck SC. 1994. A review of the friction of snow skies. *J Sports Sci.* 12:285-295

Donskoj, D.D., Gross, Ch. 1971. Die technik des skilanglaufs. Verlag Fiskultura I sport, Moskva.

Edwards, R.G. & Lippold, D.C.J. 1956. The relation between force and integrated electrical activity in fatigued muscle. *J.Physiol.*, 132, 677-681.

Ekström, H. 1981. Force Interplay in cross-country skiing. *Scandinavian Journal of sports and sciences.* 3: 69-76

Enoka, R. 1994. Neuromechanical basis of kinesiology. *Human Kinetics.*

Fauve, M., Rhyner, H., Lüthi, A., Schneebeli, M. & Lehning, M. 2008. Putting snow knowledge into the development of winter sport equipment. *Sports Technol.* 2008, No 2-3, 145-151

Formenti, F., Ardigo, L. & Minetti, A. 2005. Human Locomotion of snow: determinants of economy and speed of skiing across the ages. *Proceedings of the royal society B* 272, 1561-1569.

Forsberg, A., Tesch, P. & Karlsson, J. 1979. Effect of prolonged exercise on muscle strength performance. In: E. Asmussen & Jorgensen K. (Eds.), *Biomechanics VIA*, pp. 62-67. Baltimore: University Park Press.

Guyton, A., C. & Hall, J., E. 1996. *Textbook of medical physiology*, W.B. Saunders Company. USA.

Haataja, S., Kalli, S. & Leskinen, T. 1984. Tuki- ja liikuntaelimistön biomekaaniset mittausmenetelmät ja niiden anturiratkaisut. VTT. Tiedote 359. Espoo.

Hermens, H., Freriks, B., Merletti, R., Stageman, D., Blok, L., Rau, G., Disselhorst-Klug, C. & Hägg, G. 1999. European Recommendations for surface Electromyography. Netherlands

Hjorth-Hansen, E., Holand, I., Loset, I. & Norem, H. 2000. Snow Engineering. Recent Advances & Developments. A.A.Balkema. Rotterdam.

Holmberg H-C. Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E. & Muller, E. 2005. Biomechanical Analysis of Double Poling in Elite Cross-Country Skiers. Med Sci Sports Exerc. 38 (10): 1853-1860.

Holmberg, J.L. 2012. Musculoskeletal Biomechanics in Cross-country Skiing. Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations. No. 1437.

Huovinen, M. 2006. Optisen mittalaitteen kehitys suksen luistotutkimuksen apuvälineeksi. Diplomityö. Oulun Yliopisto.

Häkkinen, K. & Myllylä, E. 1990. Acute effects of muscle fatigue and recovery on force production and relaxation in endurance, power and strength athletes. J Sports Med Phys Fitn. 30: 5-12.

Jantunen, T., 2008. Suksille. Hiihtäjän kirja. Helsinki. Kirjapaja.

Kantola, H. & Rusko, H. 1985. Sykettä Ladulle. VK-kustannus. Helsinki

Kataja, H. 1996. Maastohiihto. Tekniikat ja välineet. Kajaani, Kainuun Sanomain kirjapaino.

Kauranen, K., Nurkka, Niina. 2010. Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille. Liikuntatieteellinen seura. julkaisu nro 166. Helsinki.



Keinonen, J., Palosuo, E. & Suominen, H., 1978. Measurement of friction between snow and sliding materials of ski. Appl. Phys.Ser.123

Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 2007. Tribologia – Kitka, kuluminen ja voitelu. Otatieto. Helsinki

Kolehmainen, V., 2006. Perinteisen hiihtotavan simulointi suksen liikutuslaitteessa, sekä luistoon ja pito-ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät. Pro gradu tutkielma. Jyväskylän yliopisto. 41 s.

Komi, P.V. 1985. Ground reaction Forces in Cross-Country Skiing. International Series on Biomechanics, Volume 5B, Biomechanics IX-B, 185-190.

Komi, P.V. 1987. Force Measurements During Cross-Country Skiing. International Journal of Sport Biomechanics, 3, 370-381

Konrad, P. 2005. The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. Noraxon INC. USA

Kuroiwa, D. 1977. The kinetic Friction on Snow and Ice. Journal of Glaciology, vol. 19, pp. 141-152.

Lehtovaara, A. 1989. Kinetic Friction between Ski and Snow. Acta polytechnica Scandinavica, Mech. Ser. No 98

Leppävuori, A.P. 1989. Lihasaktiivisuus ja voimankäyttö maastohiihdossa. Pro Gradu. Jyväskylän yliopisto.

Liimatainen E. 1997. Venymis-lyhenemissyklustyyppinen lihasväsymys: EMG:n ja EMG/voima suhteen muuttuminen. Pro Gradu. Jyväskylän Yliopisto.

Lind, D. & Sanders, S.P. 2010. The Physics of skiing: Skiing at the Triple Point. Springer.

McArdle W., Katch F. & Katch V. 2000. Exercise Physiology. Third Edition. Lippincott Williams & Wilkins, ISBN 13: 978-0-7817-4991-6, ISBN 10: 0-7817-4991-3.

McArdle W., Katch F. & Katch V. 2007. Exercise Physiology. Sixth Edition. Lippincott Williams & Wilkins, ISBN 13: 978-0-7817-4990-9, ISBN 10: 0-7817-4990-5.

Merletti, R. & Parker, P.A. 2004. Electromyography: Physiology, Engineering, and Non-Invasive Applications. IEEE Press Series on Biomedical Engineering

Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. 2007. Urheiluvallmennus VK - Kustannus Oy, 2. painos (2007). ISBN 978-951-9147-44-4. 503 s.

Miller P., Hytjan, A., Weber, M., Wheeler, M., Zable, J., Walshe, A. & Ashley, A. 2006. Development of a Prototype that Measures the Coefficient of Friction between Skis and Snow. Engineering of Sport 6, Volume 1, PP 305-310.

Millet, G.Y., Hoffman, M.D., Candau, R.B., Buckwalter, J.B. & Clifford, P.S., 1998. Effect of rolling resistance on poling forces and metabolic demands of roller skiing. Medicine & Science in Sports & Exercise. 1998 May;30(5):755-62

Millet, G.Y.; Martin, V.; Maffiuletti, N.A. & Martin, A. 2003. Neuromuscular fatigue after a ski skating marathon. Can. J. Appl. Physiol. 28(3): 434-445. © 2003 Canadian Society for Exercise Physiology.

Myllylä, M., Virtanen, A., Hyttinen, J. 1994. Luistoa Ladulle. Kirjapaino raamattutalo. Pieksämäki.

Nigg, B.M. & Herzog, W. 1999. Biomechanics of the Musculo-skeletal Systems. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley & Sons, Inc. West Sussex, England.

Nilsson, J., Tveit, P. & Eikrehagen, O. 2004. Effects of speed on temporal patterns in classical style and freestyle cross-country skiing. Sports Biomechanics, 3 (2004), pp. 85–107

Nummela A., Keränen T., Tummajärvi M., Soanjärvi M., Mikkelsen L., Kähäri P., Ekblom T., Linja T., Väisänen K., Haverinen M., Vääntinen S., Salonen M., Ojanen T. & Russo E. 2007. kolmen eri kestävyysurheilijan kestävyysuorituskyky ja sen kehittyminen, KIHU, Jyväskylä, Finland

Paavolainen L. 1999. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of running performance in endurance athletes with special reference to explosive-strength training. Doctoral thesis, University of Jyväskylä, Finland

Palosuo, E., Hiltunen, T., Jokinen J. & Teinonen, M. 1977. Lumen ja kitkan vaikutus suksen luistoon. The effect of friction between snow and skis. Report series in geophysics. Helsingin yliopisto

Piirainen, J. 2008. Vuorohiihdon voimantuoton muutokset suksen pito-ominaisuuksia vaihtelemalla. Pro Gradu. Jyväskylän yliopisto.

Puukilainen, E. 2002. Suksen pohjamateriaalin ja suksivoiteiden karakterisointi. Kemian syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Rantalainen, K., 1995. Suksien ja lumilautojen voiteluohje (Start Ski Wax). Salpausselän kirjapaino.

Roni, R., 1929. Murtomaahiihto. Helsinki. Otava

Sahlin, K. & Seger, JY. 1995. Effects of prolonged exercise on the contractile properties of human quadriceps muscle. Department of Sport and Health Science, Stockholm University

Santala, J. 2011. Hermo-lihasjärjestelmän väsyminen ja palautuminen eksentrisen ja konsentrisen polkupyöräergometrikurituksen jälkeen. ProGradu. Jyväskylän yliopisto.

Smith, G. 2003. Biomechanics of cross-country skiing. In Cross-country skiing. Rusko, H. Handbook of sports medicine and science, blackwell publishing, 32-61.

Spring, E. 1987. Hiihdon fysikaaliset perusteet. University of Helsinki.

Stephard, R.J. 1982. Physiology and biochemistry of exercise, Praeger Publishers, USA.  
Street, G.M., Frederick, E.C. 1995. Measurement of Skier-Generated Forces During Roller-Ski Skating. *Journal of Applied Biomechanics*, 1995, 11, 245-256.

Stöggl, T., Muller, E. & Lindinger, S. 2008. Biomechanical comparison of the doublepush technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*, September 2008; 26(11): 1225–1233

Suominen, H. 1983. Suksen ja lumen välinen kitka. Helsinki. SITRA, Sarja A, nro 41

Viitasalo, J.T., Komi, P.V., Jacobs, I. & Karlsson, J. 1982. Effect of prolonged cross country skiing on neuromuscular performance. *Exercise and sport biology*, 12 (1982). 191-198

Vähäsöyrinki, P., 1996. Vuorohiihdon voimantuotto hiihtonousun kulman ja suksen pito-ominaisuuksien vaihtuessa. ProGradu. Jyväskylän YO.

Vähäsöyrinki, P., Komi, P.V., Seppälä, S., Ishikawa, M., Kolehmainen, V., Salmi, J.A. & Linnamo, V. 2008. Effect of Skiing Speed on Ski and Pole Forces in Cross-Country Skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Vol. 40(6), 1111-1116..

Åstrand, P-O. & Rodalh, K. 1987. Textbook of work physiology, McGraw-Hill international editions, Singapore.

Internet:

<http://www.tieto-oskari.com/SKISPEED.pdf> (Skispeed-esite)