

**MAASTOHIIHDON RUKAN MAAILMANCUPIN KILPAILUN
2015 BIOMEKAANINEN KILPAILUANALYYSI**

Petri Ollonen

Biomekaniikan Pro gradu -tutkielma

Kevät 2018

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat:

Vesa Linnamo

Olli Ohtonen

TIIVISTELMÄ

Ollonen, Petri (2018). Maastohiihdon Rukan maailmancupin kilpailun 2015 biomekaaninen kilpailuanalyysi. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Biomekaniikan Pro gradu -tutkielma, 97 s.

Maastohiihdon erilaiset kilparadat sekä maailmancupin ja arvokisojen kilpailumaastot haastavat kilpailijoiden fysiologian sekä teknisen ja taktisen osaamisen äärimmilleen. Tässä työssä tutkittiin väliaika-analyysin avulla eliittihiihtäjien vauhdinjakoja ja videoanalyysin avulla heidän ylämäissä suorittamien tekniikanvaihtojen vaikutusta kilpailun lopputuloksiin naisten ja miesten vapaan tekniikan kilpailuissa väliaikalähdöillä. Lisäksi videoanalyysin avulla analysoitiin kilpailijoiden kinemaattisia muuttujia kilpailun aikana kuvatussa videomateriaalista.

Naisten kilpailussa tasaiset ja vaihtelevat maastonkohdat korreloivat kilpailun 30 parhaan hiihtäjän loppuaikojen kanssa eniten ($r_s = 0,93$; $p < 0,01$), mutta suurimmat nopeuserot tutkimuksen vertailuryhmien (R1: sijat 1–10 lopputuloksissa; R2: sijat 11–30) välillä todettiin nousuosuuksilla (R1: $3,43 \pm 0,15$ m/s; R2: $3,30 \pm 0,05$ m/s; $p < 0,01$). Miehillä suurimmat korrelaatiot kilpailun 30 parhaan hiihtäjän loppuaikojen kanssa todettiin toisen kierroksen nousuosuuksilla ($r_s = 0,70$; $p < 0,01$) ja myös suurimmat nopeuserot todettiin kilpailun nousuosuuksilla (R1: $3,94 \pm 0,09$ m/s; R2: $3,82 \pm 0,08$ m/s; $p < 0,01$). Molempien kilpailujen voittaja ratkaisi kilpailun nousuosuuksilla. Kilpailijoiden suorituksia videoitiin neljässä eri kilpailun kannalta merkittävässä maastonkohdassa, joista kaksi sijaitsi nousujen päällä ja kaksi nousujen alussa. Kilpailijoiden tekniikanvaihtokohdat vaihtelivat suuresti kilpailijoiden kesken ja korreloivat merkittävästi nopeuden kanssa vain yhdellä kuvauspaikalla (Naiset: $r = 0,371$, $p < 0,01$; Miehet: $r = 0,389$, $p < 0,01$ ja $r = 0,34$, $p < 0,01$).

Tulokset osoittavat kilpailussa hyvin sijoittuneiden maastohiihtäjien tehneen eniten eroa nousuissa verrattuna hitaampiin hiihtäjiin, ja urheilijoiden tekniikan vaihtokohtien merkityksellisyyden todettiin riippuvan tutkituissa maastokohdissa maaston profiilista ja optimaalisen tekniikanvaihtokohdan olevan kullekin urheilijalle yksilöllinen.

Avainsanat: maastohiihto, kilpailuanalyysi, luistelutekniikka, vauhdinjako, tekniikkakuvaus, tekniikan vaihto, syklinpituus, hiihtofrekvenssi.

ABSTRACT

Ollonen, Petri (2018). A Biomechanical Analysis of a Cross-Country Skiing World Cup Competition at Ruka, Finland 2015. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis in biomechanics, 97 pp.

Considering that all competition tracks are different and the World Cup, World Championship and Olympic level terrains are very demanding, they are setting huge challenges for cross-country skiers' physiology together with their technical and tactical skills. The purpose of present study was to investigate elite skiers' pace strategies by conducting a thorough split time analysis and using video analysis to study the influence of the locations of their technique transitions in uphill in women's and men's interval start races competed with skating technique. In addition the kinematic variables of the competitors' were analyzed from the video material that was filmed during the competitions under research.

In the women's race for the best 30 skiers the correlation with the end times of the race was the highest in easy and undulating terrain ($r_s = 0,93$; $p < 0,01$), but for the compared groups (R1: places 1–10 in the final results; R2: places 11–30) the biggest differences in speed were observed in the uphill (R1: $3,43 \pm 0,15$ m/s; R2: $3,30 \pm 0,05$ m/s; $p < 0,01$). In the men's race the highest correlations with the end times of the race were observed in the uphill of the 2nd lap ($r_s = 0,70$; $p < 0,01$) and also the biggest differences in speed were observed in the uphill (R1: $3,94 \pm 0,09$ m/s; R2: $3,82 \pm 0,08$ m/s; $p < 0,01$). Furthermore the winners of the both investigated race built their gaps in the uphill of the races. The competitors were filmed in four different locations of the competition track that were thought to be important against the competition results. Two of the filming locations were placed on the top of uphill and the other two were placed in the beginning of uphill. The locations of the technique transitions varied very much between the competitors and they correlated with the speed only in one of the selected filming sections out of four (Women: $r = 0,371$, $p < 0,01$; Men: $r = 0,389$, $p < 0,01$ and $r = 0,34$, $p < 0,01$).

The results of the study indicate that the fastest skiers built their gaps mostly in the uphill and the locations of the technique transitions depend on the terrain and vary a lot individually.

Key words: cross-country skiing, competition analysis, skating technique, pace strategy, technique filming, technique transition, cycle length, cycle rate.

KÄYTETYT LYHENTEET

2D	Kaksiulotteinen (Two Dimension)
3D	Kolmiulotteinen (Three Dimension)
BW	Kehon massa (Bodyweight)
CL	Syklinpituus (Cycle Length)
CoM	Massakeskipiste (Centre of Mass)
CR	Hiihtofrekvenssi (Cycle Rate)
DIA	Vuorohiihto (Diagonal Stride)
DP	Tasatyöntö (Double Poling)
FIS	Kansainvälinen hiihtoliitto (Fédération Internationale de Ski)
FPS	Kuvataajuus (Frames Per Second)
G1	Vaihte 1 (Gear 1). Vuoroluistelu (Ankkaluistelu), jota ei lasketa kilpahiihtoon kuuluvaksi
G2	Vaihte 2 (Gear 2). V1-tekniikka eli Kuokka
G3	Vaihte 3 (Gear 3). V2-tekniikka eli Wassberg
G4	Vaihte 4 (Gear 4). V2A-tekniikka eli Mogren
G5	Vaihte 5 (Gear 5). Sauvoittaluistelu
GNSS	Satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Navigation Satellite System)
GPS	Satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Positioning System)
IMU	Inertiamittausyksikkö (Inertial Measurement Unit)
ka	Keskiarvo
KIHU	Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus
lkm	lukumäärä
Ltd	Limited
MM	Maailmanmestaruus
N	Vertailuryhmän populaation lukumäärä

Org	Organisaatio (Organization)
p	satunnaisvirheiden tunnusluku, havaittu merkitsevyystaso
R1	Ryhmä 1
R2	Ryhmä2
RPE	Koettu subjektiivinen kuormittuneisuus (The Borg Rating of Perceived Exertion)
r	Korrelaatiokerroin (Pearson)
r_s	Järjestyskorrelaatiokerroin (Spearman)
SSC	Lihaksen venymis-lyhenemis sykli (stretch-shortening cycle)
SD	keskihajonta (Standard Deviation)
UK	Yhdistyneet Kuningaskunnat (United Kingdom)
USA	Yhdysvallat (United States of America)
VO_{2max}	Maksimaalinen hapenottokyky
WN	Verkkoon yhdistetty langaton laite eli node (Wireless Node)

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 HIIHTOTEKNIIKAT	8
2.1 V1-tekniikka.....	9
2.2 V2-tekniikka.....	10
3 LUISTELUHIIHDON TEKNIikka-ANALYYSIT	12
3.1 Hiihtoasento	13
3.2 V1- ja V2-tekniikoiden ajoitus ja rytmi	15
3.3 Voimantuotto maastohiihdossa	17
3.4 Massakeskipisteen liikkeen analysointi maastohiihdossa.....	21
4 TEKNIikka-ANALYYSISSÄ KÄYTETYT VÄLINEET JA MENETELMÄT	22
4.1 Maastohiihdon kilpailuanalyysit	22
4.2 Maastohiihdon väliaika-analyysit	23
4.3 Videoanalyysit urheilusuorituksissa.....	24
4.4 Nopeuden mittaaminen maastohiihdossa.....	28
4.5 Reaaliaikainen palautejärjestelmä - Coachtech.....	29
4.6 Kiihtyvyyssantureiden ja gyroskooppien käyttö maastohiihdon tutkimisessa	30
5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSASETELMA.....	36
6 MENETELMÄT	40
6.1 Koehenkilöt.....	40
6.2 Aineiston keräys.....	40
6.2.1 Väliaika-analyysi.....	40
6.2.2 Videoanalyysi.....	41

6.3	Aineiston analysointi ja käytetyt tilastolliset menetelmät.....	43
7	TULOKSET	47
7.1	Naisten 5 km:n kilpailu	47
7.1.1	Naisten kilpailun väliaika-analyysin tulokset	47
7.1.2	Naisten kilpailun videoanalyysin tulokset	50
7.2	Miesten 10 km:n kilpailu	54
7.2.1	Miesten kilpailun väliaika-analyysin tulokset.....	55
7.2.2	Miesten kilpailun videoanalyysin tulokset.....	59
8	POHDINTA	65
8.1	Väliaika-analyysit	66
8.2	Tekniikanvaihdot.....	68
8.3	Kinemaattiset muuttujat	70
8.4	Tutkimuksen soveltuvuus ja luotettavuus	71
8.5	Mahdolliset jatkotutkimukset.....	72
8.6	Johtopäätökset.....	73
9	LÄHTEET	76
10	LIITTEET	83

1 JOHDANTO

Maastohiihto on yksi kaikkein vaativimmista kestävyysurheilulajeista, jossa tutkimusten mukaan urheilijoiden tärkein tulokseen vaikuttava fysiologinen ominaisuus on maksimaalinen hapenotto (VO_{2max}). Suurimpia yksittäisiä VO_{2max} arvoja on raportoitu maastohiihtäjiltä (mm. Saltin & Åstrand 1967; Ingjer 1991; Rusko 2003, 20) ja kansainvälisen tason maastohiihtäjiltä mitatut arvot miehillä asettuvat $80\text{--}90\text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$:n ja naisilla $70\text{--}80\text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$:n välille (Sandbakk & Holmberg 2014). Tässä tutkimuksessa keskityttiin maastohiihdon fysiologisten vaatimusten sijaan maastohiihtäjien kilpailustrategioihin ja biomekaniikkaan kilpailusuorituksen aikana. Tutkimus suoritettiin kuvaamalla ja analysoimalla maailman parhaiden maastohiihtäjien suorituksia vuoden 2015 Rukan maailmancupin väliaikalähdöillä järjestetyissä naisten ja miesten vapaan hiihtotekniikan kilpailuissa. Tavoitteena oli saada kilpailusuorituksen aikaista informaatiota parhaiden maastohiihtäjien vauhdinjaosta, etenemistekniikoista ja tekniikanvaihtokohdista verrattuna kilpailujen hitaampiin kilpailijoihin. Maailmancup tasolla suoritettuja kilpailuanalyyssejä ja hiihtotekniikkaan keskittyviä tutkimuksia on aikaisemmin julkaistu, mutta niitä on julkaistu kuitenkin yllättävän niukasti, joten tämän tutkimuksen toteuttaminen oli mielekästä.

Maastohiihdon biomekaniikkaa on tutkittu paljon, mutta aikaisemmat tutkimukset keskittyvät usein laboratorio-olosuhteissa suoritettuihin mittauksiin, joissa koehenkilöt ovat hiihtäneet rullasuksilla erikoisvalmisteisella urheilumatolla tai lumella voimamittauksiin modifioituilla välineillä. Ennen vuosituhannen vaihtumista merkittävimmät hiihdon biomekaniikkaa koskevat julkaisut julkaistiin pohjoisamerikkalaisten tutkijoiden (mm. Smith, Bilodeau ja Boulay) toimesta, mutta 2000-luvulla eurooppalaiset tutkijat (mm. Holmberg, Lindinger, Stöggl ja Sandbakk) ovat olleet johtavia ja tuottoisia. Tosin Suomessa on tehty edelläkäypää ja korkealuokkaista tutkimusta (mm. Komi, Leppävuori, Vähäsöyrinki ja Ohtonen) maastohiihdossa vaikuttavien voimien osalta 80-luvulta lähtien.

2 HIIHTOTEKNIIKAT

Maastohiihdossa erotetaan kaksi erilaista hiihtomuotoa eli perinteinen- ja vapaa hiihtotekniikka. Perinteinen hiihtotekniikka erotetaan vapaasta hiihtotekniikasta kieltämällä suksien liu'uttaminen sivusuunnassa, joten siinä suksien pitää liukua suoraan eteenpäin eli hiihtäjän etenemissuuntaan. Poikkeuksena edelliseen todettakoon, että askellettaessa mutkissa ja vaihdettaessa latua voivat hiihtäjän sukset perinteisen hiihdossa liukua hetkellisesti myös sivusuunnassa (FIS – maastohiihdon kansainväliset lajisäännöt 2016). Tarkasteltaessa molempia hiihtotapoja huomataan, että niiden biomekaaniset ominaisuudet eroavat toisistaan merkittävästi jalkojen voimantuoton osalta (Smith 1992; Bilodeau ym. 1992). Vapaassa hiihtotekniikassa eli luisteluhiihdossa jalkojen voimantuotto tehdään liikkeessä olevaan liukuvaan sukseen kun taas perinteisessä hiihtotekniikassa sukki pysäytetään ja polkaistaan latuun kiinni potkun ajaksi. Johtuen suksen pysäyttämistä potkun ajaksi on perinteisessä hiihtotekniikassa huomattavasti lyhyempi jalkojen voimantuottoaika kuin luistelutekniikoissa (Smith 1992; Bilodeau ym. 1992). Toinen merkittävä ero perinteisen ja luisteluhiihdon välillä on hiihtoalustassa, sillä perinteisen hiihtoa hiihdetään latua pitkin ja vapaata hiihdetään tasaisella leveällä hiihtoalustalla. Tämän vuoksi luisteluhiihdossa korostuu hyvä kehonhallinta ja tasapaino, koska sukset liukuvat vapaasti alustalla eikä latu-ura ohjaa suksia. Lisäksi luisteluhiihdon sivuttaisliike ja kovemmat vauhdit aiheuttavat suurempia vaatimuksia kehonhallinnalle verrattuna perinteiseen hiihtotekniikkaan. Perinteisen ja vapaan hiihtotekniikoiden eroavaisuuksista johtuen niissä käytetään myös erilaisia hiihtovälineitä.

1980-luvun puolivälin jälkeen nykyiseen muotoonsa kehittynyt maastohiihdon luisteluhiihto jaetaan kilpailutasolla laskuasennon lisäksi neljään eri etenemismuotoon (hitaimmasta nopeimpaan): perusluistelu ("Kuokka") eli V1-tekniikka, yksivaiheinen luistelu ("Wassberg", Wassu") eli V2-tekniikka, kaksivaiheinen luistelu ("Mogren") eli V2A-tekniikka (V2 Alternate tai open field) ja sauvoittaluistelu (free skating) (Smith 2003, 47–52). Näitä luisteluhiihdon sisällä olevia eri etenemismuotoja Ohtonen nimitti luisteluhiihdon

eri osatekniikoiksi (Ohtonen 2010). Ruotsalaiset tutkijat ajattelevat loogisesti luisteluhiihdon eri osatekniikat eri suuruiseksi välityksiksi (G1–G5) aivan kuten ajoneuvojen vaihteet, joita vaihdetaan suuremmiksi nopeuden kasvaessa ja pienemmiksi nopeuden hidastuessa (Nilsson ym. 2004). Tässä tutkielmassa käytetään osatekniikoista jatkossa nimityksiä V1-, V2-, V2A-tekniikka ja sauvoittaluistelu, mitkä ovat yleisesti käytössä tieteellisissä tutkimuksissa. Tarkemmin kuvataan tässä yhteydessä vain V1- ja V2-tekniikat, koska tämä tutkimus keskittyy pelkästään näihin osatekniikoihin. Perinteisen hiihdon tekniikoita ei sisällytetä lainkaan tähän raporttiin.

2.1 V1-tekniikka

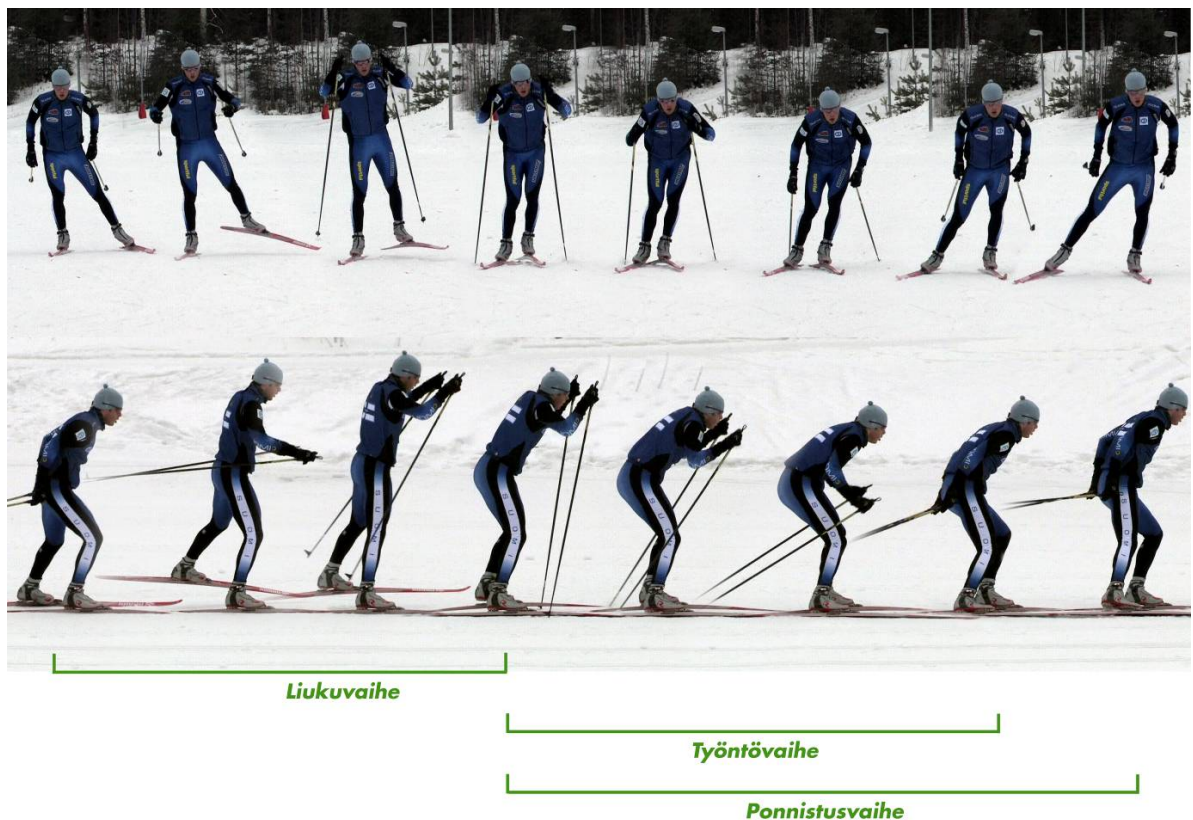
V1-tekniikka on luisteluhiihdon osatekniikoista selkeä ylämäkitekniikka, jota pyritään käyttämään pelkästään kovissa ja jyrkissä nousuissa sekä rytminvaihdossa. V1-tekniikka on epäsymmetrinen tekniikka, jossa molempien jalkojen voimantuottoja kohden suoritetaan sauvatyöntö vain kerran eli sauvatyöntö suoritetaan vain toiselle puolelle. V1-tekniikassa erotetaan kuvan 1 mukaisesti työntö- ja vapaa liuku, jotka jakautuvat vastaavasti työntö- ja ponnistusvaiheeseen sekä liuku- ja ponnistusvaiheeseen (Mikkola 2009b). Liitteessä 1 on esitetty V1-tekniikan päävaiheet ja ydinkohdat.



KUVA 1. V1-tekniikan eri vaiheet kuvattuna sivulta ja edestä (Mikkola 2009b).

2.2 V2-tekniikka

V2-tekniikka on symmetrinen tasamaan ja kohtalaisten nousujen tekniikka, jossa ylävartalon kapasiteetin merkitys on suurempi kuin muissa vapaan tekniikoissa, koska siinä symmetrinen tasatyönnönomainen sauvatyöntö ajoittuu jokaisen potkun yhteyteen toisin kuin epäsymmetrisissä V1- ja V2A-tekniikoissa. V2-tekniikka korostuu V1-tekniikan ohella maailmancup-tason kilpailuissa johtuen niiden vaativista latuprofiileista ja eliittihiihtäjien korkeasta ylävartalon tehosta, minkä on useissa tutkimuksissa raportoitu olevan yhteydessä hyvään suoritustasoon maastohiihdossa (mm. Staib ym. 2000; Mahood ym. 2001; Alsobrook ym. 2009; Mikkola ym. 2010). V2-tekniikassa erotetaan kuvan 2 mukaisesti kolme päävaihetta: liukuvaihe, työntövaihe ja ponnistusvaihe (Mikkola 2009b).



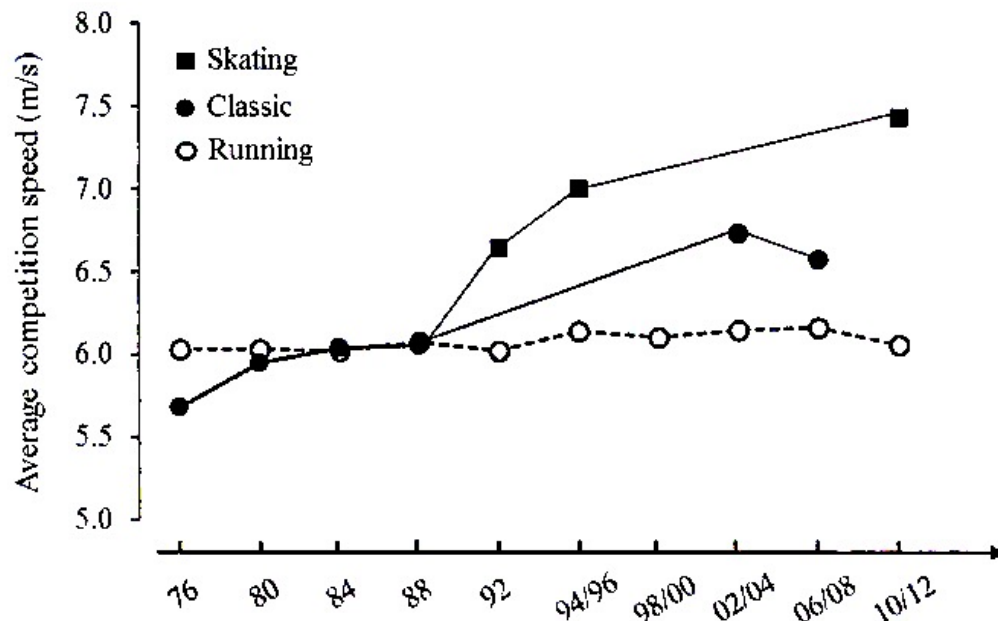
KUVA 2. V2-tekniikan $\frac{1}{2}$ -syklin eri vaiheet kuvattuna sivulta ja edestä (Mikkola 2009b).

V2-tekniikassa liuku- ja ponnistusvaihe sijoittuvat ajallisesti peräkkäin ja työntövaihe alkaa ponnistusvaiheen kanssa samanaikaisesti, mutta päättyy selkeästi ennen ponnistusvaiheen loppumista eli se sijoittuu ajallisesti kokonaisuudessaan ponnistusvaiheen sisälle. Kuvassa 2 on kuvattu hiihtäjän oikean jalan ponnistusvaiheen aikainen työntövaihe, joten seuraava työntövaihe ajoittuisi vastaavasti vasemman jalan ponnistusvaiheen yhteyteen. V2-tekniikassa yksi kokonainen sykli sisältää kaksi työntövaihetta eli sauvojen maakontaktia ja yhden ponnistusvaiheen molemmilla jaloilla (Smith 2003, 51). Liitteen 2 taulukossa on esitetty V2-tekniikan $\frac{1}{2}$ -syklin päävaiheet ja ydinkohdat.

3 LUISTELUHIHDON TEKNIikka-ANALYYSIT

Maastohiihto on muuttunut paljon viimeisten 30 vuoden aikana luisteluhiihdon ja uusien kilpailumuotojen mukaantulon myötä. Lajina maastohiihto vaatii urheilijalta hyvän fyysisen kunnan lisäksi hyvää teknistä osaamista, jotta hänellä olisi edellytyksiä taistella kilpailujen voitoista. Maastohiittäjän tulee pystyä ylläpitämään kovaa vauhtia ja kyetä selkeisiin rytmivaihtoihin sekä valitsemaan itselleen optimaalinen osatekniikka vaihtelevassa kilpailumaastossa (Nilsson ym. 2004). Samalla hänen tekniikkansa tulee olla tehokasta ja taloudellista, jotta hän kykenisi taistelemaan voitosta distanssimatkojen väliaika- ja yhteislähtökilpailuissa. Kaudella 2015–16 maailmancupin kilpailuissa naisten distanssimatkat vaihtelivat 5–30 km:n ja miehillä 10–50 km:n välillä. (FIS – maastohiihdon kilpailukalenteri 2015–16).

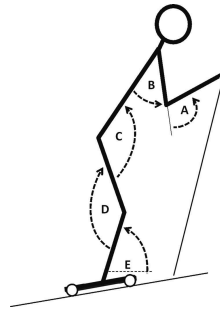
Tehokkaaseen hiihtotekniikkaan kuuluvat oikea-aikaiset ja oikeanpituiset voimantuotot ylävartalolla ja alaraajoilla sekä hyvä keskivartalon pito tuottaessa voimaa hiihtoalustaa vasten. Taloudellisuudessa korostuvat urheilijan hyvän tasapainon ja oikean hiihtoasennon avulla saavutettu rentous liu'un aikana sekä vapaiden heiluriliikkeiden oikea ajoitus yhden syklin aikana (Mikkola 2009a; Mikkola 2009b). Kilpailuvauhdit ovat kehittyneet yhä vauhdikkaammiksi kilpailumuotojen, hiihtovälineiden, hiihtoalustan ja urheilijoiden fysiologisten ominaisuuksien kehityksen myötä, mikä asettaa urheilijoiden harjoittelulle jatkuvasti uusia vaatimuksia pysyä kehityksen mukana (Sandbakk & Holmberg 2014). Siksi valmentajien tulee pysyä lajin kehityksessä mukana ja päivittää tarvittaessa käsitystään hiihdon lajiansalysistä sekä sen asettamista vaatimuksista urheilijan fyysisille ominaisuuksille ja hiihtotekniikoille. Kuvassa 3 on esitetty maastohiihdon 15 km kilpailun ja 10000 m juoksun kilpailuvauhtien kehitys olympialaisissa vuosien 1976–2012 välisenä aikana.



KUVA 3. Keskinopeudet miesten maastohiihdon 15 km:n ja juoksun 10000 m:n kilpailuissa olympialaisissa vuosien 1976-2012 aikana. Maastohiihdon tuloksista on jätetty pois vuoden 1998 erittäin hitaissa keliolosuhteissa käyty 15 km:n kilpailu, koska se vääristäisi tuloksia suurella poikkeavuudellaan. (Sandbakk & Holmberg 2014)

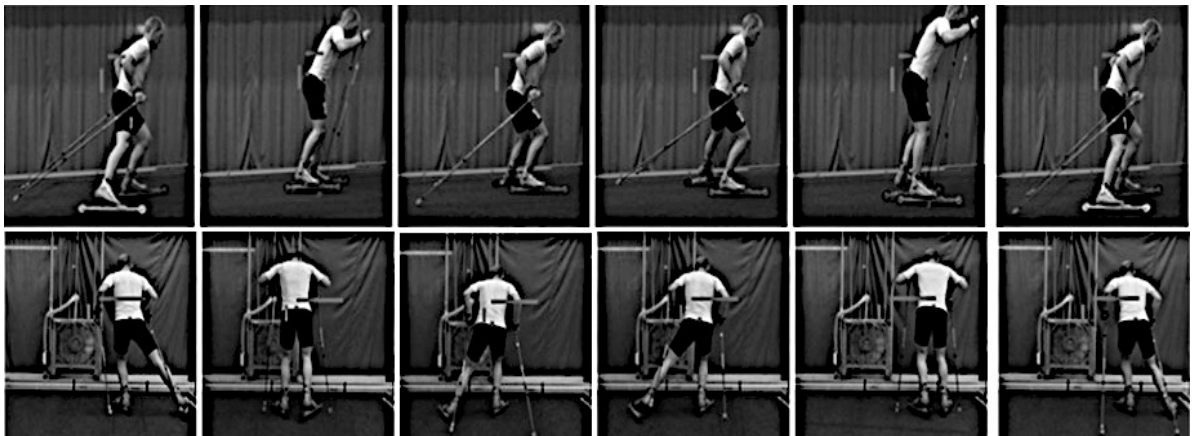
3.1 Hiihtoasento

Hyvä hiihtoasento on hieman eteenpäin kallistunut ja hiihtäjän lantion tulee olla riittävän edessä ja ylhäällä työntövaiheen alkaessa (Ohtonen & Mikkola 2016, 493). Nimenomaan työntövaiheen alussa hiihtäjän massakeskipisteen (CoM) korkealla sijainnilla tukipisteen päällä on raportoitu olevan yhteys paremman propulsiion eli eteenpäin suuntautuvan vaakavoiman kanssa tasatyönnössä ja V2-tekniikassa (mm. Myklebust ym. 2014; Danielsen ym. 2015). Hyvän hiihtoasennon saavuttaminen V2-tekniikassa on yhteydessä myös hyvän liikkuvuuden omaaviin nilkkoihin, koska nilkan dorsifleksio mahdollistaa optimaalisen hiihtoasennon, kuten kuvassa 4 on esitetty (Losnegard ym. 2016b).



KUVA 4. Hiihtoasentoon vaikuttavat nivelkulmat. A = kyynär-, B = olka-, C = lonkka-, D = polvi- ja E = nilkkanivel. (Losnegard ym. 2016b)

Lisäksi kuvassa 5 esitetyn yhden V2-tekniikan syklin aikaisista pysäytyskuvista voidaan todeta kuinka ylävartalon ja säären muodostamat suorat pysyvät käytännössä yhdensuuntaisina syklin aikana, ja vain työntövaiheen alussa voidaan havaita poikkeama suorien yhdensuuntaisuuksissa johtuen lonkankoukistajien fleksiosta (Myklebust ym. 2014).



KUVA 5. V2-tekniikan yksi sykli kuvattuna sivulta ja takaa (Myklebust ym. 2014).

Mikäli hiihtoasento on istuva eli lantio jää hiihtäjän tukipisteen taakse ja alas niin siitä seuraa, että hiihtäjän massakeskipiste siirtyy epäoptimaalisesti tukipisteen taakse. Hiihtovalmentajien yleisen käsityksen mukaan takapainoisesta ja istuvasta hiihtoasennosta

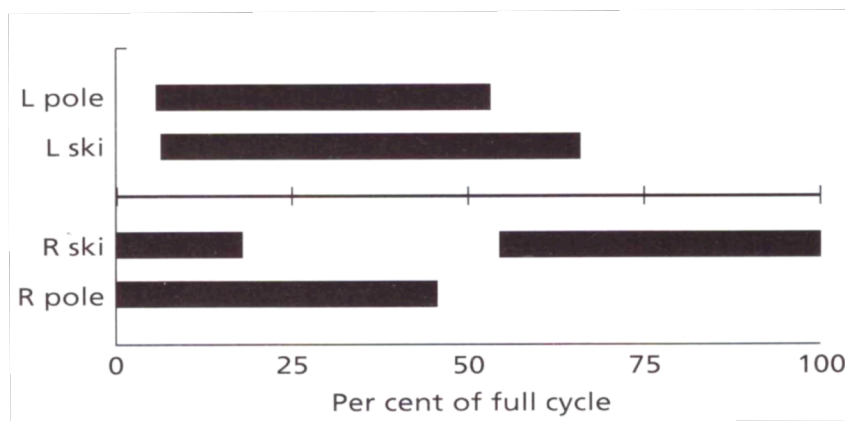
seuraa reisilihaksissa (quadriceps femoris) ylimääräistä happamuuden kasvua, koska lisääntyneen staattisen kuormituksen vuoksi reisilihasten luonnollinen rentoutumis-supistumis-sykli häiriintyy. Lisäksi istuvasta hiihtoasennosta seuraa, että hiihtäjä ei myöskään voi hyödyntää kunnolla alaraajojen lihasten venymis-supistumis-sykliä (SSC), jonka hyödyntäminen varmistaa hiihtämisen taloudellisuuden ja tehokkuuden (Komi & Norman 1987).

3.2 V1- ja V2-tekniikoiden ajoitus ja rytmi

Hiihtäjälle on erityisen tärkeää voimantuoton, painonsiirron ja vapaiden heilureiden oikea ajoitus, jotta hän kykenisi hiihtämään koko kilpailun mahdollisimman taloudellisesti riittävän kovaa vauhtia. Mm. Hegge ym. (2014) raportoivat käsien voimakkaan ja oikea-aikaisen palautuksen lisäävän hiihtäjän propulsiota V2A-tekniikan maksiminopeuksissa, mutta Göpfert ym (2016) raportoivat sen lisäävän propulsiota V2A-tekniikassa myös submaksimaalissa nopeuksissa sekä parantavan hiihdon taloudellisuutta. Valmentajat ja tutkijat tarkastelevat hiihtäjien tekniikoissa erityisesti heidän työntö- ja ponnistusvaiheensa välistä ajallista suhdetta ja kestoa (mm. Smith 2003, 48–50; Nilsson ym. 2004) sekä lantion oikea-aikaista eteen tuontia liukuvaiheen aikana. Lantion oikea-aikaisen korkealle eteen tuonnin on todettu lisäävän huomattavasti tasatyönnön ja V2-tekniikan ja työntövaiheen propulsiota (mm. Myklebust ym. 2014; Danielsen ym. 2015). Erityisen tärkeää lantion eteen tuonnin ajoituksessa on aloittaa se jo ponnistusvaiheen aikana ennen sauvojen palautusvaiheen alkamista ja lantio tulee tuoda jatkuvana liikkeenä eteen ja ylös ennen uuden syklin sauvatyön alkua (Losnegard ym. 2016b). Edellä mainittujen muuttujien lisäksi tutkijoiden erityisinä mielenkiinnonkohteina ovat olleet yhden syklinpituus (CL) ja hiihtofrekvenssi (CR) (mm. Boulay ym. 1995; Nilsson ym. 2004; Stöggl ym. 2010). Hiihtonopeutta voidaan kasvattaa joko syklinpituutta, hiihtofrekvenssiä tai molempia kasvattamalla, mutta aikaisemmin tehtyjen tutkimusten mukaan eniten submaksimaalisten hiihtonopeuksien kanssa korreloi syklinpituus (mm. Smith ym. 1988, Bilodeau ym. 1992, Sandbakk ym. 2012). Kuitenkin, kun lähestytään hiihtäjän maksiminopeutta, nopeuden

nosto tapahtuu hiihtofrekvenssiä kasvattamalla syklinpituuden muuttuessa enää vain vähän tai ei lainkaan (mm. Nilsson ym. 2004; Stöggl & Müller 2009).

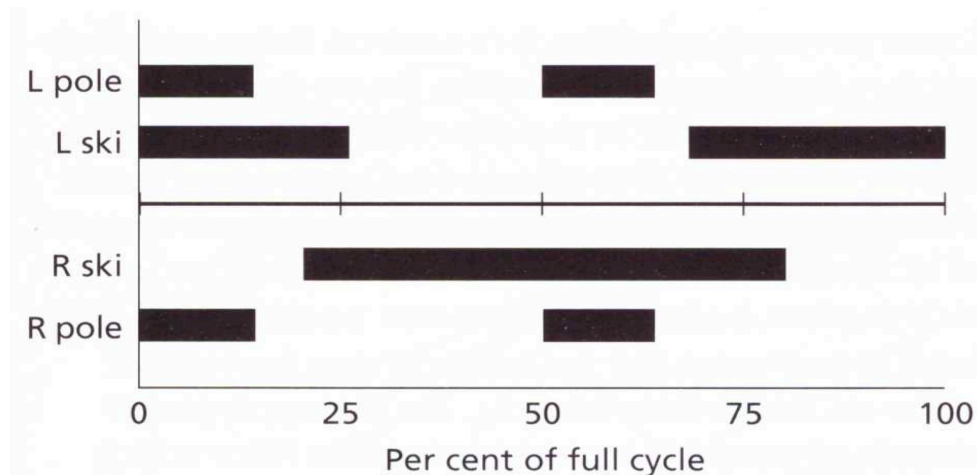
V1. V1- tekniikka on ylämäkiteknikka ja siinä hiihtofrekvenssi on suurempi ja syklinpituus on lyhyempi kuin muissa luistelutekniikoissa (Nilsson ym. 2004), mutta siinäkin nopeimmat hiihtäjät omaavat pitemmän syklinpituuden kuin hitaammat hiihtäjät. Pitemmän syklinpituuden lisäksi nopeat hiihtäjät kykenevät suoraviivaisempaan etenemiseen ilman ylimääräisiä kierto- ja sivuttaisliikkeitä kuin hitaat hiihtäjät (Smith ym. 1988). Kuvassa 6 on kuvattu V1-tekniikan maakontaktien ajoituskaavio, jossa on nähtävissä V1-tekniikan yhden syklin eri vaiheiden sisäiset ajoitukset ja niiden kestot.



KUVA 6. V1-tekniikan maakontaktien ajoituskaavio. Kuvassa ”L pole” = vasen sauva, ”R pole” = oikea sauva, ”L ski” = vasen suksi, ”R ski” = oikea suksi ja vaaka-akselin asteikko ilmaisee maakontaktien prosentuaalisen osuuden koko syklistä. (Smith 2003, 48)

V2. V2-tekniikassa eli 1-vaiheisessa luistelutekniikassa syklinpituus on pisin verrattuna muihin vapaan tekniikoihin (Nilsson ym. 2004). V2-tekniikassa liukuvaiheen aikana lantio tuodaan korkealle eteenpäin ja kädet heilahtavat nopeasti eteen ennen uutta sauvatyöntöä kuvien 2 ja 5 mukaisesti (Losnegard ym. 2016b). Nämä toimenpiteet oikea-aikaisina keventävät urheilijan painetta alustaan ja lisäävät liu’un pituutta. Liukuvaihetta seuraavat

työntö- ja ponnistusvaiheet tulee aloittaa samanaikaisesti riittävän ajoissa, jotta vauhti ei hidastu liu'un aikana liikaa ennen uutta voimantuottoa ja syklinsisäisen nopeuden vaihtelu pysyisi riittävän pienenä eikä hiihdon taloudellisuus siten kärsisi. Kuvassa 7 on kuvattu V2-tekniikan maakontaktien ajoituskaavio, jossa on nähtävissä V2-tekniikan yhden syklin eri vaiheiden sisäiset ajoitukset ja niiden kestot (Smith 2003, 50).

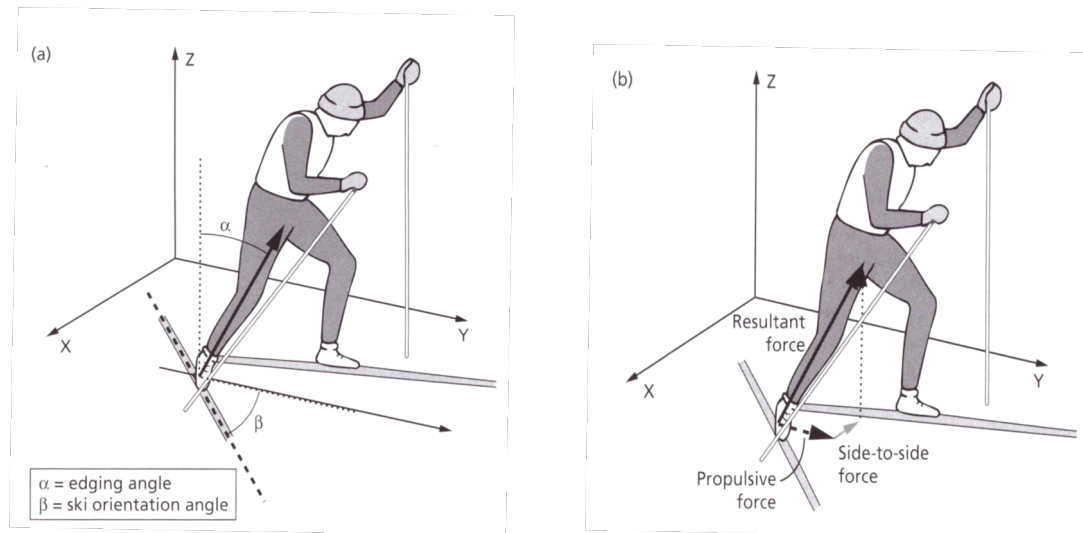


KUVA 7. V2-tekniikan maakontaktien ajoituskaavio. Kuvassa ”L pole” = vasen sauva, ”R pole” = oikea sauva, ”L ski” = vasen suksi, ”R ski” = oikea suksi ja vaaka-akselin asteikko ilmaisee maakontaktien prosentuaalisen osuuden koko syklistä. (Smith 2003, 48)

3.3 Voimantuotto maastohiihdossa

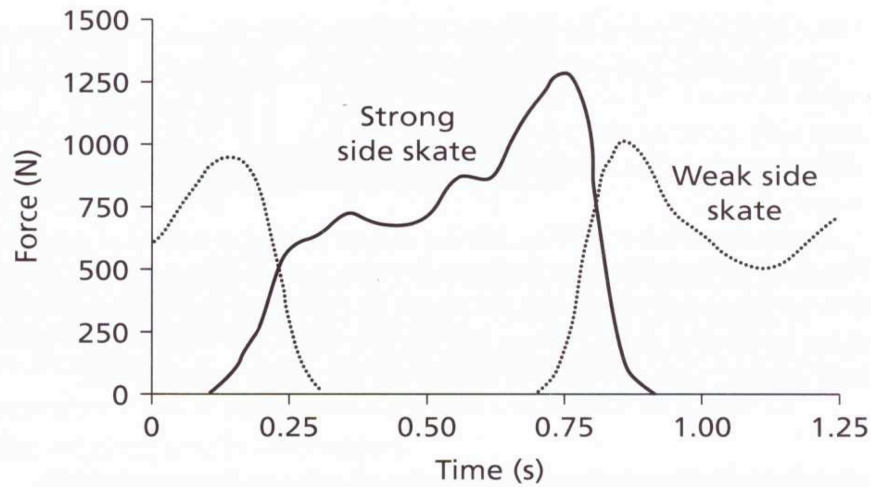
Hiihdossa voima tuotetaan alustaa vasten ylävartalolla sauvojen kautta ja jaloilla suksien välityksellä. Tuotettuja reaktivoimia tutkimalla saadaan tärkeää informaatiota urheilijan tekniikasta ja kyvystä hiihtää nopeasti. Kuvassa 8 on esitetty hiihtäjän kohtisuoraan suksea vasten tuottama resultanttivoima ja sen komponentit. Hiihtäjien ylävartalolla ja alaraajoilla tuottamien reaktivoimien voimakkuuksia, suuntaa, suhdetta sekä voimantuoton ajoitusta ja kestoa voidaan tutkia erilaisten voimalevyjen avulla. Jaloilla tuotettuja reaktivoimia on tutkittu alustaan sijoitetuilla yli hiihdettävillä voimalevyillä (mm. Komi 1985 ja 1987; Komi

& Norman 1987; Leppävuori ym. 1993; Vähäsöyrinki ym. 2008) ja suksiin siteiden alle kiinnitetyillä voimalevyillä (mm. Ekstöm 1981; Komi 1987; Ohtonen 2010).

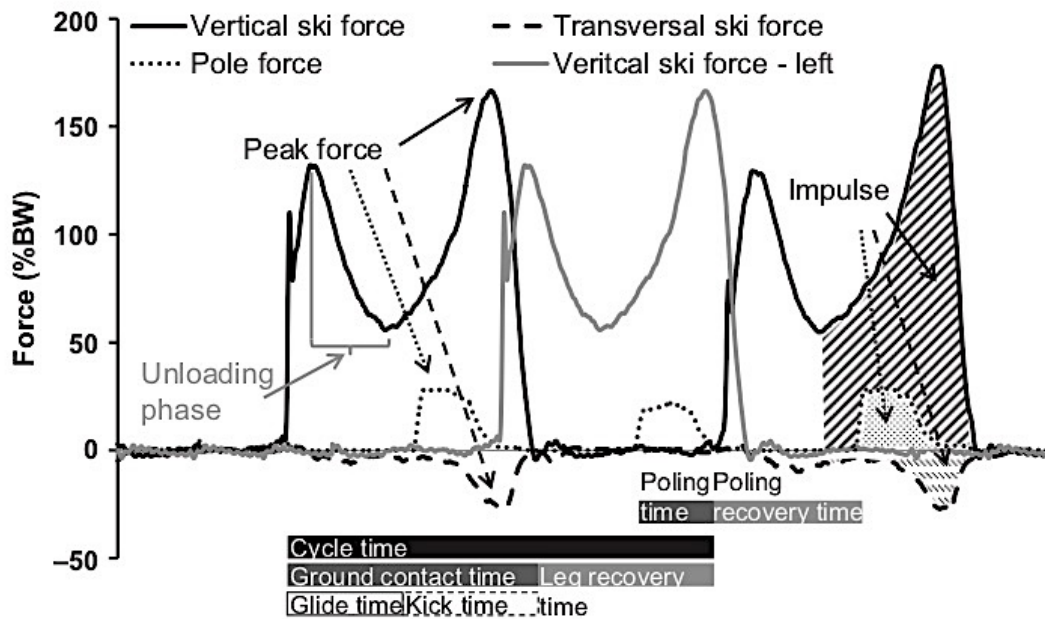


KUVA 8. Sukseen kohtisuoraan kohdistuva resultanttivoima (a ja b) ja sen komponentit (b). Kuvassa (a) on kuvattu ortogonaalisuudesta poikkeavat luistelupotkun propulsioon vaikuttavat kulmat α ja β . Kulma α on sukseen kallistuskulma alustaan nähden ja kulma β on suksikulma, joka poikkeaa luisteluhiihdossa etenemissuunnasta. Kuvan (b) resultanttivoiman komponentit ovat propulsio, sivuttaisvoima ja vertikaalivoima, joka on kuvattu katkoviivalla. (Smith 2003, 46)

V1-tekniikassa alaraajojen avulla tuotettujen reaktivoimien käyttäytyminen on esitetty kuvassa 9, josta ilmenee työntöliu'un ponnistusvaiheessa tuotettujen voimien olevan suurempia kuin vapaan liu'un aikana tuotetut voimat (Smith 2003, 51). Kuvassa 10 on esitetty V2-tekniikan voimantuottokäyrien raakadataa, jonka mukaan alaraajojen voimantuotto saavuttaa lähes 200 %:n suuruuden suhteutettuna hiihtäjän kehon massaan (Ohtonen ym. 2018).

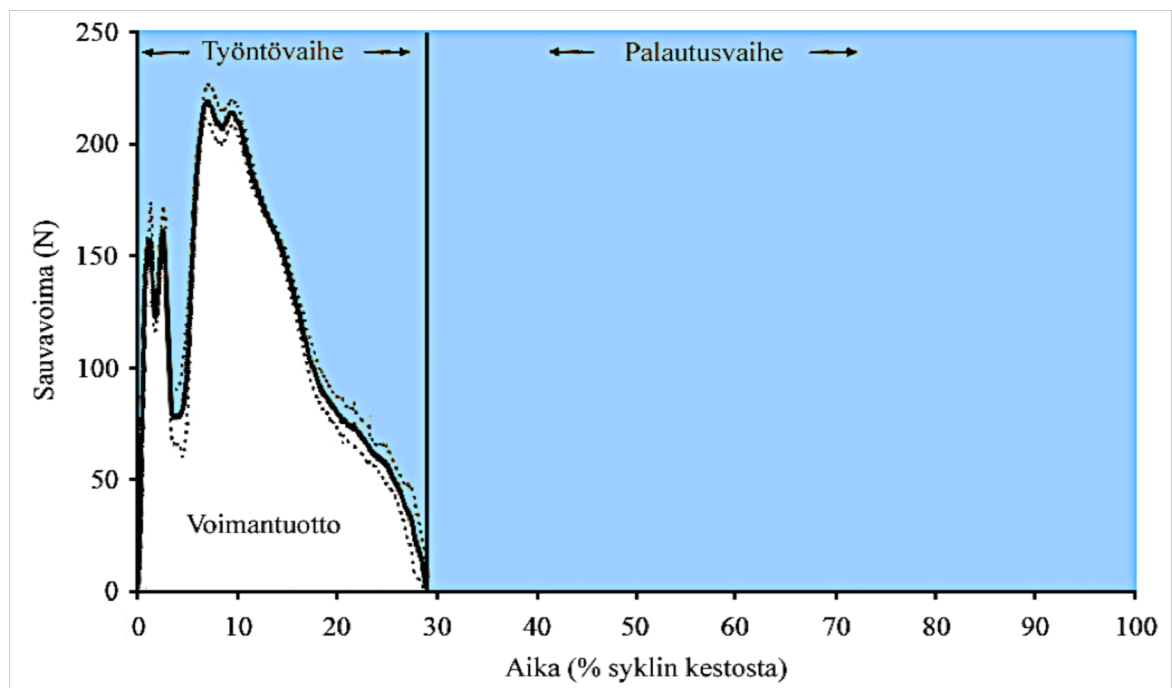


KUVA 9. Jalkojen reaktivoimien resultanttien ajallinen vaihtelu V1-tekniikassa yhden syklin aikana. Yhtenäinen viiva kuvaa työntöliu'un ja katkoviiva vapaan liu'un voimia. (Smith 2003, 48)



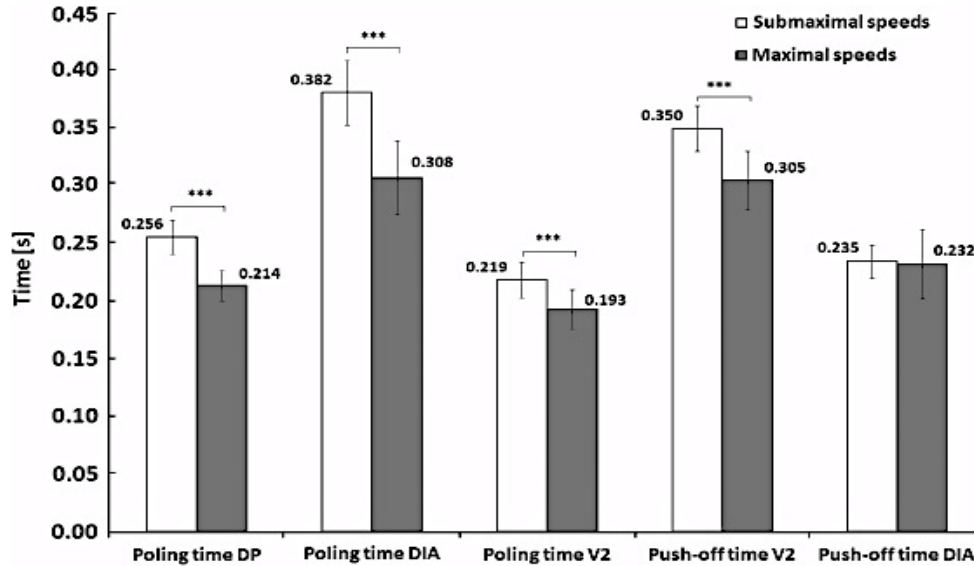
KUVA 10. Yhteenvedo V2-tekniikan yhden syklin aikaisista voimamuuttujista. BW = kehon massa. (Ohtonen ym. 2018)

Sauvojen reaktivoimat käyttäytyvät vastaavasti, mutta niissä dominoivat vertikaalinen ja propulsiivinen vaakavoima, koska sauvatyöntö pyritään suuntaamaan suoraan taaksepäin eli takaviistoon suuntautuvan sauvatyönnön aiheuttama sivuttaisvoima pyritään minimoimaan. Sauvavoimia on myös tutkittu runsaasti erilaisilla menetelmillä: alustaan sijoitetuilla voimalevyillä (Komi 1985; Komi & Norman 1987; Nilsson ym. 2003, Vähäsöyrinki ym. 2008) ja sauvoihin asennetuilla voima-antureilla (mm. Ekström 1981; Millet ym. 1998a ja 1998b; Holmberg ym. 2005; Stöggl ym. 2006; Ohtonen 2010). Kuvassa 11 on esitetty tasatyönnön voimantuottokäyrä, joka vastaa suurelta osin V2-tekniikan sauvatyöntöä, mutta voimantuottoaika on siinä pitempi ja tuotettu voima on suurempi kuin V2-tekniikassa (Stöggl ym. 2011).



KUVA 11. Tasatyönnön voimantuottokäyrä (Mikkola 2009a, muokattu Holmberg ym. 2005).

Hiihtonopeuden kasvaessa hiihtäjän tulee kyetä tuottamaan lyhyemmässä ajassa enemmän voimaa kuin hitaissa vauhdeissa ja samalla ylävartalon osuus voimantuotosta kasvaa kuvan 12 mukaisesti (Stöggl ym. 2011).



KUVA 12. Voimantuottoajat submaksimaalisessa ja maksimivauhdissa. DP = tasatyöntö, DIA = vuorohiihto, Poling = työntövaihe, Push-off = ponnistusvaihe, *** = tilastollisesti erittäin merkittävä ero submaksimaalisen vauhtiin ($p < 0,001$). (Stöggl ym. 2011)

3.4 Massakeskipisteen liikkeen analysointi maastohiihdossa

Perinteisesti maastohiihtoa käsitelleet tutkimukset ovat keskittyneet kehon yksittäisten osien liikkeen ja voimantuottojen tutkimiseen, mutta estimoidun massakeskipisteen liikeratojen ja kiihtyvyyksien avulla voidaan tutkia hiihtäjän kokonaisliikettä (Pellegrini ym. 2015). Kehon kokonaisliikkeen voidaan ajatella olevan yksinkertaistettuna massakeskipisteen liikettä, johon vaikuttaa kuvitteellinen kaikkien kehoon vaikuttavien voimien resultantti (Zatsiorsky 2002, 529). Göpfert ym. (2015) estimoivat massakeskipisteen liikkeen ja 3D-reaktivoimien avulla V2A-tekniikassa tuotettujen vaakavoimien suuruutta todeten, että propulsiion määrittämisessä tulisi ottaa huomioon reaktivoimien lisäksi myös massakeskipisteen sijainti. Lisäksi hiihtäjän massakeskipisteen siirtymän avulla on eri tutkimuksissa mm. määriteltä hiihtäjän tekemää mekaanista työtä ja mekaanisen energian vaihteluita eri hiihtotekniikoissa, mallinnettu luisteluhiihdon eri osatekniikoita sekä tutkittu eritasoisten hiihtäjien välisiä eroja (Myklebust ym. 2015).

4 TEKNIikka-ANALYYSEISSÄ KÄYTETYT VÄLINEET JA MENETELMÄT

Tekniikka-analyysit ovat valmentajien tärkeimpiä apuvälineitä valmennuksen ohjelmoinnin ja psyykkisen valmennuksen ohella. Kokeneet valmentajat näkevät suoraan urheilijan suorituksesta tarvittavat kehityskohteet ja vahvuudet, mutta kaikki valmentajat tarvitsevat ja käyttävät teknologian tarjoamia apuvälineitä ja menetelmiä tekniikka-analyyseissään. Valmentajien kaikkein tärkeimmät apuvälineet urheilijoiden suoritustekniikoiden analysoinnissa ja kehittämisessä ovat suoritustekniikoiden videointi ja nykyaikaiset videomateriaalien analysointiohjelmat. Tekniikan analysoinnissa on tärkeää keskittyä kilpailunomaisiin suorituksiin eli niitä tulisi tehdä kilpailu- tai maksimivauhdeissa tapahtuvissa suorituksissa. Maastohiihtokilpailuista on tehty väliaika-analyysejä, joissa kilpailureitti on jaettu maaston mukaan määriteltyihin sektoreihin ja kaikilta sektoreilta on tallennettu kilpailijoiden väliajat (mm. Leppävuori ym. 1989). Väliaikojen lisäksi kilpailuanalyyseissä voidaan hyödyntää videokuvaa jolloin voidaan analysoida mikä tekniikka on ollut käytetyin tai nopein kussakin maastonkohdassa sekä selvittää ovatko suksien luistoerot mahdollisesti vaikuttaneet kyseisen kilpailun lopputuloksiin. Edellä mainittujen menetelmien lisäksi tekniikoiden analysoinneissa käytettyjä perinteisiä menetelmiä ovat erilaisten kinemaattisten muuttujien kuten syklinpituuden, hiihtofrekvenssin ja hiihtonopeuksien mittaamiset ja varsinkin laboratorio-olosuhteissa suoritettujen hiihtäjän tuottamien voimien mittaamiset. Teknologian kehittyminen on mahdollistanut myös uusien menetelmien soveltamisen maastohiihdossa. Erilaisten 2D/3D-kiihtyvyyssantureiden ja gyroskooppien, satelliittipaikannusjärjestelmien (GPS ja GNSS) ja mobiilisovellusten hyödyntäminen ovat yleistyneet valmentajien ja tutkijoiden työssä.

4.1 Maastohiihdon kilpailuanalyysit

Parasta ja autenttisinta informaatiota urheilijoiden suorituksista saadaan analysoimalla kilpailusuorituksia. Maastohiihdossa on tehty tutkimuksia olympialaisista ja

maailmanmestaruuskilpailuista, joissa on tutkittu erilaisin menetelmin kuinka maailman parhaat hiihtäjät tekevät tulosta kilpailusuorituksissa (mm. Leppävuori ym. 1989; Gregory ym. 1994; Smith & Heagy 1994). Yleensä kilpailuanalyysit rajoittuvat videoinnin ja erilaisten väliaika-analyysien ja sektoriaikojen hyödyntämiseen, koska kilpailuissa ei urheilijoille luonnollisestikaan voida laittaa mittalaitteita heidän ylleen kilpailujen aikana. Tosin yksittäisissä maailmancupin kilpailuissa on ollut järjestäjien määräyksestä käytössä kaikilla kilpailijoilla GPS vastaanottimet, joita voitaisiin moderneissa kilpailuanalyyseissä hyödyntää.

4.2 Maastohiihdon väliaika-analyysit

Suomen hiihtoliitto on tehnyt kilpailuanalyysejä vuoden 1978 Lahden maailmanmestaruuskisoista lähtien. Edellä mainittujen kilpailujen lisäksi tehtiin väliaikatutkimukset pienemmässä mittakaavassa Oberstdorfin MM-kisoissa (1987) ja Calgaryn olympialaisissa (1988). Kaikkein kattavimmat analyysit hiihtoliitto teki vuoden 1989 Lahden MM-kisoista, joista saatiin arvokasta vertailudataa maastohiihdon evoluutiosta vuosina 1978 ja 1989 sekä erittäin arvokasta tietoa eri maiden joukkueiden onnistumisista ja vahvuuksista eri kilpailujen aikana. Lahdessa jaettiin kilparadat maastonmuotojen mukaan eri väliaikasektoreihin, jotta saatiin informaatiota urheilijoiden ja eri maiden vahvuuksista kyseisissä maastonkohdissa. Kattava väliaika-analyysi tehtiin naisten perinteisen 10 km:n ja 15 km:n sekä vapaan hiihtotekniikan 10 km:n, ja miesten perinteisen 15 km:n ja 30 km:n sekä vapaan hiihtotekniikan 10 km:n kilpailuista. Lisäksi Suomen huoltoryhmä asensi nopeuskennot kilparadan alkuosan vauhdikkaaseen laskuun saadakseen tietoa joukkueiden erilaisista luisto-ominaisuuksista. Tehtyjen analyysien perusteella eri kilpailuissa ratkaisevat maastonkohdat vaihtelivat – Miesten 30 km:n kilpailu ratkesi nousuosuuksilla, mutta lyhyemmissä perinteisen hiihtotekniikan kilpailuissa nousujen lisäksi olivat tasaiset ja loivat osuudet lopputulosten kannalta merkityksellisiä. Vapaan kilpailuissa suurimmat erot tehtiin jyrkissä ylämäissä. (Leppävuori ym. 1989)

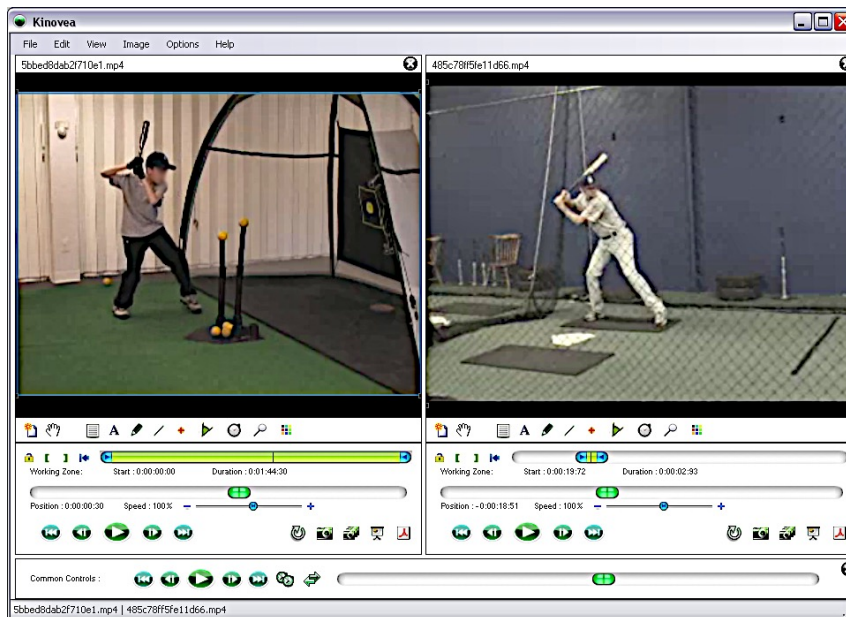
Suomen hiihtomaajoukkue tekee nykyisin väliaika-analyysjä omaan käyttöönsä kaikista maailmancupin distanssikilpailuista, koska nykyaikainen teknologia (esim. tabletit, Webscorer-väliaikaohjelma, Webscorer Inc., USA) ja kilpalatujen yhden kierroksen pituuksien lyheneminen mahdollistavat sen ilman, että niihin tarvitsee käyttää liikaa resursseja.

Kestävyyssurheilussa yli kahden minuutin kestävässä suorituksissa on todettu tasaisen vauhdinjaon olevan optimaalinen (Abbiss & Laursen 2008). Kuitenkin maastohiihdon väliaikalähtökilpailuissa kilpailijoiden on kuitenkin raportoitu noudattavan positiivista vauhdinjako, jossa kilpailijan vauhti hidastuu hieman kilpailun edetessä (mm. Losnegard ym. 2016a; Andersson ym. 2016). Nopeimpien maastohiitäjien nopeuden on todettu hidastuvan vähemmän kilpailun aikana verrattuna hitaampiin hiihtäjiin (Losnegard ym. 2016a). Lisäksi Carlsson ym. (2015) raportoivat, että positiivisessa vauhdinjaossa kilpailijoiden nopeus hidastui kilpailun jälkimmäisellä puoliskolla varsinkin nousuosuuksilla, mistä johtuen suurikokoisilla maastohiitäjillä positiivinen vauhdinjako on selkeämpi kuin pienikokoisilla maastohiitäjillä.

4.3 Videoanalyysit urheilusuorituksissa

Suoritustekniikoiden kuvaaminen ja analysointi sekä palautteen antaminen urheilijalle ovat valmentajan tärkeimpiä menetelmiä kehitettäessä urheilijan tekniikkaa. Urheilijalle on ensiarvoisen tärkeää itse nähdä oma suorituksensa, jotta hän pystyisi parantamaan omaa tekniikkaansa. Valmentajan tehtävä on löytää urheilijan kehityskohdat, jotka käydään läpi yhdessä urheilijan kanssa (Mikkola 2009b). Varsinkin urheilijoille, joiden visuaalinen oppimiskanava on vallitseva on erittäin hyödyllistä verrata omia suorituksiaan parempien hiihtäjien vastaaviin sorituksiin ja löytää sieltä toimintamalleja omien suoritusten kehittämiseen. Mitä paremmasta urheilijasta on kysymys, niin sitä pienempiin yksityiskohtiin videoanalyyseissä keskitytään jolloin tärkeitä apuvälineitä ovat suorituksen jakaminen eri vaiheisiin jopa syklin sisällä ja pysäytyskuvien käyttö. Kuvista 1, 2 ja 5 voidaan havaita pysäytyskuvasarjojen käytännöllisyys kun tarkastellaan eri tekniikoita.

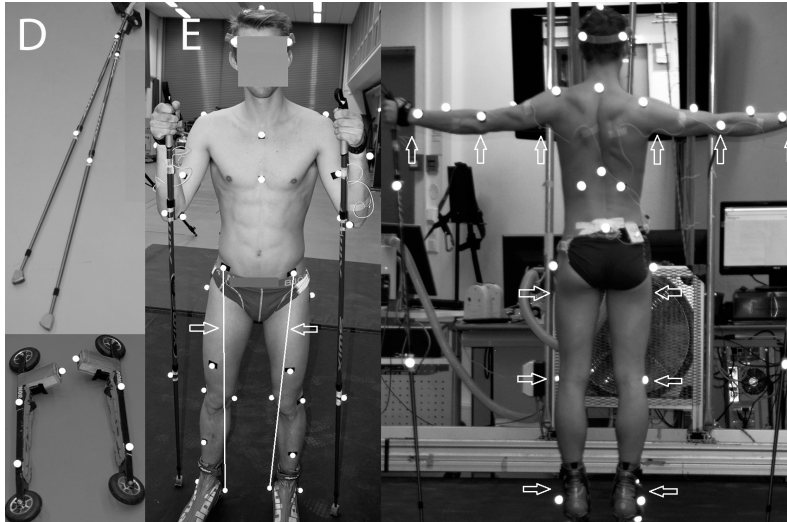
Valmentajien ja urheilijoiden välisen käytännön työn helpottamiseksi on kehitetty nykyaikaisia mobiilisovelluksia kuten Coach's Eye (TechSmith Corporation, USA), joka on suunniteltu mahdollisimman helpoksi käyttää ja soveltuu erinomaisesti urheilijoiden tekniikoiden analysointiin välittömästi harjoitusten yhteydessä tai myöhemmin harjoituksen jälkeen. Harjoitusten jälkeisiin analysointeihin on kehitetty myös erilaisia analysointiohjelmia kuten mm. Kinovea (Kinovea Org., Ranska) ja Dartfish (Dartfish Ltd., Sveitsi). Näiden analysointiohjelmien avulla voidaan kuvatuista videomateriaaleista tehdä tehokkaasti perusteellisia videoanalyyskejä hyödyntämällä niiden monipuolisia toimintoja kuten piirto-ominaisuuksia, kulmalaskureita ja useamman videomateriaalin synkronoituja vertailuja. Kuvassa 13 on esitetty esimerkki kahden eri videon synkronoidusta vertailusta Kinovea-ohjelmassa.



KUVA 13. Kahden videomateriaalin vertailu Kinovea-ohjelmassa (<http://www.kinovea.org/> 2016).

Todelliseen tutkimuskäyttöön laboratorio-olosuhteissa on kehitetty erittäin tehokkaita liikeanalyysisovelluksia kuten esimerkiksi Vicon (Vicon Motion Systems Ltd., UK), joiden avulla tuotetut liikkeet voidaan mallintaa tietokoneelle ja tehdä niistä tarpeen mukaan

erittäin tarkkoja 2D- tai 3D-liikeanalyysijä. Niitä käytettäessä videointia ja liikeanalyysiä tehostetaan erilaisten heijastinteippien eli markkereiden käytöllä liikettä suorittavan koehenkilön kehon eri osissa ja välineissä kuvan 14 osoittamalla tavalla.



KUVA 14. Liikeanalyysissä käytettävät markkerit hiihtäjään ja hänen käyttämiin välineisiin kiinnitettyinä (Myklebust ym. 2015).

Albertvillen olympialaisten maastohiihdon naisten 30 km:n ja miesten 50 km:n vapaan tekniikan kilpailuista tehtiin tutkimukseen valituissa maastonkohdissa kattavat kinemaattiset analyysit kilpailijoiden suorituksista. Kummankin kilpailun tutkimustulokset tukevat edellä mainittujen tutkimusten tuloksia pidemmän syklinpituuden positiivisesta korrelaatiosta kilpailuvauhdin kanssa hiihtofrekvenssin pysyessä samana. Syklinpituuksien ja hiihtofrekvenssien lisäksi videokuvista analysoitiin kyynärnivelen ja polvinivelen kulmia ja todettiin, että nopeilla hiihtäjillä oli enemmän fleksiota tarkastelluissa nivelissä, millä uskottiin olevan yhteys heidän pitempään syklinpituuteen paremman voimantuoton kautta. (Gregory ym. 1994; Smith & Heagy 1994)

Bilodeau ym (1996) tutkivat Kanadan mestaruuskilpailuihin osallistuneiden mieshiihtäjien kinemaattisia muuttujia (syklinpituus, hiihtofrekvenssi ja hiihtonopeus), joita tarkasteltiin

kaltevuudeltaan seitsemän asteen ylämäessä (V1-tekniikka) ja tasaisella osuudella (V2A-tekniikka). Vapaalla hiihtotekniikalla hiihdetyn 30 km:n kilpailun lopputulokset korreloivat erittäin merkittävästi tutkitun ylämäen nopeuksien kanssa ja lopputulokset olisivat olleet ennustettavissa lähes täysin niiden perusteella. Myös tasaisella nopeiden hiihtäjien nopeudet korreloivat lopputulosten kanssa, mutta ei niin vahvasti kuin videoidun ylämäen nopeuksien kanssa. Perinteisellä hiihtotekniikalla hiihdetyn 50 km:n kilpailussa hyvin sijoittuneet kilpailijat olivat tasaisesti kaikilla kuvauspaikoilla nopeita ja kierrosten ($N = 4$) välisissä vertailuissa heidän nopeutensa laski kilpailun edetessä vähemmän kuin kilpailussa heikommin sijoittuneilla kilpailijoilla. Kummassakin kilpailussa todettiin, että paremmin sijoittuneet kilpailijat kykenevät hiihtämään pidemmällä syklinpituudella kuin heikommin sijoittuneet kilpailijat. Kuvassa 15 on esimerkki Norjan vuoden 2016 mestaruuskilpailujen miesten 15 km:n perinteisen hiihtotekniikan kilpailun videoinnin järjestelyistä (Welde ym. 2017).



KUVA 15. Kilparadan videointialueen maastomerkinät (Welde ym. 2017).

4.4 Nopeuden mittaaminen maastohiihdossa

Hiihtonopeuksien mittaaminen on perinteisesti suoritettu kelloilla ja laskettu hiihtoaajoista hiihtäjien nopeudet, kun kuljettu matka on tunnettu. Lisäksi nopeuksien mittaamiseen on käytetty laskuosuuksien kovissa vauhdeissa erilaisia mittauskennoja, kun huollon luistotesteissä on mitattu eri välineillä ja voiteilla saavutettuja nopeuksia (mm. Leppävuori ym. 1989). Kuvan 16 hiihtäjällä on kiinnitetty jalkaan mittalaite, joka tunnistaa ladun varteen asennetut sensorit.



KUVA 16. SKI SPEED (Tieto-Oskari Oy, Suomi) suksen luiston mittalaite käytössä (<http://www.tieto-oskari.com/tuotteet/skispeed>).

Digitaalisilla kameroilla voidaan määrittää nopeudet suoraan kun tunnetaan kuljettu matka ja tiedetään kameran näytteenottotaajuus FPS eli montako kuvaa sekunnissa kamera ottaa. Nykyisin nopeuksien mittaamisessa on kuitenkin yleistynyt GPS-järjestelmän

hyödyntäminen, jolloin saadaan tietoa urheilijan hetkellisistä nopeuksista (Andersson ym 2010).

4.5 Reaaliaikainen palautejärjestelmä - Coachtech

Jyväskylän yliopiston liikuntateknologian yksikössä Vuokatissa on kehitetty vuodesta 2011 alkaen valmentajien ja urheilijoiden käyttöön palautejärjestelmä nimeltään Coachtech. Coachtech on järjestelmä, josta saadaan reaaliaikaisesti näytölle synkronisoitua informaatiota eri analogisten signaalien ja laadukkaan videon muodossa. Coachtechin analogiset input-signaalit muutetaan pienikokoisissa nodeissa (WN) digitaalisiksi ja lähetetään langattomassa lähiverkossa analysointisovelluksen käyttöön. Reaaliaikaisuuden vuoksi Coachtech on oiva järjestelmä tekniikan seurantaan, koska sen tuotokset voidaan tallentaa pilvipalveluihin myöhempää tarkastelua ja vertailuja varten. (Ohtonen ym. 2015)

Coachtechin ensimmäiset sovellukset ovat erikoisvalmisteisella urheilumatolla suoritetun rullahiihdon ja mäkihypyn ponnistusvaiheen analysointi. Kuvassa 17 koehenkilö suorittaa mäkihypyn ponnistusta ja Coachtech palautejärjestelmän videokuvan ja ponnistusdatan synkronoitu palaute on nähtävissä järjestelmään integroiduilta näytöiltä.



KUVA 17. Coachtechin mäkihyppysovellus.

Näytöllä voidaan tarkastella yksittäistä suoritusta eri suunnista tai vertailla kahta eri suoritusta täysin synkronoituna videon ja mitattujen suureiden suhteen. Niitä voidaan tarkastella reaalinopeudella, hidastettuna tai kuva kerrallaan. Vaikka järjestelmää on kehitetty Vuokatissa vastaamaan hiihdon ja mäkihypyn tarpeisiin, niin se on siirrettävissä monien muidenkin lajien, kuten esimerkiksi yleisurheilun, hyödynnettäväksi. (Ohtonen ym. 2015).

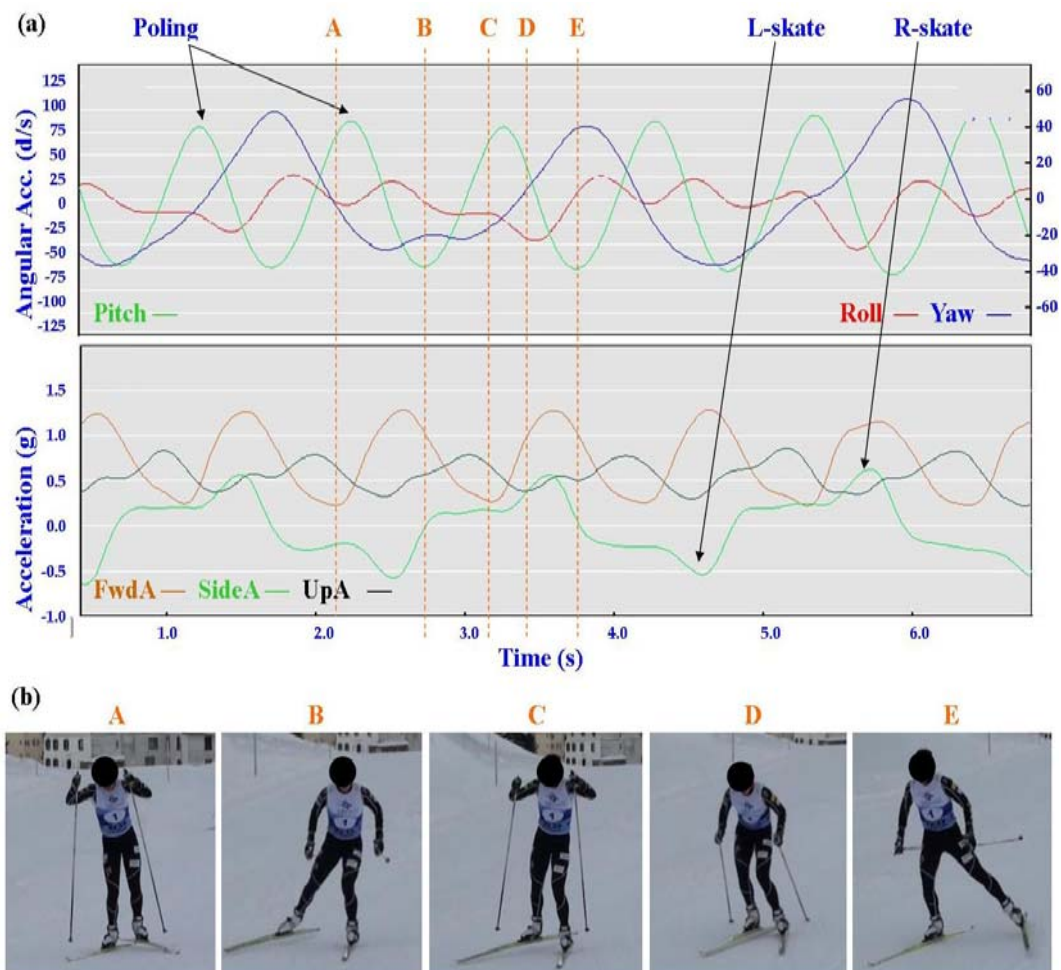
Coachtech on erinomainen järjestelmä juoksun tai rullahiihdon suoritustekniikoiden analysointiin juoksumatolla, koska urheilija pysyy siinä ulkopuolelta katsottuna paikallaan tehdessään työtä, joten hän pysyy kiinteässä kuvaussektorissa koko suorituksen ajan. Lisäksi urheilijan etupuolelle on asennettu näytöt, joista hän näkee oman suorituksensa reaaliaikaisesti kahdesta eri kuvakulmasta. Laboratorio-olosuhteissa on tehty useita tutkimuksia rullahiihdon kinematiikasta, mutta niissä ei ole ollut läsnä Coachtechin kaltaista reaaliaikaisuutta (mm. Holmberg ym. 2005; Stöggl ym. 2006; Leirdal ym. 2013).

4.6 Kiihtyvyyssantureiden ja gyroskooppien käyttö maastohiihdon tutkimisessa

Teknologia kehittyy huimaa vauhtia ja uuden sukupolven tutkimusmenetelmien käyttö nykyaikaisten inertiamittausyksiköiden (IMU) hyödyntäminen maastohiihdon tutkimisessa on yleistynyt. IMU-moduulit sisältävät GPS-laitteiden, kiihtyvyyssantureiden ja gyroskooppien yhdistelmiä ja yhdessä erilaisten mobiilisovellusten kanssa niiden avulla voidaan tehdä myös uudenlaista tutkimusta maastohiihdossa (Stöggl ym. 2014). Kiihtyvyyssantureita käytettiin kuitenkin jo ennen vuosituhannen vaihdetta kun tutkittiin lantion kuormitusta kävelyssä, juoksussa ja hiihdossa ihmisillä, joille oli vaihdettu keinotekoinen lonkkanivel (Van den Bogert ym. 1999). Sittenkin tekniikkatutkimuksissa ja liikeanalyysissä on käytetty IMU-moduuleita apuna useissa tutkimuksissa kun on haluttu tutkia maastohiihtäjien liikeratoja ja haluttu tunnistaa maastohiihtotekniikoita automaattisesti niiden tuottaman datan perusteella (mm. Marsland ym. 2012; Myklebust ym.

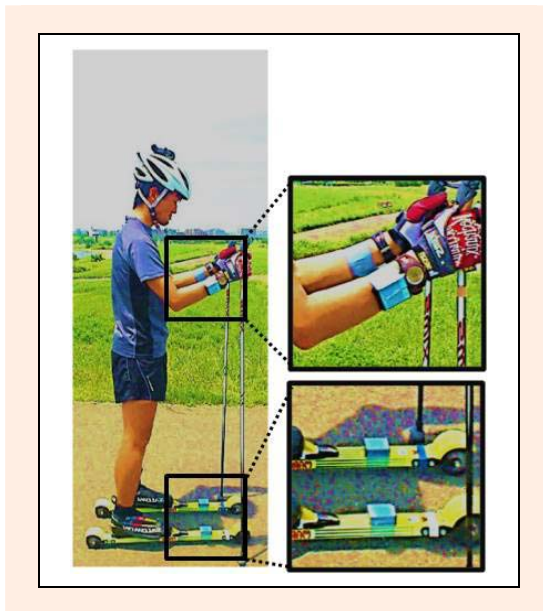
2014; Sakurai ym. 2014 ja 2016). Maastohiihdossa toistuvat jatkuvasti samat sykliset liikeradat, joten se lajina soveltuu hyvin tämän tyyppiin tutkimuksiin.

Marsland ym. (2012) tutkivat inertiamittausyksiköiden potentiaalia ilmaista maastohiihdon eri osatekniikoiden liikeratoja. Toistuvien liikeratojen mittauksia varten he kiinnittivät koehenkilöiden yläselkään IMU-moduulin, jossa oli kiihtyvyyssanturi, gyroskooppi ja GPS-vastaanotin. He onnistuivat määrittelemään toistuvat jaksolliset mallit kolmelle perinteiselle ja neljälle luistelutekniikan osatekniikoille. Kuvassa 18 on esitetty havainnollisesti IMU-moduulin tuottamat ominaiskäyrät V2-tekniikassa.



KUVA 18. (a) V2 tekniikan gyroskoopin ja kiihtyvyyssanturin käyrät ajan funktiona; (b) vartalon asennot valituissa pisteissä (Marsland ym. 2012).

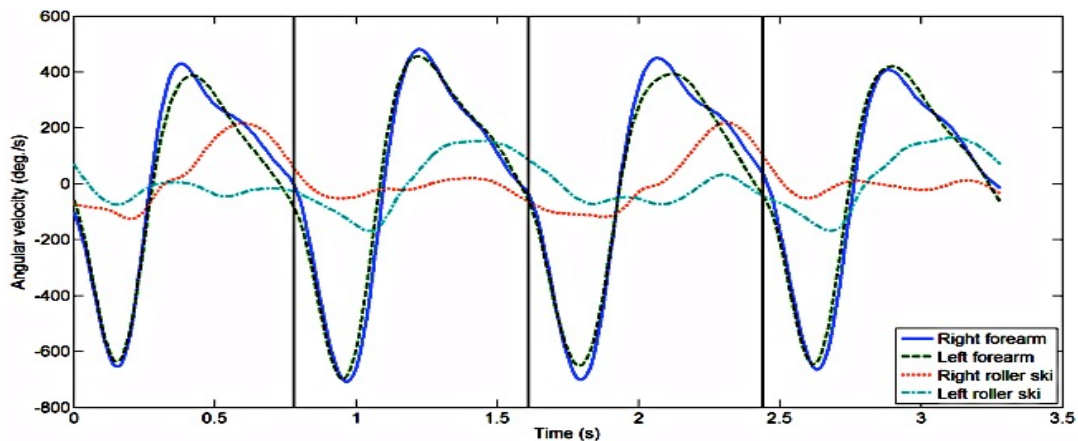
Sakurai ym. (2014 ja 2106) tutkivat IMU-moduulien ja satelliittipaikannusjärjestelmän (GNSS) avulla kuinka voitaisiin tunnistaa automaattisesti perinteisen ja vapaan osatekniikat hiihtäjän suorittamien liikkeiden perusteella. He analysoivat MATLAB -ohjelmaan (Mathworks Inc., USA) implementoidun analysointiohjelman avulla rakentamansa systeemin kykyä tunnistaa eri osatekniikat ja perinteisen hiihtotekniikoiden tunnistuksessa he pääsivät jopa 98.5 %:n tarkkuuteen. Virheet tunnistuksessa syntyivät enimmäkseen liikkeelle lähdöissä, laskujen aikana käsien liikkeiden virheellisistä tulkinnoista ja eri tekniikan vaihtojen kohdalla (Sakurai ym 2014). Luonnollisesti tasatyönnössä onnistumisprosentti oli paras johtuen sen liikeratojen luonteesta, kun siinä ei jaloilla tehdä potkua lainkaan. Kuitenkin tutkimusten mukaan jalkojen tehokas käyttö on tärkeässä osassa tasatyönnön biomekaniikassa (Holmberg ym. 2006). Kuvassa 19 on kuvattu sensoreiden paikat käsissä ja rullasuksissa.



KUVA 19. Kiihtyvyyssantureiden sijainti ranteissa ja rullasuksissa (Sakurai ym. 2014).

Saman tutkimusryhmän vapaan eri osatekniikoiden tunnistamiseen keskittyneessä tutkimuksessa päästiin 94,8 %:n kokonaistarkkuuteen. Parhaiten pystyttiin tunnistamaan

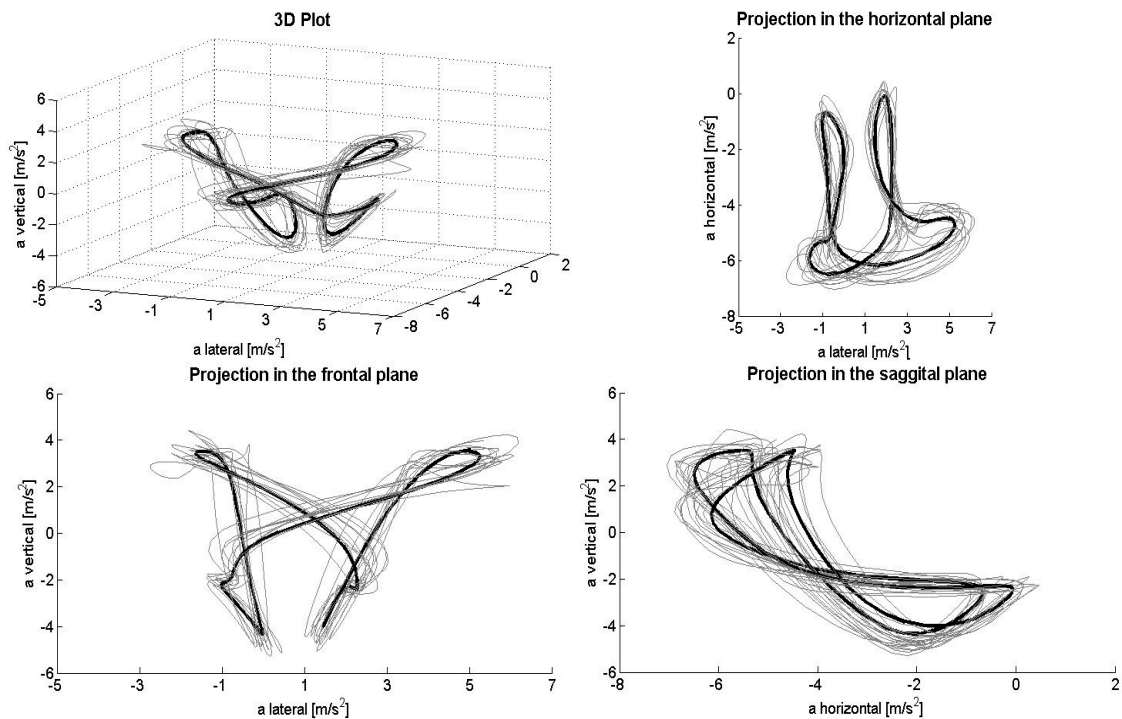
symmetrinen V2-tekniikka, jossa päästiin keskimäärin 97,7 %:n tarkkuuteen. Eniten tunnistamisvirheitä syntyi osatekniikoiden vaihtokohdissa ja käänöksissä, ja kaikista tunnistusvirheistä syntyi 54 % käänösten askellusten aikana. Kuvassa 20 on esitetty V2-tekniikan kyynärvarsien ja rullasuksien kulmanopeudet, minkä perusteella piirrettyjen käyrien perusteella kukin tekniikka voidaan tunnistaa. (Sakurai ym. 2016)



KUVA 20. Kyynärvarsien ja rullasuksien kulmanopeudet V2-tekniikassa sagittaalitasossa. Mustat pystyviivat kuvaavat syklien alkukohtia. (Sakurai ym. 2016)

Nykyaikaiset älypuhelimet sisältävät myös kiihtyvyyssantureita ja niiden kykyä ilmaista luisteluhiihdon eri osatekniikoita on myös tutkittu maastohiihdossa. Stöggli ym. (2014) tekemässä tutkimuksessa urheilijat kuljettivat mukanaan IMU-moduuleja sisältäviä älypuhelimia, joiden keräämää dataa verrattiin laboratorio-olosuhteissa hiihdettyyn videoituun informaatioon eri osatekniikoissa. Kerätyn datan perusteella päästiin kyseisellä mobiilisovelluksella $86,0 \pm 8,9$ %:n tarkkuuteen eri osatekniikoiden tunnistamisessa. Tekniikoiden tunnistamisessa syntyneet virheet liittyivät pääsääntöisesti eri osatekniikoiden välisiin vaihtoihin. Algoritmi pystyi lähes 100 %:n tarkkuuteen kun tekniikkaa ei vaihdeltu, joten sen kehityskohteet liittyvätkin jatkossa tekniikan vaihtojen ympärillä tapahtuvien

asioiden oikein ilmaisemiseen. Esitelty älypuhelimien tekniikkaan perustuva analysointimenetelmä ja erilaiset mobiilisovellukset tulevat helpottamaan valmentajien työtä urheilijoiden tekniikoita tarkastellessa, koska helppokäyttöiset älypuhelimet ovat keveitä ja kaikkialla yleisesti käytössä. Kuvassa 21 on esimerkki tutkitun mobiilisovelluksen tuottamasta V2-datasta.



KUVA 21. Kiihtyvyyssanturin dataa V2 tekniikassa. Ylhäällä vasemmalla on esitetty 3D-data, ylhäällä oikealla horisontaalitaso, alhaalla vasemmalla frontaalitaso ja alhaalla oikealla sagittaalitaso. (Stöggl ym. 2014)

Useat IMU-moduulit sisältävät GPS-vastaanottimen, joten teoriassa niillä voidaan tutkia synkronoidusti urheilijoiden hetkellisiä nopeuksia ja tunnistaa heidän käyttämänsä osatekniikat kussakin maastonkohdassa. Lisäksi niiden avulla voidaan tutkia hiihdetyn reitin profiilia, koska GPS-moduuleista saadaan myös hetkellinen korkeustieto tallennettua (Andersson ym. 2010).

IMU-moduulien avulla on tutkittu myös massakeskipisteen käyttäytymistä eri tekniikoissa. Myklebust ym. (2015) suorittaman tutkimuksen mukaan IMU-moduulit soveltuvat hiihdon ajoitusten ja rytmin tutkimiseen sekä eri osatekniikoiden tunnistamiseen datan perusteella, mutta ne ovat erittäin herkkiä virheille massakeskipisteen ilmaisussa. Niiden avulla kyettiin estimoimaan massakeskipisteen sivuittaisliike riittävän tarkasti, mutta vertikaalisessa ja anteroposterior suunnassa suuret systemaattiset virheet häiritsivät massakeskipisteen estimointia merkittävästi.

Edellä mainitut teknologian tarjoamat laitteet ja menetelmät ovat nykyisin valmentajien ja tutkijoiden käytössä, kun he analysoivat ja kehittävät urheilijoiden suoritustekniikoita. Käytännöllisenä jatkokehityksenä edellä mainittujen tutkimusten data voidaan tallentaa reaaliaikaisesti tai ladata harjoitusten jälkeen pilvipalveluun, jossa data on harjoitusten jälkeen valmentajien tai jopa kokonaisen tutkijaryhmän käytettävissä paikasta riippumatta. Tekniikka-analyysejä tehdään kuitenkin jatkossakin perinteisillä menetelmillä ja niitä voidaan yhdistää uusiin teknologioihin perustuvien menetelmien kanssa. Ilman osaavia valmentajia ja tutkijoita ei uusista teknologioista saada kuitenkaan hyödynnettyä niiden kaikkea potentiaalia, joten heidän tulee etsiä jatkuvasti yhdessä uusien teknologioiden kehittäjien kanssa uusia ja parempia menetelmiä urheilijoiden suoritustekniikoiden kehittämiseksi.

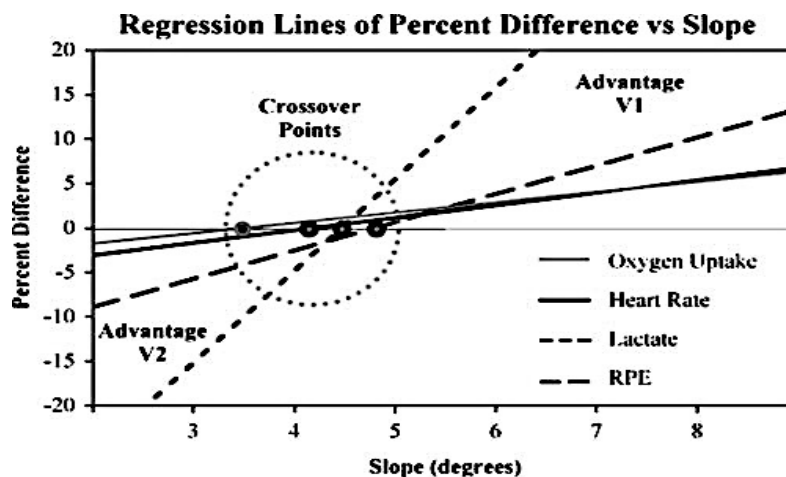
5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSASETELMA

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia kilpailuanalyysin avulla eliittihiihtäjien vauhdinjakoa ja heidän suorittamiensa tekniikanvaihtojen skenaarioita valituissa maastonkohdissa sekä niiden vaikutusta heidän kilpailutuloksiinsa vapaan hiihtotekniikan väliaikalähtökilpailussa. Tutkimuksen kohteiksi valittiin vuonna 2015 Rukalla järjestetyt naisten 5 km:n ja miesten 10 km:n maailmancupin kilpailut.

Tutkimus muodostui kahdesta eri osiosta eli väliaika-analyysistä ja videoanalyysistä. Väliaika-analyysin avulla pyrittiin selvittämään tilastollisia menetelmiä käyttäen kilpailijoiden vauhdinjakoa ja kilpailun lopputuloksen kannalta merkityksellisimmät maastonkohdat kilparadalla. Vastaavanlainen tutkimus on tehty jo Lahden maailmanmestaruuskilpailuissa vuonna 1989, kun Suomen hiihtoliitto halusi tutkia kotikilpailujen ratkaisukohdat ja eri joukkueiden suorituksia eri kilpailuissa (Leppävuori ym. 1989). Lahdessa tehtyjen kilpailuanalyysien tulosten mukaan naisten ja miesten vapaan hiihtotekniikalla hiihdettyjen 10 km:n kilpailuissa suurimmat erot tehtiin jyrkissä ylämäissä (Leppävuori ym. 1989).

Videoanalyysissä tutkittiin valituissa kuvauspaikoissa eliittihiihtäjien suorittamien tekniikanvaihtojen sijaintia, hiihtofrekvenssiä, syklinpituuksia sekä hiihtonopeuksia valituilla tarkastelualueilla. Andersson ym. (2010) totesivat sprinttihiihdon aika-ajoa simuloivassa tutkimuksessaan, että nopeammat maastohiihtäjät käyttävät enemmän V2-tekniikkaa kuin hitaammat maastohiihtäjät. Toisaalta luisteluhiihdon alkuvuosien merkittävässä tutkimuksessa Boulay ym. (1995) tutkivat erilaisten luistelutekniikoiden maksinopeuksia kaltevuuksiltaan erilaisissa ylämäissä havaiten V1-tekniikan olevan nopein etenemistapa jyrkissä ylämäissä, mutta loivissa ylämäissä eroa ei maksimivauhdeissa havaittu. Tässä tutkimuksessa haluttiin tutkia maailman parhaiden maastohiihtäjien vastaavia muuttujia distanssikilpailun aikana, mikä toivottavasti valaisisi tekniikanvaihtojen merkitystä kilpailun aikana tutkituissa maastonkohdissa.

Toteutetun tutkimuksen kannalta mielenkiintoisia maastonkohtia olivat nousujen alut ja nousujen loput, joihin videoanalyysin kuvauspaikat sijoitettiin. Nousujen alkuun sijoitetuissa kuvauspaikoissa tutkittiin tekniikan vaihtoa V2 \Rightarrow V1 ja nousujen päälle sijoitetuissa kuvauspaikoissa tutkittiin tekniikan vaihtoa V1 \Rightarrow V2. Tutkimuksessa kerätty tutkimusdata käsittää kilpailussa hiihdetyn radan eri sektoreiden väliajat, kilpailun lopputulokset ja kilpailun aikana kuvatut kuvamateriaalit. Vastaavanlaisia tutkimuksia, joissa on videoitu kilpailutilanteessa maastohiihtäjien suorituksia tavoitteena tutkia heidän kinemaattisia muuttujia, on tehty ainakin Albervillen olympialaisissa (Gregory ym. 1994; Smith & Heagy 1994). Albervillen kilpailujen tutkimukset vahvistivat käsityksen syklinpituuden positiivisesta korrelaatiosta kilpailijoiden nopeuksien kanssa. Bilodeau ym (1996) tutkimuksien mukaan vapaalla hiihtotekniikalla hiihdetyn Kanadan mestaruuskilpailujen 30 km:n kilpailun lopputulokset korreloivat erittäin merkittävästi tutkitun ylämäen nopeuksien kanssa ja lopputulokset olisivat olleet ennustettavissa lähes täysin niiden perusteella.



KUVA 22. V1- ja V2-tekniikoiden välisten prosentuaalisten erojen regressiosuorat erilaisten ylämäkikaltevuuksien yli. Nollakohdan horisontaalisen linjan yläpuolella V1-tekniikka esiintyy edukseen ja sen alapuolella V2-tekniikan käyttö on edullisempaa. Kuvassa "Oxygen Uptake" = hapenotto, "Heart Rate" = sydämen syke, "Lactate" = laktaatti, "RPE" = koettu subjektiivinen kuormittuneisuus, "Crossover Points" = kunkin regressiosuoran tekniikan vaihtokohta. "Percent Difference" = prosentuaalinen ero ja "Slope (degrees)" = ylämäen kaltevuus asteina. (Kvamme ym. 2005)

Maailmancupin tasoisessa kilpailussa ei ole aikaisemmin tutkittu tekniikanvaihtojen merkitystä kilpailujen lopputuloksiin. Kvamme ym. (2005) kuitenkin raportoivat laboratorio-olosuhteissa rullahiihtomatolla tehdyn tutkimuksen tulosten perusteella V2-tekniikan käytön olevan epäedullista kaltevuudeltaan viiden asteen ja sitä jyrkemmissä ylämäissä. Optimaalinen tekniikan vaihtokohta ($V2 \Rightarrow V1$ ja $V1 \Rightarrow V2$) asettuu kyseisen tutkimuksen mukaan 4–5 asteen kaltevuuksiin kuten kuvan 22 regressiosuorien leikkauspisteistä V1- ja V2-tekniikoiden prosentuaalisen eron nollakohdissa on nähtävissä.

Tutkimuksen motivaatio ja hypoteesit

Maailmancupin tason kilpailuista on tehty varsin niukasti kattavia tutkimuksia, joten tutkimus päätettiin tehdä, jotta tunnettaisiin tarkasti hiihtäjien strategioita vauhdin ja tekniikkavalintojen suhteen sekä niiden vaikutusta kilpailun lopputuloksiin. Suomalaiset maajoukkuehiihtäjät ovat olleet pääsääntöisesti parempia perinteisen hiihtotekniikan kilpailuissa, joten Jyväskylän yliopistolla, Suomen Hiihtoliitolla ja kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksella (KIHU) oli selkeä motivaatio yhteistyöhön luisteluhiihdon kilpailusuorituksen perehtyvän tutkimuksen toteuttamisessa.

Tutkimuksen ensimmäinen tutkimuskohde oli naisten ja miesten kilpailuiden kattava väliaika-analyysi, jossa tutkittiin, että missä kilparadan maastonkohdissa syntyvät kilpailun lopputulosten aikaerot. Toteutettujen väliaika-analyysien hypoteesi oli, että distanssikilpailuissa hyvin sijoittuneet hiihtäjät tekevät ylämäkiosuuksilla eniten eroa heikommin sijoittuneisiin hiihtäjiin, mikä on todettu useissa maastohiihtoa käsittelevissä tutkimuksissa (Norman & Komi 1987; Norman ym. 1989; Ingjer 1991).

Tämän tutkimuksen toinen tutkimuskohde oli kilpailijoiden suorittamat tekniikanvaihdot nousuihin lähdetessä ja niiden päällä. Ylämäissä suoritettuja tekniikanvaihtoja päätettiin tutkia ajatuksella, että kilpailijoiden valitsemat tekniikanvaihtostrategiat korreloisivat vahvasti kilparadan muidenkin samankaltaisten ylämäkien hiihtonopeuksien kanssa ja siten

kuvaisivat kilpailijoiden valitsemien tekniikanvaihtostrategioiden merkitsevyyttä kilpailun lopputuloksissa. Tutkimuksen toisessa hypoteesissa oletettiin, että nopeammat maastohiitäjät vaihtavat tekniikkaa nousujen alussa ($V2 \Rightarrow V1$) myöhemmin kuin hitaammat maastohiitäjät. Vastaavasti nousujen päällä oletettiin, että nopeammat maastohiitäjät vaihtavat tekniikkaa ($V1 \Rightarrow V2$) aikaisemmin kuin hitaammat maastohiitäjät. Edellä mainittujen oletusten perusteella kilpailuissa paremmin sijoittuneet kilpailijat käyttäisivät enemmän V2-tekniikkaa videoituissa maastonkohdissa huonommin sijoittuneet kilpailijat.

Kolmas tutkimuskohde oli kilpailijoiden V1- ja V2-tekniikoiden keskeisimmät kinemaattiset muuttujat eli hiihtofrekvenssi, syklinpituudet ja kilpailijoiden nopeudet videoituissa maastonkohdissa. Kinemaattisten muuttujien hypoteesi oli, että syklinpituus on merkittävin yksittäinen kinemaattinen muuttuja, joka erottelee nopeammat kilpailijat hitaammista kilpailijoista, mikä on todettu useassa aikaisemmin tehdyssä maastohiihtoa käsittelevissä tutkimuksissa (mm. Bilodeau ym. 1992; Boulay ym. 1995; Rundell ym. 1996). Lisäksi kilpailijoiden etenemisnopeudet kuvauspaikoissa linkittyvät edelliseen tutkimuskohteeseen eli kilpailijoiden tekniikanvaihtoihin kuvauspaikoilla ja sen hypoteesiin.

6 MENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Tutkimus suoritettiin vuoden 2015 maastohiihdon Rukan maailmancupin naisten ja miesten kilpailujen yhteydessä. Koehenkilöinä toimivat kaikki eliittitason maastohiitäjät (naisten ikä $26,3 \pm 4,1$ vuotta; miesten $26,8 \pm 3,6$ vuotta), jotka osallistuivat kauden 2015–2016 Rukan maailmancupin avauskilpailuihin. Naisten 5 km vapaan hiihtotekniikan kilpailuun osallistui 85 kilpailijaa ja miesten 10 km vapaanhihtotekniikan kilpailuun osallistui 111 kilpailijaa. Kaikki molempiin kilpailuihin osallistuneet kilpailijat hihtivät maaliin saaden kilpailuista hyväksytyt tulokset.

6.2 Aineiston keräys

Tutkimuksen kohteena olleista naisten ja miesten kilpailuista väliaikalähdöillä kerättiin tarvittavat väliajat eri sektoreilta väliaika-analyysiä varten ja kuvattiin kilpailijat suunnitelluilla kuvauspaikoilla videoanalyysiä varten. Aineiston keräyksen onnistumisen varmistamiseksi toimintaa kuvauspaikoilla harjoiteltiin edellisenä päivänä kilpailtujen maailmancupin sprinttihiihdon naisten ja miesten karsintakilpailuissa.

6.2.1 Väliaika-analyysi

Rukan maailmancupin kisalatu, jonka pituus on 5 km, jaettiin väliaika-analyysin toteuttamiseksi taulukossa 1 esitettyihin yhdeksään sektoriin. Valitut sektorit määräytyivät tutkimuksen kannalta mielekkäiden erilaisten maastotyyppien mukaisesti jolloin niiden pituudet ja niissä hiihtämiseen kuluva aika vaihtelivat. Väliaika-analyysin aineiston keräyksen toteutti Suomen hiihtomaajoukkueen valmennustiimi iPad-tableteilla (Apple Inc, USA) käyttäen Webscorer-sovellusta. Lisäksi hyödynnettiin kilpailun järjestäjän virallisia

väliaikapisteitä. Liitteen 3 kuvaan on merkitty latuprofiiliin ja latukarttaan kaikki väliaika-analyysin väliaikapaikat sinisillä nuolilla.

TAULUKKO 1. Rukan kisaladun väliaika-analyysin sektorit.

	Maaston tyyppi	Sektorin pituus (m)
Sektor 1	Lasku	700
Sektor 2	Nousu	400
Sektor 3	Tasainen	480
Sektor 4	Lasku	800
Sektor 5	Vaihteleva	820
Sektor 6	Nousu	150
Sektor 7	Vaihteleva	1250
Sektor 8	Nousu	120
Sektor 9	Tasainen	280

6.2.2 Videoanalyysi

Rukan kisaladulta valittiin ennakkoon ajateltuna neljä kilpailun lopputulosten kannalta merkittävää kuvauspaikkaa, joiden tarkastelualueella todennäköisesti tapahtuisi tutkimuksenalaisia tekniikanvaihtoja. Puolet kuvauspaikoista sijoitettiin nousujen päälle (kuvauspaikat 1 ja 3: $V1 \Rightarrow V2$) ja loput kaksi kuvauspaikkaa sijoitettiin nousujen alkuun (kuvauspaikat 2 ja 4: $V2 \Rightarrow V1$). Kaikki kuvauspaikat on merkitty liitteen 3 latukarttaan ja latuprofiiliin punaisilla nuolilla. Kuvauspaikoilla 1–3 oli kisarataan merkattu maastomaalilla mitta-asteikko, jonka avulla voitiin analysoida videoista urheilijoiden eri tekniikoilla etenemiä matkoja. Kuvauspaikalla 4 hyödynnettiin stadionin nousun mainostauluja, joiden pituuksia ja mainostekstejä käytettiin mitta-asteikon muodostukseen maastomaalin sijasta. Kuva 23 havainnollistaa kuvauspaikan 3 asteikkoa.



KUVA 23. Kuvauspaikan 3 mitta-asteikkoa maastomaalilla lumeen merkittynä.

Kuvauspaikkojen mitta-asteikot oli sijoitettu niin, että kohtisuoraan kameran kohdalla oli mitta-asteikon nollaviiva, josta oli viiden metrin välein merkattu välimatkat kumpaankin suuntaan aina kuvauspaikkojen alkuihin ja loppuihin asti. Taulukossa 2 esiteltyjen kuvauspaikkojen tarkastelualueiden pituudet vaihtelivat paljon (vaihteluväli 29–55 metriä) johtuen kuvauspaikkojen erilaisuudesta ja haasteista kameroiden sijoitteluissa. Lisäksi tavoitelluissa viiden metrin resoluutioissa oli kuvauspaikkakohtaisia poikkeuksia eli täsmälleen viiden metrin asteikot toteutuivat vain kuvauspaikalla 2. Kuvauspaikkojen oleelliset ympäristömuuttujat on taulukoitu taulukoon 2, jonka ensimmäisessä sarakkeessa on esitetty kuvauspaikkojen mitta-asteikon pituudet, toisessa sarakkeessa on esitetty referenssinopeuksien laskennassa käytetyt referenssiasteikot ja kolmannessa sarakkeessa on esitetty kameroiden sijainnit kuvauspaikkojen mitta-asteikkojen alusta mitattuina.

TAULUKKO 2. Kuvauspaikkojen maastoon merkityt mitta-asteikot, a = naisten referenssiasteikon pituus, b = miesten referenssiasteikon pituus.

	Kuvauspaikan pituus (m)	Referenssinopeus-asteikon pituus (m)	Kameran sijainti asteikon alusta (m)
Kuvauspaikka 1	55	51	27,5
Kuvauspaikka 2	40	25	20
Kuvauspaikka 3	29	29	14
Kuvauspaikka 4	52,5	36 ^a ja 41,5 ^b	30

Kilpailijoiden suoritusten videointi oli toteutettu siten, että jokaisella kuvauspaikalla oli kaksi kuvaajaa, jotka toimivat yhteistyössä mahdollisimman hyvän kuvamateriaalin saamiseksi tutkimuksen aineistoksi. Jokaisella kuvauspaikalla toinen kameroista oli ensisijainen kamera, joka oli varustettu jalustalla laadukkaan videomateriaalin tuottamiseksi videoanalyysiä varten. Toissijaista jalustatonta kameraa käytettiin aina tarvittaessa kun ensisijainen kamera oli varattuna kuvaten edellisiä urheilijoita. Kameroissa määriteltiin käytettäväksi videokuvan taajuudeksi 50 kuvaa sekuntia kohti (50 FPS) ja videointi toteutettiin siten, että kamera seurasi kutakin kilpailijaa mahdollisimman kattavasti koko kuvausalueen yli. Toimintaa kuvauspaikoilla harjoiteltiin kisapäivää edeltävän maailmancupin sprinttihilhdon karsintakilpailuissa, jotta kuvaajien yhteistyö toimisi seuraavana päivänä kuvauspaikoilla saumattomasti varsinaisessa tutkimuksen kohteena olleissa kilpailussa.

6.3 Aineiston analysointi ja käytetyt tilastolliset menetelmät

Väliaika-analyysi. Kilpailun väliaika-analyysin aineisto siirrettiin Excel-ohjelmaan (Microsoft Corp., USA), jonka jälkeen tutkittiin SPSS-ohjelman (IBM Corp., Armonk, USA) avulla aineiston eri sektoreiden aikojen korrelaatioita kilpailun loppuaikojen kanssa ja vertailuryhmien välistä statistiikkaa.

Videoanalyysi. Kilpailuista otettu videomateriaali analysoitiin Kinovea ja Quicktime (Apple Inc., USA) -ohjelmia hyödyntäen. Videoista analysoitiin taulukoissa 3 ja 4 esitetyt muuttujat, jotka taulukoitiin Exceliin ja analysoitiin SPSS-ohjelman avulla.

TAULUKKO 3. Videoista analysoidut muuttujat.

	Yksikkö
Kuvausalueen nollakohta	Kehys lkm
Kuvausalueen referenssinopeuden laskennassa käytetty loppukohta	Kehys lkm
I:n tekniikan tarkastelun nollakohta	Kehys lkm
Tekniikan vaihdon ajankohta	Kehys lkm
II:n tekniikan tarkastelun loppukohta	Kehys lkm
I:n tekniikan syklit	lkm
I:llä tekniikalla edetty matka	m
Tekniikan vaihtokohta kuvauspaikan nollakohdasta katsottuna	m
II:n tekniikan syklit	lkm
II:lla tekniikalla edetty matka	m

Tekniikanvaihtokohdan lisäksi tämän tutkimuksen kohteena olleet varsinaiset kinemaattiset muuttujat, jotka on esitetty taulukossa 4, laskettiin taulukon 3 muuttujien avulla. V1-tekniikan syklit tarkasteltiin siten, että syklit katsottiin vaihtuneiksi aina työntöpuolen sauvan maakontaktista. V2-tekniikan syklit tarkasteltiin $\frac{1}{2}$ -sykliin mukaan eli jokaisesta sauvojen maakontaktista katsottiin syklit vaihtuneiksi. Kaikki tulokset on raportoitu ja pohdinnat tehty V2-tekniikan osalta juurikin $\frac{1}{2}$ -sykliin perusteella eli tämän tutkimuksen tulokset syklinpituuden osalta pitää kertoa kahdella ja hiihtofrekvenssin osalta jakaa kahdella mikäli halutaan tarkastella kokonaisia V2-syklejä. Kilpailijoiden keskinopeuksien laskemiseksi tarvittavat muuttujat määriteltiin taulukkoon 3 tarkastelemalla videomateriaalista kilpailijoiden hiihtokengän kärkeä.

Taulukossa 4 esitetty ”Kuvausalueen referenssinopeus” ilmoittaa urheilijoiden keskinopeuden kuvausalueella huomioimatta sen aikana käytettyjä etenemismuotoja. Referenssinopeutta käytettiin kilpailijoiden eri etenemisstrategioiden välisten keskinopeuksien vertailuissa ja tekniikan vaihtokohtien korrelaatioissa kuvausalueen keskinopeuksien kanssa. Lisäksi virheiden minimoimiseksi referenssinopeutta käytettiin taulukon 4 ”Molempien tekniikoiden yhteisnopeuden” oikeellisuuden tarkistamiseen, koska niiden tulisi vastata toisiaan. Kahden eri keskinopeuden määrittelyä käytettiin, koska osatekniikoiden tarkastelut täytyi aloittaa aina syklin alusta (sauvatyönnön alku) ja myös lopettaa viimeisen syklin loppuun (seuraavan sauvatyönnön alku). Tästä johtuen eri tekniikoiden tarkastelun alku- ja loppukohdat vaihtelevat eri kilpailijoiden välillä. Referenssinopeus on todennäköisesti hieman tarkempi, koska se on voitu tarkastella kiinteästä alkukohdasta ja loppukohdasta, jotka oli merkitty kuvauspaikoilla lumeen selkeästi maastomaalilla.

TAULUKKO 4. Taulukon 3 tietojen perusteella lasketut varsinaiset kinemaattiset muuttujat.

	Yksikkö
I:een tekniikkaan kulunut aika	Kehys lkm
I:n tekniikan keskinopeus	m/s
I:n tekniikan frekvenssi	1/s
I:n tekniikan syklinpituus	m
II:een tekniikkaan kulunut aika	Kehys lkm
II:n tekniikan keskinopeus	m/s
II:n tekniikan frekvenssi	1/s
II:n tekniikan syklinpituus	m
Molemmilla tekniikoilla edetty yhteismatka	m
Molempiin tekniikoihin kulunut yhteisaika	Kehys lkm
Molempien tekniikoiden yhteisnopeus	m/s
Kuvausalueen referenssinopeus	m/s

Tutkimustulosten tilastolliset käsittelyt keskittyivät tekniikan vaihtokohtien, referenssinopeuksien sekä molempien osatekniikoiden keskinopeuksien, frekvenssien ja syklinpituuksien keskiarvojen sekä korrelaatioiden vertailuihin SPSS-ohjelmalla. Korrelaatiokertoimien määrittelyissä käytettiin Pearsonin parametrillista korrelaatiokerrointa (r), mikäli tutkimusdata oli normaalisti jakautunut ja vertailuryhmien populaatio riittävän suuri ($N \geq 30$). Mikäli edellä mainitut kriteerit eivät täytyneet, niin käytettiin Spearmanin parametritonta järjestykskorrelaatiokerrointa (r_s). Toisistaan riippumattomien kahden ryhmän välisissä vertailuissa käytettiin parametrillista T-testiä, kun tutkimusdata oli normaalisti jakautunut ja ryhmien populaatiot vähintään 30 kilpailijaa. Mikäli edellä mainitut kriteerit eivät täytyneet, niin ryhmien välisissä vertailuissa käytettiin parametritonta Mann-Whitneyn testiä. Useamman kuin kahden ryhmän välisissä toisistaan riippumattomien ryhmien välisissä vertailuissa käytettiin parametritonta Kruskal-Wallis testistä, koska ryhmien populaatiot olivat pieniä (alle 30 kilpailijaa) tai tutkimusdata ei ollut normaalisti jakautunut.

Tilastollisissa ajoissa käytettiin tilastollisen merkitsevyyden luottamusvälinä 95 %:a ja tilastolliset merkitsevyydet on esitetty tuloksissa joko * = ($p < 0,05$) tai ** = ($p < 0,01$) notaatioita käyttäen. Tuloksissa on esitetty myös erittäin pienet ryhmät ja jopa yksittäisten kilpailijoiden ainoina urheilijoina valitsema strategia kuvauspaikoilla 2 ja 4.

7 TULOKSET

7.1 Naisten 5 km:n kilpailu

Kilpailun voittajan aika oli 11:23,8 ja hänen voittomarginaalinsa kilpailussa toiseksi sijoittuneeseen kilpailijaan oli 17,6 sekuntia ja kolmanneksi sijoittuneeseen kilpailijaan 25,6 sekuntia. Kilpailun loppuaikojen keskiarvo ja -hajonta olivat $12:35,2 \pm 0:30,4$ (ka \pm SD) ja mediaani 12:30,3.

7.1.1 Naisten kilpailun väliaika-analyysin tulokset

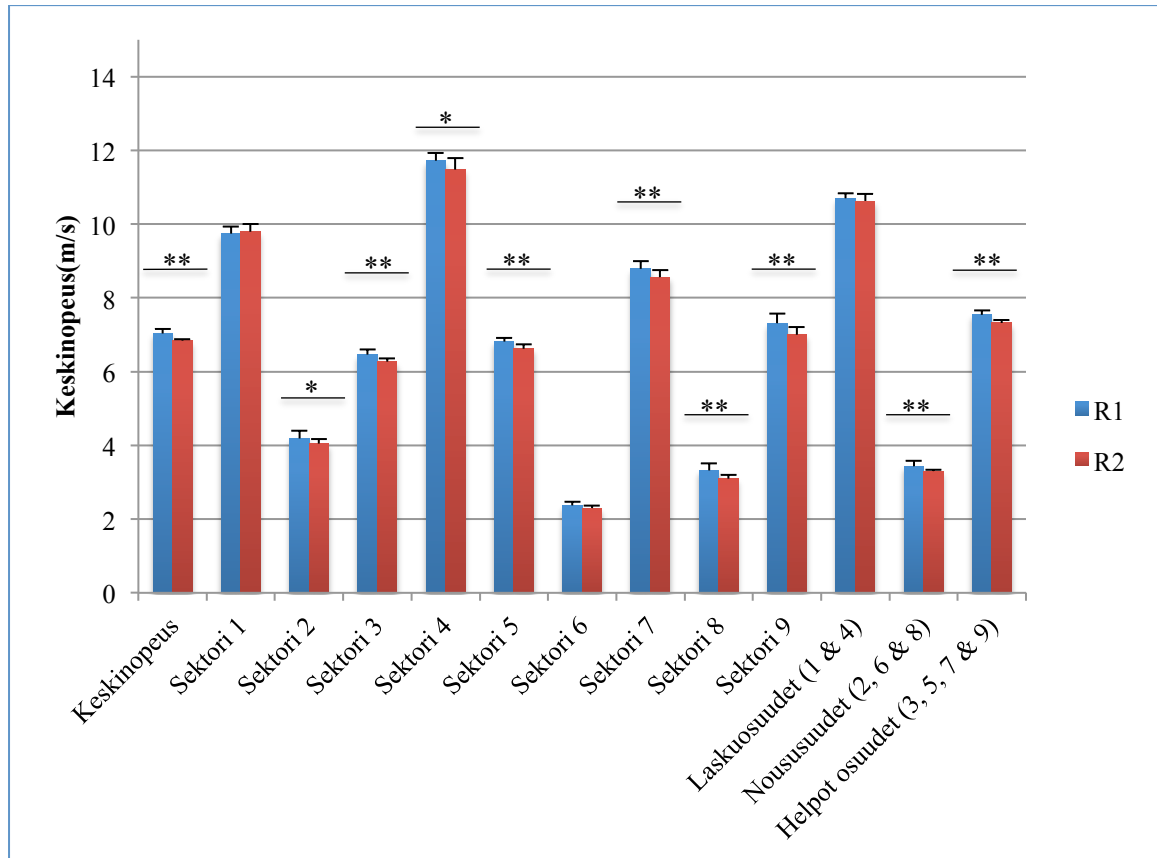
Naisten kilpailun väliaika-analyysi suoritettiin kilpailussa maailmancupin pisteille päässeiden kesken käyttäen ryhmäjakoja: R1 = kilpailun kymmenen nopeinta ja R2 = kilpailun tuloksissa sijat 11–30. Väliaika-analyysin tuottamien tarkastelunalaisten sektoriaikojen ja eri maastotyyppien kokonaisaikojen keskiarvot, -hajonnat ja korrelaatiot loppuaikojen kanssa on esitetty taulukossa 5. Tilastollisesti merkittävistä korrelaatioista suurimmat korrelaatiokertoimet kilpailun loppuaikojen kanssa oli sektoreilla viisi ($r_s = 0,704$; $p < 0,01$) ja seitsemän ($r_s = 0,657$; $p < 0,01$). Maastotyypeistä suurin korrelaatio kilpailun loppuaikojen kanssa oli tasaisilla ja vaihtelevilla osuuksilla ($r_s = 0,930$; $p < 0,01$).

Kuvassa 24 on esitetty sektoriaikojen keskinopeudet ja -hajonnat ryhmien R1 ja R2 välillä. Tilastollisesti merkittävät suurimmat prosentuaaliset erot keskinopeuksissa syntyivät nousuosuuksilla eli sektoreissa kaksi ja kahdeksan sekä maastoltaan tasaisella stadionilla eli sektorissa yhdeksän. Sektorissa kaksi ryhmän R1 kilpailijat olivat $3,5 \pm 75$ %:a nopeampia kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $4,18 \pm 0,21$ m/s; R2: $4,04 \pm 0,12$ m/s; $p < 0,05$) ja sektorissa kahdeksan ryhmän R1 kilpailijat olivat 7 ± 70 %:a nopeampia kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $3,31 \pm 0,19$ m/s; R2: $3,10 \pm 0,11$ m/s; $p < 0,01$). Sektorissa yhdeksän ryhmän R1

kilpailijat olivat $4,5 \pm 30$ %:a nopeampia kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $7,31 \pm 0,26$ m/s; R2: $7,00 \pm 0,20$ m/s; $p < 0,01$).

TAULUKKO 5. Naisten kilpailussa maailmancupin pisteille hiihtäneiden kilpailijoiden väliaika-analyysin sektoriaikojen keskiarvot ja -hajonnat sekä korrelaatiot (Spearman r_s) kilpailun loppuaikojen kanssa. Korrelaation (2-suuntainen) merkitsevyys: * = ($p < 0,05$) ** = ($p < 0,01$).

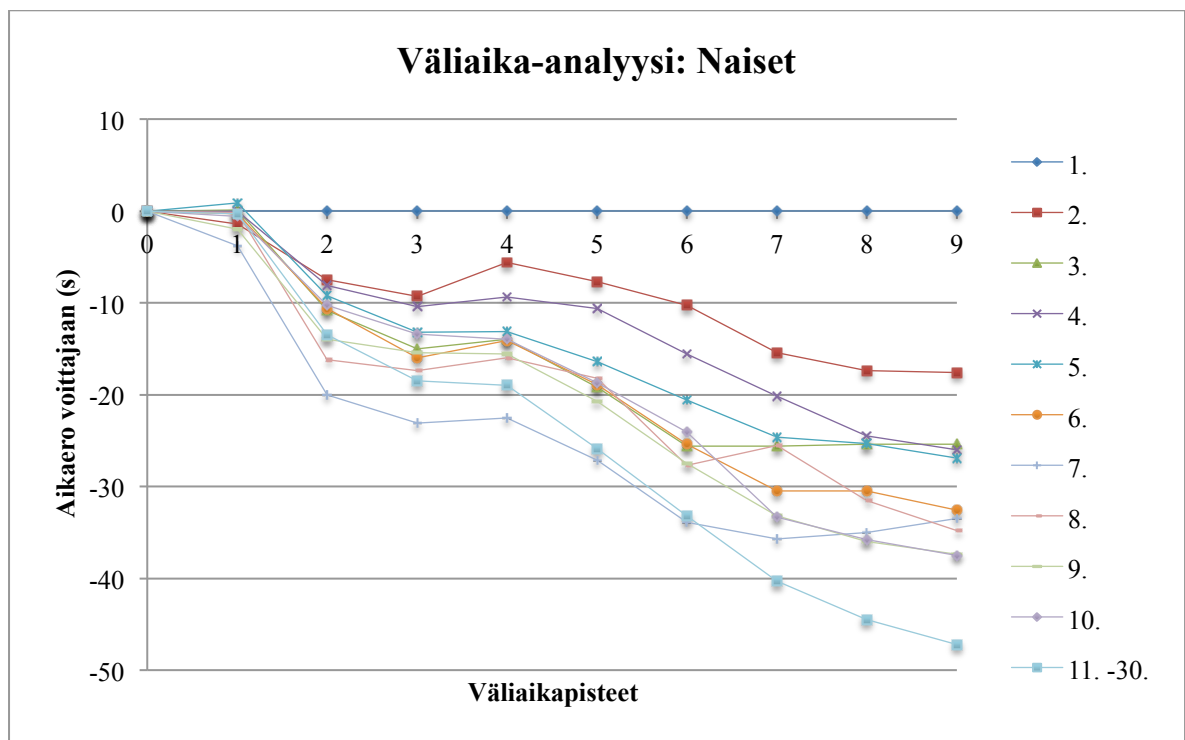
	Maastotyyppi	Keskiarvo \pm SD, N = 31	Spearmanin korrelaatiokerroin r_s
Loppuaika, 5000 m	Kaikki	12:04,5 \pm 0:12,0	1.00
Sektori 1, 700 m	Lasku	1:11,6 \pm 0:01,4	0.111
Sektori 2, 400 m	Nousu	1:38,0 \pm 0:03,9	0.453*
Sektori 3, 480 m	Tasainen	1:15,9 \pm 0:01,7	0.561**
Sektori 4, 800 m	Lasku	1:09,3 \pm 0:01,9	0.479**
Sektori 5, 820 m	Vaihteleva	2:02,8 \pm 0:02,7	0.704**
Sektori 6, 150 m	Nousu	1:04,6 \pm 0:02,2	0.312
Sektori 7, 1250 m	Vaihteleva	2:24,9 \pm 0:03,8	0.657**
Sektori 8, 120 m	Nousu	0:38,0 \pm 0:02,0	0.433*
Sektori 9, 280 m	Tasainen	0:39,5 \pm 0:01,4	0.602**
Laskuosuudet (1 & 4), 1500 m	Lasku	2:20,9 \pm 0:02,4	0.449*
Nousuosuudet (2, 6 & 8), 670 m	Nousu	3:20,6 \pm 0:06,2	0.549**
Tasaiset/vaihtelevat osuudet (3, 5, 7 & 9) 2830 m	Tasainen/vaihteleva	6:23,0 \pm 0:07,1	0.930**



KUVA 24. Vertailtujen ryhmien nopeuksien keskiarvot ja -hajonnat. Ryhmä 1 (R1): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10), Ryhmä 2 (R2): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 21). Mann-Whitney -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05), ** = (p < 0,01).

Vertailtaessa eri maastotyyppäjä löydettiin ryhmien välillä tilastollisesti merkittäviä eroja eri maastotyyppien välisissä tarkasteluissa nousuissa sekä tasaisissa ja vaihtelevissa maastonkohdissa. Ryhmän R1 kilpailijat olivat 4 ± 200 %:a nopeampia nousuosuuksilla kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $3,43 \pm 0,15$ m/s; R2: $3,30 \pm 0,05$ m/s; p < 0,01). Tasaisissa tai vaihtelevissa maastonkohdissa ryhmän R1 kilpailijat olivat 3 ± 38 %:a nopeampia kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $7,54 \pm 0,11$ m/s; R2: $7,32 \pm 0,08$ m/s; p < 0,01). Kilpailun aikana syntyneet aikaerot vertailuryhmien välillä on esitetty liitteessä 4.

Graafinen esitys maailmancupin pisteille hiihtäneiden väliaika-analyysistä on esitetty kuvassa 25, jossa voittajan väliajat on normalisoitu 0-tasolle ja muut kuvaajat kuvaavat eroa voittajaan kullakin väliaikapisteellä ja maalissa. Kuva 25 havainnollistaa kuinka kilpailun voittaja teki eniten eroa muihin kilpailijoihin heti toisen sektorin kovassa nousussa ja tasaisesti laskusuuden (sektori 4) jälkeen paria poikkeusta (kilpailun tuloksissa 3. ja 8. sijoittuneet) lukuun ottamatta.



KUVA 25. Maailmancupin pisteille hiihtäneiden naisten väliaika-analyysi. Sijat 1-10 esitetty kukin omalla kuvaajallaan ja sijat 11-30 on esitetty kyseisen ryhmän keskiarvoa kuvaavalla kuvaajalla.

7.1.2 Naisten kilpailun videoanalyysin tulokset

Kilpailun neljässä eri kuvauspaikassa kuvatuista kilpailusuorituksista hyväksyttiin videoanalyysiin 319 suoritusta, joten kilpailun 340 suorituksesta hylättiin 21 suoritusta joko analysointiin soveltumattomina tai koska kyseiset suoritukset puuttuivat kokonaan.

Videoanalyysissä on siten mukana 94 % kaikista kilpailusuorituksista. Taulukkoon 6 on taulukoitu kilpailijoiden käyttämien strategioiden mukaiset keskinopeuksien keskiarvot ja -hajonnat. Kuvauspaikasta riippuen tekniikan vaihto on joko tyyppiä $V1 \Rightarrow V2$ tai $V2 \Rightarrow V1$. Mikäli tekniikkaa ei vaihdettu lainkaan tai se ehdittiin vaihtaa ennen kyseisen kuvauspaikan tarkastelualuetta, niin tällöin strategioiden on notaatiot ovat ”Vain V1” tai ”Vain V2”.

TAULUKKO 6. Kuvauspaikkojen tarkastelualueiden keskinopeuksien keskiarvot (m/s) ja niiden keskihajonnat eri strategioita käyttäen. Kuvassa Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys: * = ($p < 0,05$) ja a = testissä verrattiin ryhmien ”V2 \Rightarrow V1” ja ”Vain V1” -ryhmien keskinopeuksia.

Strategia	Kuvauspaikka 1	Kuvauspaikka 2	Kuvauspaikka 3	Kuvauspaikka 4
V1 -> V2	3,75 ± 0,21 N = 75		2,94 ± 0,19 N = 28	
V2 -> V1		3,02 ± 0,18 N = 8		4,09 ± 0,31 N = 67
Vain V1	3,57 ± 0,35 N = 4	2,80 ± 0,25 N = 73	2,92 ± 0,19 N = 56	3,58 ± 0,55 N = 7
Vain V2				4,37 ± 0 N = 1
p -arvo, (Mann-Whitney)	0,270	0,027*	0,442	0,013* ^a

Kuvauspaikalla 1 suoritettiin videoanalyysi 79:lle kilpailijalle. Heistä vain neljä kilpailijaa ei vaihtanut tekniikkaa lainkaan kuvauspaikan tarkastelualueella eli he etenivät koko tarkastelualueen 51 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen. Ryhmän $V1 \Rightarrow V2$ keskinopeus oli 5 ± 40 %:a suurempi kuin ryhmän ”Vain V1”, mutta ryhmien välinen nopeusero ($V1 \Rightarrow V2$: $3,75 \pm 0,21$ m/s; ”Vain V1”: $3,57 \pm 0,35$ m/s) ei ollut tilastollisesti merkittävä. Testin luotettavuus kärsii huomattavasti ”Vain V1” -ryhmän pienestä populaatiosta.

Kuvauspaikalla 2 suoritettiin videoanalyysi 81:lle kilpailijalle. Heistä vain kahdeksan kilpailijaa vaihtoi tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V2-tekniikasta V1-tekniikkaan. Loput

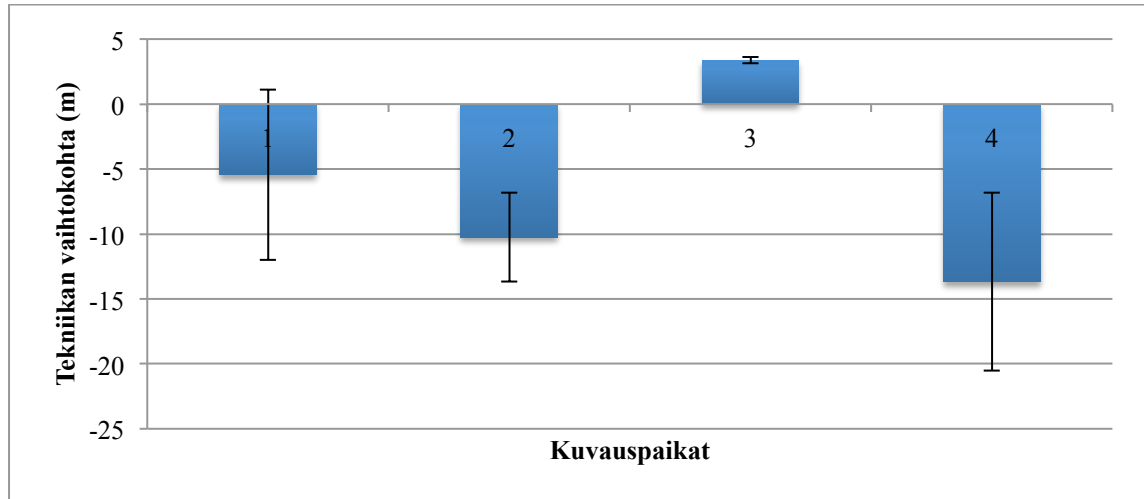
73 kilpailijaa vaihtoi tekniikkaa jo ennen kuvauspaikan tarkastelualueen alkua eli he etenivät koko tarkastelualueen 25 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen. Ryhmän V2 \Rightarrow V1 keskinopeus oli 8 ± 28 %:a suurempi kuin ryhmän ”Vain V1” ja ryhmien välinen nopeusero (V2 \Rightarrow V1: $3,02 \pm 0,18$ m/s; ”Vain V1”: $2,80 \pm 0,25$ m/s; $p < 0,05$) oli tilastollisesti merkittävä.

Kuvauspaikalla 3 suoritettiin videoanalyysi 84:lle kilpailijalle. Heistä 28 kilpailijaa vaihtoi kuvauspaikan tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V1-tekniikasta V2-tekniikkaan. Loput 56 kilpailijaa eivät vaihtaneet tekniikkaa lainkaan eli he etenivät koko tarkastelualueen 29 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen. Ryhmän V1 \Rightarrow V2 keskinopeus oli $0,7 \pm 0$ %:a suurempi kuin ryhmän ”Vain V1”, mutta ryhmien välinen nopeusero (V1 \Rightarrow V2: $2,94 \pm 0,19$ m/s; ”Vain V1”: $2,92 \pm 0,19$ m/s) ei ollut tilastollisesti merkittävä.

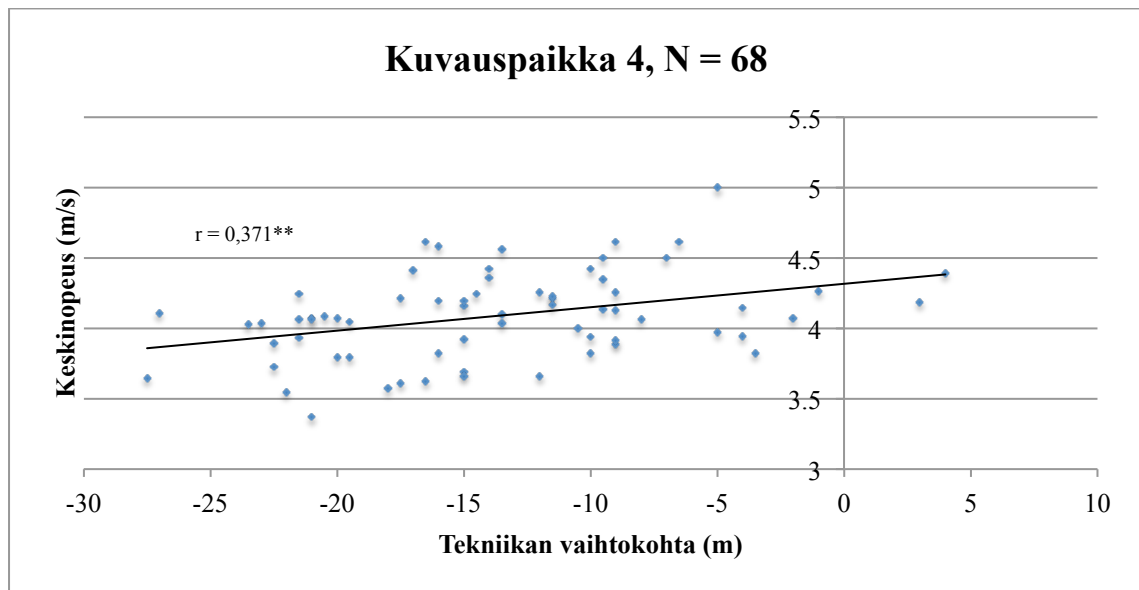
Kuvauspaikalla 4 suoritettiin videoanalyysi 75:lle kilpailijalle. Heistä 67 kilpailijaa vaihtoi tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V2-tekniikasta V1-tekniikkaan. Seitsemän kilpailijaa vaihtoi tekniikkaa jo ennen kuvauspaikan tarkastelualueen alkua eli he etenivät koko tarkastelualueen 30 m:n matkan käyttäen V1-tekniikkaa. Lisäksi yksi kilpailija ei vaihtanut tekniikkaa lainkaan ennen tarkastelualueen loppua edeten koko tarkastelualueen V2-tekniikkaa käyttäen saavuttaen 7 %:a suuremman keskinopeuden (”Vain V2”: $4,37 \pm 0$ m/s) kuin ryhmän V2 \Rightarrow V1 kilpailijat. Ryhmän V2 \Rightarrow V1 keskinopeus oli 14 ± 44 %:a suurempi kuin ryhmän ”Vain V1” ja ryhmien välinen nopeusero (V2 \Rightarrow V1: $4,09 \pm 0,31$ m/s; ”Vain V2”: $3,58 \pm 0,55$ m/s; $p < 0,05$) oli tilastollisesti merkittävä.

Hiihtotekniikoiden vaihtokohtien keskiarvot eri kuvauspaikoilla on esitetty kuvassa 26. Tekniikanvaihdon nollakohta vastaa kuvassa 26 kameran sijaintikohtaa kuvauspaikalla, joten negatiivinen arvo kertoo tekniikanvaihdon tapahtuneen keskimäärin ennen kameran sijaintikohtaa ja vastaavasti positiivinen arvo kertoo tekniikanvaihdon tapahtuneen keskimäärin kameran sijaintikohdan jälkeen. Hiihtotekniikoiden vaihtokohtien keskihajonnat olivat suuria kuvauspaikoilla yksi, kaksi ja neljä. Tekniikan vaihtokohtien

korrelaatio kuvauspaikan keskinopeuden kanssa oli tilastollisesti merkittävää ($r = 0,371$; $p < 0,01$) vain kuvauspaikalla 4, jonka korrelaatiota kuva 27 esittää.



KUVA 26. Tekniikan vaihtokohtien keskiarvot ja -hajonnat eri kuvauspaikoilla. Kuvauspaikka 1: N = 75, kuvauspaikka 2: N = 8, Kuvauspaikka 3: N = 28, kuvauspaikka 4: N = 67.



KUVA 27. Naisten kilpailun neljännen kuvauspaikan tekniikan vaihtokohtien korrelaatio keskinopeuden kanssa. Korrelaatiokertoimien r (Pearson) merkitsevyys: $** = (p < 0,01)$.

Videomateriaalista määritellyt kinemaattiset muuttujat naisten kilpailun osalta on esitetty liitteissä 5–8. Ensimmäisen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien vertailuissa ryhmien R1 ja R2 välillä todettiin tilastollisesti merkittävät erot V1-frekvenssissä (R1: $0,97 \pm 0,06$ 1/s; R2: $0,91 \pm 0,06$ 1/s; $p < 0,05$) ja kuvauspaikan keskinopeudessa (R1: $3,97 \pm 0,15$ m/s; R2: $3,85 \pm 0,10$ m/s; $p < 0,05$). Ryhmän R1 V1-frekvenssi oli 7 ± 0 %:a ja kuvauspaikan keskinopeus 3 ± 50 %:a suurempi kuin ryhmän R2. Muiden kinemaattisten muuttujien osalta ei todettu vertailuryhmien välillä tilastollisesti merkittäviä eroja. Toisen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien vertailuissa ryhmien R1 ja R2 välillä todettiin tilastollisesti merkittävät erot vain keskinopeudessa (R1: $3,14 \pm 0,20$ m/s; R2: $2,96 \pm 0,15$ m/s; $p < 0,05$). Ryhmän R1 keskinopeus oli 6 ± 33 %:a suurempi kuin ryhmän R2. Muiden kinemaattisten muuttujien osalta ei todettu vertailuryhmien välillä tilastollisesti merkittäviä eroja. Kolmannen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien vertailuissa ei löydetty tilastollista merkitsevyyttä ryhmien R1 ja R2 välillä. Neljännen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien vertailuissa ryhmien R1 ja R2 välillä todettiin tilastollisesti merkittävät erot V2-nopeudessa (R1: $4,94 \pm 0,38$ m/s; R2: $4,39 \pm 0,37$ m/s; $p < 0,01$), V2-syklinpituudessa (R1: $4,18 \pm 0,52$ m; R2: $3,69 \pm 0,34$ m; $p < 0,05$) ja kuvauspaikan keskinopeudessa (R1: $4,47 \pm 0,29$ m/s; R2: $4,18 \pm 0,13$ m/s; $p < 0,01$). Ryhmän R1 V2-nopeus oli 13 ± 3 %:a, V2-syklinpituus 13 ± 53 %:a ja kuvauspaikan keskinopeus 7 ± 123 %:a suurempi kuin ryhmän R2. Muiden kinemaattisten muuttujien osalta ei todettu vertailuryhmien välillä tilastollisesti merkittäviä eroja.

7.2 Miesten 10 km:n kilpailu

Miesten vapaan hiihtotekniikan kilpailuun osallistui 111 kilpailijaa, jotka kaikki hiihtivät maaliin saaden hyväksytyt tulokset kilpailusta. Kilpailun voittajan aika oli 21:05,5. Hänen voittomarginaalinsa kilpailun toiseen sijaan oli 11,2 sekuntia ja kolmanteen sijaan 11,6 sekuntia. Kilpailun loppuaikojen keskiarvo ja -hajonta olivat $22:47,0 \pm 1:06,3$ ja mediaani 22:38,8.

7.2.1 Miesten kilpailun väliaika-analyysin tulokset

Miesten kilpailun väliaika-analyysi suoritettiin kilpailussa maailmancupin pisteille päässeiden kesken käyttäen ryhmäjakoja: R1 = kilpailun kymmenen nopeinta ja R2 = kilpailun tuloksissa sijat 11–30. Väliaika-analyysin tuottamien tarkastelunalaisten sektoriaikojen ja eri maastotyyppien kokonaisaikojen keskiarvot ja -hajonnat on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Miesten kilpailun väliaika-analyysin maailmancupin pisteille hihtäneiden kilpailijoiden sektoriaikojen keskiarvot ja -hajonnat.

	Kierros 1 N = 30	Kierros 2 N = 30	Kierros 1 & 2 N = 30
Loppuaika, 10000 m (kaikki maastotyytit)	10:40,7 ± 0:07,9	10:59,6 ± 0:09,6	21:40,3 ± 0:13,9
Sektori 1 – 700 m (lasku)	1:06,8 ± 0:01,5	1:10,4 ± 0:01,7	2:17,2 ± 0:02,8
Sektori 2 – 400 m (nousu)	1:25,8 ± 0:03,3	1:31,5 ± 0:02,9	2:57,3 ± 0:05,1
Sektori 3 – 480 m (tasainen)	1:07,9 ± 0:01,8	1:11,2 ± 0:02,2	2:19,2 ± 0:03,5
Sektori 4 – 800 m (lasku)	1:02,5 ± 0:01,3	1:04,7 ± 0:02,1	2:07,3 ± 0:02,8
Sektori 5 – 820 m (vaihteleva)	1:48,3 ± 0:01,8	1:50,9 ± 0:02,4	3:39,2 ± 0:03,0
Sektori 6 – 150 m (nousu)	0:54,1 ± 0:02,1	0:52,8 ± 0:03,5	1:46,9 ± 0:04,3
Sektori 7 – 1250 m (vaihteleva)	2:10,5 ± 0:02,2	2:12,3 ± 0:02,4	4:22,8 ± 0:03,7
Sektori 8 – 120 m (nousu)	0:32,5 ± 0:01,9	0:30,8 ± 0:02,9	1:03,3 ± 0:03,5
Sektori 9 – 280 m (tasainen)	0:32,1 ± 0:01,6	0:35,1 ± 0:01,5	1:07,2 ± 0:02,9
Laskuosuudet (1 & 4) 1500 m	2:09,4 ± 0:01,9	2:15,1 ± 0:02,9	4:24,5 ± 0:04,2
Nousuosuudet (2, 6 & 8) 670 m	2:52,4 ± 0:05,5	2:55,0 ± 0:05,9	5:47,4 ± 0:09,2
Tasaiset/vaihtelevat osuudet (3, 5, 7 & 9) 2830 m	5:38,9 ± 0:04,7	5:49,5 ± 0:5,9	11:28,4 ± 0:08,7

Eri sektoreiden ja eri maastotyyppien väliaikojen korrelaatiot kilpailun loppuaikojen kanssa on esitetty taulukossa 8. Ensimmäisellä kierroksella tilastollisesti merkittävistä korrelaatioista suurimmat korrelaatiokertoimet oli sektoreilla kaksi ($r_s = 0,368$; $p < 0,05$) ja yhdeksän ($r_s = 0,389$; $p < 0,05$). Maastotyypeistä suurin tilastollisesti merkittävä korrelaatio loppuajan kanssa ensimmäisellä kierroksella oli tasaisilla ja vaihtelevilla osuuksilla ($r_s = 0,492$; $p < 0,01$).

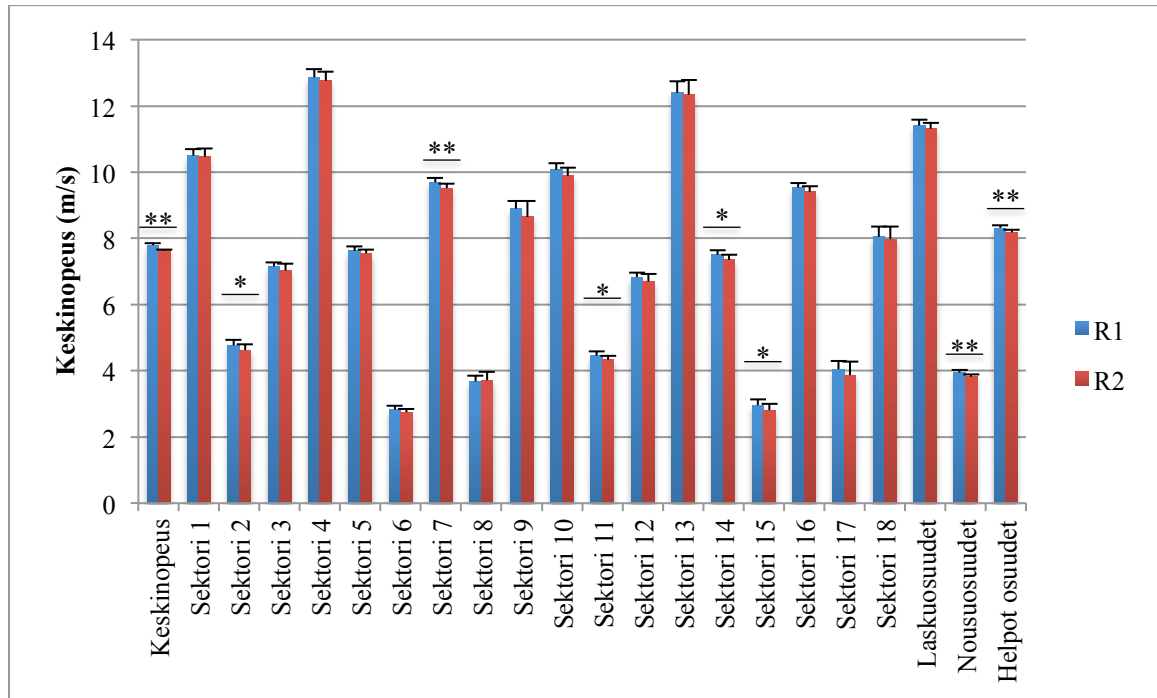
TAULUKKO 8. Miesten kilpailun väliaika-analyysin sektoriaikojen korrelaatiot (Spearman r_s) kilpailun loppuaikojen kanssa. Korrelaation (2-suuntainen) merkitsevyys: * = ($p < 0,05$), ** = ($p < 0,01$).

	Kierros 1 N = 30	Kierros 2 N = 30	Kierros 1+2 N = 30
Loppuaika	0,575**	0,837**	1,000
Sektori 1	0,140	0,305	0,305
Sektori 2	0,368*	0,594**	0,537**
Sektori 3	0,356	0,473**	0,479**
Sektori 4	0,241	0,041	0,112
Sektori 5	0,277	0,433*	0,560**
Sektori 6	0,236	0,362*	0,383*
Sektori 7	0,315	0,440*	0,480**
Sektori 8	0,207	0,515**	0,456*
Sektori 9	0,389*	0,339	0,398*
Laskuosuudet (1 & 4)	0,187	0,208	0,202
Nousuosuudet (2, 6 & 8)	0,329	0,700**	0,677**
Tasaiset/vaihtelevat osuudet (3, 5, 7 & 9)	0,492**	0,633**	0,713**

Toisella kierroksella tilastollisesti merkittävistä korrelaatioista suurimmat korrelaatiokertoimet kilpailun loppuaikojen kanssa oli sektoreilla kaksi ($r_s = 0,594$; $p <$

0,01), kolme ($r_s = 0,473$; $p < 0,01$) ja kahdeksan ($r_s = 0,515$; $p < 0,01$). Maastotyypeistä suurin korrelaatio loppuaikojen kanssa toisella kierroksella oli nousuosuuksilla ($r_s = 0,700$; $p < 0,01$). Myös tasaisten ja vaihtelevien osuuksien korrelaatiot kilpailun loppuaikojen kanssa olivat tilastollisesti merkittäviä toisella kierroksella ($r_s = 0,603$; $p < 0,01$). Kilpailun kierrosaikojen tarkastelussa oli molempien kierrosten kierrosaikojen korrelaatio kilpailun loppuajan kanssa tilastollisesti merkittävää. Toisen kierroksen kierrosajan korrelaatio loppuajan kanssa oli suurempi kuin ensimmäisen kierroksen kierrosajan (Kierros 1: $r_s = 0,575$; $p < 0,01$. Kierros 2: $r_s = 0,837$, $p < 0,01$). Toisen kierroksen sektoriajat korreloivat enemmän loppuaikojen kanssa kuin ensimmäisen kierroksen sektoriajat, mutta molempien kierrosten yhteenlaskettujen sektoriaikojen korrelaatiot eivät juurikaan eronneet toisen kierroksen korrelaatioista kilpailun loppuaikojen kanssa. Eri maastotyyppien toisen kierroksen ja molempien kierrosten samojen sektoreiden yhteenlaskettujen sektoriaikojen korrelaatiot kilpailun loppuaikojen kanssa olivat erittäin suuria ja tilastollisesti merkittäviä (kierros 2: nousuosuudet $r_s = 0,700$; $p < 0,01$ ja tasaiset/vaihtelevat osuudet $r_s = 0,633$; $p < 0,01$. Kierros 1 & 2: $r_s = 0,677$; $p < 0,01$ ja tasaiset/vaihtelevat osuudet $r_s = 0,713$; $p < 0,01$). Laskuosuuksien sektoriajoissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä korrelaatioita loppuaikojen kanssa.

Kuvassa 28 on esitetty sektoriaikojen keskinopeudet ja -hajonnat ryhmien R1 ja R2 välillä. Tilastollisesti merkittävät suurimmat prosentuaaliset erot keskinopeuksissa syntyivät nousuosuuksilla eli sektorissa kaksi sekä toisen kierroksen ensimmäisellä ja toisella nousuosuudella eli sektoreissa 11 ja 15. Sektorissa kaksi ryhmän R1 kilpailijat olivat 3 ± 6 %:a (R1: $4,77 \pm 0,16$ m/s; R2: $4,62 \pm 0,17$ m/s; $p < 0,05$), sektorissa 11 ryhmän R1 kilpailijat olivat 3 ± 8 %:a nopeampia kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $4,46 \pm 0,12$ m/s; R2: $4,33 \pm 0,13$ m/s; $p < 0,05$) ja sektorissa 15 ryhmän R1 kilpailijat olivat 6 ± 15 %:a nopeampia kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $2,96 \pm 0,17$ m/s; R2: $2,80 \pm 0,20$ m/s; $p < 0,05$).

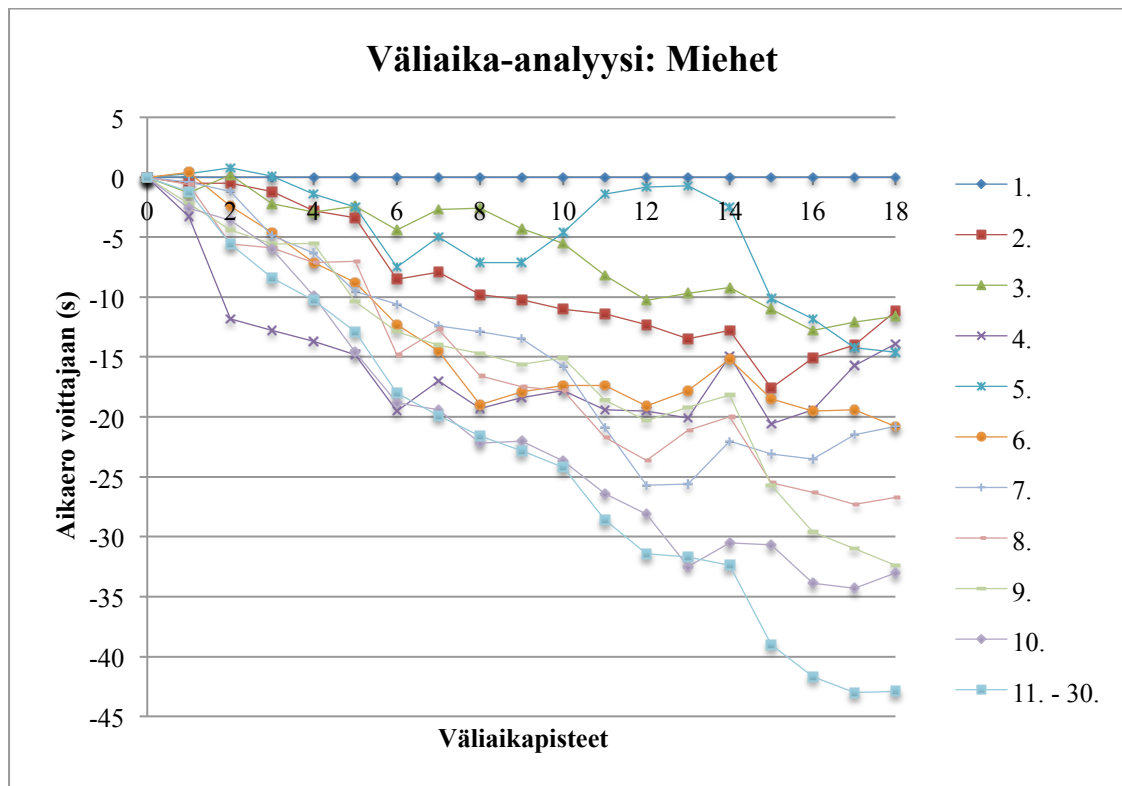


KUVA 28. Vertailtujen ryhmien keskinopeudet ja -hajonnat. Ryhmä 1 (R1): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10), Ryhmä 2 (R2): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 20). Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05), ** = (p < 0,01).

Tilastollisesti merkittäviä eroja eri maastotyyppien välisissä tarkasteluissa havaittiin nousuosuuksilla sekä tasaisissa ja vaihtelevissa maastonkohdissa. Ryhmän R1 kilpailijat olivat 3 ± 11 %:a nopeampia nousuosuuksilla kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $3,94 \pm 0,09$ m/s; R2: $3,82 \pm 0,08$ m/s; p < 0,01). Tasaisissa ja vaihtelevissa maastonkohdissa ryhmän R1 kilpailijat olivat $1,5 \pm 13$ %:a nopeampia kuin ryhmän R2 kilpailijat (R1: $8,31 \pm 0,09$ m/s; R2: $8,18 \pm 0,08$ m/s; p < 0,01). Kilpailun aikana syntyneet aikaerot vertailuryhmien välillä on esitetty liitteissä 9 ja 10.

Graafinen esitys maailmancupin pisteille hiihtäneiden väliaika-analyysistä on esitetty kuvassa 29, jossa voittajan väliajat on normalisoitu 0-tasolle ja muut kuvaajat kuvaavat eroa voittajaan kullakin väliaikapisteellä ja maalissa. Kuva 29 havainnollistaa kuinka kilpailun voittaja ratkaisi kilpailun toisella kierroksella latuprofilin toisessa kovassa nousussa

(sektori 15), mutta hän teki selvän eron muihin samassa nousussa (sektori 6) jo ensimmäisellä kierroksella.



KUVA 29. Maailmancupin pisteille hiihtäneiden miesten väliaika-analyysi. Sijat 1-10 esitetty kukin omalla kuvaajallaan ja sijat 11-30 on esitetty kyseisen ryhmän keskiarvoa kuvaavalla kuvaajalla.

7.2.2 Miesten kilpailun videoanalyysin tulokset

Kilpailun neljässä eri kuvauspaikassa kuvatuista kilpailusuorituksista hyväksyttiin analyysiin 844 suoritusta, joten kilpailun 888 suorituksesta kuvauspaikoilla hylättiin 44 suoritusta joko analysointiin soveltumattomina tai koska kyseiset suoritukset puuttuivat kokonaan. Kilpailuanalyysissä on siten mukana 95 % kaikista kilpailusuorituksista. Taulukossa 9 on esitetty kilpailijoiden käyttämien strategioiden mukaiset keskinopeuksien keskiarvot ja -hajonnat kuvauspaikoilla.

TAULUKKO 9. Kuvauspaikkojen tarkastelualueiden keskinopeuksien keskiarvot (m/s) ja niiden keskihajonnat molemmilla kierroksilla eri strategioita käyttäen. Taulukossa a = Mann-Whitney, b = Kruskal-Wallis, c = riippumattomien näytteiden T-testi, d = testissä verrattiin ryhmien V2 \Rightarrow V1 ja ”Vain V1” -ryhmien keskinopeuksien erojen merkitsevyyttä, e = testissä verrattiin ryhmien V2 \Rightarrow V1 ja ”Vain V2” -ryhmien keskinopeuksien erojen merkitsevyyttä. Testien tilastollinen merkitsevyys: * = (p < 0,05), ** = (p < 0,01).

Strategia	Kuvauspaikka 1		Kuvauspaikka 2		Kuvauspaikka 3		Kuvauspaikka 4	
	Kierros 1	Kierros 2	Kierros 1	Kierros 2	Kierros 1	Kierros 2	Kierros 1	Kierros 2
V1 -> V2	4,23 \pm 0,22 N = 102	3,95 \pm 0,31 N = 93			3,44 \pm 0,20 N = 55	3,40 \pm 0,26 N = 46		
V2 -> V1			3,50 \pm 0,21 N = 66	3,51 \pm 0,27 N = 44			4,72 \pm 0,39 N = 76	4,80 \pm 0,51 N = 86
Vain V1	4,27 \pm 0,06 N = 3	3,75 \pm 0,51 N = 7	3,31 \pm 0,23 N = 38	3,28 \pm 0,34 N = 64	3,29 \pm 0,19 N = 55	3,22 \pm 0,27 N = 62	3,77 \pm 0 N = 1	4,15 \pm 0,24 N = 3
Vain V2			3,82 \pm 0,34 N = 5	4,17 \pm 0 N = 1			4,99 \pm 0,28 N = 25	5,19 \pm 0,59 N = 12
p-arvo	0,885 ^a	0,334 ^a	0,000 ^{**b}	0,000 ^{**a,d}	0,000 ^{**c}	0,001 ^{**c}	0,002 ^{**c,e}	0,005 ^{**b}

Kuvauspaikalla 1 suoritettiin ensimmäisellä kierroksella videoanalyysi 105 kilpailijalle. Heistä vain kolme kilpailijaa ei vaihtanut tekniikkaa lainkaan kuvauspaikan tarkastelualueella eli he etenivät koko tarkastelualueen 51 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen. Ryhmän ”Vain V1” keskinopeus oli 1 ± 286 %:a suurempi kuin ryhmän $V1 \Rightarrow V2$, mutta ryhmien välinen nopeusero ($V1 \Rightarrow V2$: $4,23 \pm 0,22$ m/s; ”Vain V1”: $4,27 \pm 0,057$ m/s; $p = 0,885$) ei ollut tilastollisesti merkittävä. Testin luotettavuus kärsii huomattavasti ”Vain V1” -ryhmän pienestä populaatiosta. Toisella kierroksella suoritettiin videoanalyysi 100 kilpailijalle. Heistä seitsemän kilpailijaa ei vaihtanut tekniikkaa lainkaan kuvauspaikan tarkastelualueella eli he etenivät koko tarkastelualueen 51 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen. Ryhmän $V1 \Rightarrow V2$ keskinopeus oli 5 ± 39 %:a suurempi kuin ryhmän ”Vain V1”, mutta ryhmien välinen nopeusero ($V1 \Rightarrow V2$: $3,95 \pm 0,31$ m/s; ”Vain V1”: $3,75 \pm 0,51$ m/s; $p = 0,334$) ei ollut tilastollisesti merkittävä.

Kuvauspaikalla 2 suoritettiin ensimmäisellä kierroksella videoanalyysi 109 kilpailijalle. Heistä 66 kilpailijaa vaihtoi tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V2-tekniikasta V1-tekniikkaan. Loput 38 kilpailijaa vaihtoi tekniikkaa jo ennen kuvauspaikan tarkastelualueen alkua eli he etenivät koko tarkastelualueen 25 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen ja viisi kilpailijaa hiihti koko tarkastelualueen käyttäen V2-tekniikkaa eli vaihtoivat V1-tekniikkaan vasta kuvausalueen jälkeen. Ryhmän ”Vain V2” keskinopeus oli 15 ± 48 %:a suurempi ja ryhmän $V2 \Rightarrow V1$ keskinopeus oli 6 ± 9 %:a kuin ryhmän ”Vain V1”. Ryhmien väliset nopeuserot ($V2 \Rightarrow V1$: $3,50 \pm 0,21$ m/s; ”Vain V1”: $3,31 \pm 0,23$ m/s; ”Vain V2”: $3,82 \pm 0,34$ m/s, $p < 0,01$) olivat tilastollisesti merkittäviä. Toisella kierroksella suoritettiin videoanalyysi 109:lle kilpailijalle. Heistä 44 kilpailijaa vaihtoi tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V2-tekniikasta V1-tekniikkaan. Tarkastelualueella 64 kilpailijaa vaihtoi tekniikkaa jo ennen kuvauspaikan tarkastelualueen alkua eli he etenivät koko tarkastelualueen 25 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen. Lisäksi yksi kilpailija ei vaihtanut tekniikkaa lainkaan ennen tarkastelualueen loppua edeten koko tarkastelualueen V2-tekniikkaa saavuttaen 18 %:a ($4,17$ m/s ± 0 m/s) kuin ryhmän $V2 \Rightarrow V1$ kilpailijat ja 27 %:a suuremman keskinopeuden kuin ryhmän ”Vain V1” kilpailijat. Ryhmän $V2 \Rightarrow V1$ keskinopeus oli 7 ± 21 %:a suurempi kuin ryhmän ”Vain V1” ja ryhmien välinen nopeusero

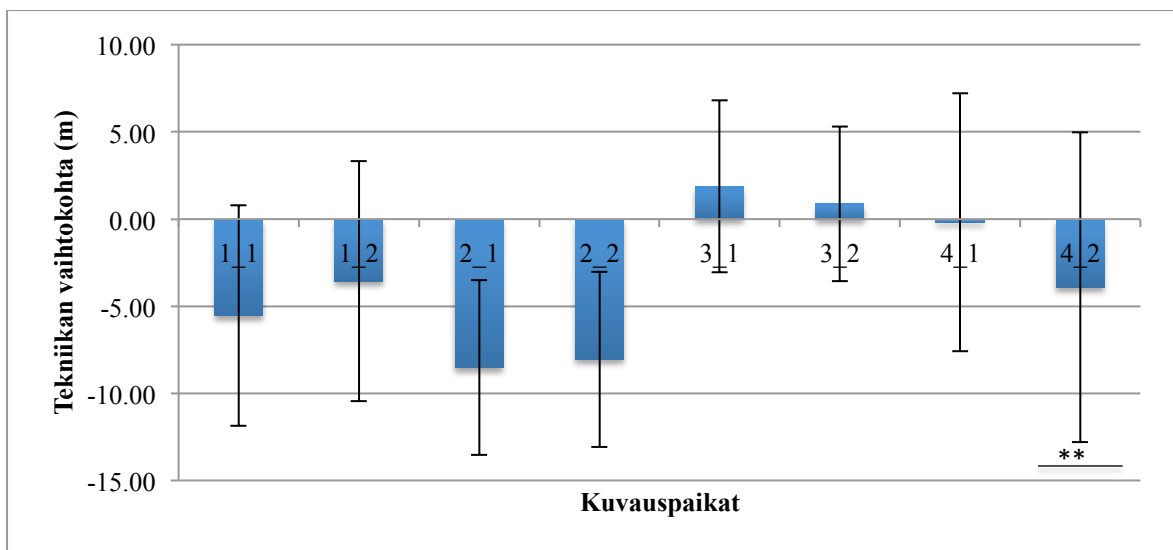
(V2 \Rightarrow V1: $3,51 \pm 0,27$ m/s; Vain V1: $3,28 \pm 0,34$ m/s; $p < 0,01$) oli tilastollisesti merkittävä.

Kuvauspaikalla 3 suoritettiin ensimmäisellä kierroksella videoanalyysi 110 kilpailijalle. Heistä 55 kilpailijaa vaihtoi tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V1-tekniikasta V2-tekniikkaan. Vastaavasti 55 kilpailijaa ei vaihtanut tekniikkaa lainkaan eli he etenivät koko tarkastelualueen 29 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen. Ryhmän V1 \Rightarrow V2 keskinopeus oli 5 ± 5 %:a suurempi kuin ryhmän ”Vain V1” ja ryhmien välinen nopeusero (V1 \Rightarrow V2: $3,44 \pm 0,20$ m/s; ”Vain V1”: $3,29 \pm 0,19$ m/s; $p < 0,01$) oli tilastollisesti merkittävä. Toisella kierroksella suoritettiin videoanalyysi 108 kilpailijalle. Heistä 46 kilpailijaa vaihtoi tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V1-tekniikasta V2-tekniikkaan. Vastaavasti 62 kilpailijaa ei vaihtanut tekniikkaa lainkaan eli he etenivät koko tarkastelualueen 29 m:n matkan V1-tekniikkaa käyttäen. Ryhmän V1 \Rightarrow V2 keskinopeus oli 6 ± 4 %:a suurempi kuin ryhmän ”Vain V1” ja ryhmien välinen nopeusero (V1 \Rightarrow V2: $3,40 \pm 0,26$ m/s; ”Vain V1”: $3,22 \pm 0,27$ m/s; $p < 0,01$) oli tilastollisesti merkittävä.

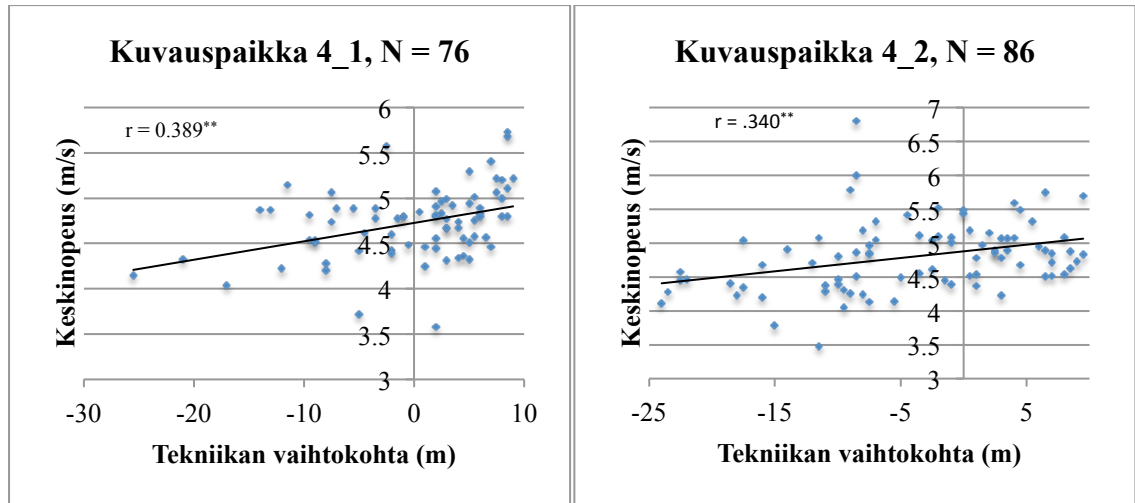
Kuvauspaikalla 4 suoritettiin ensimmäisellä kierroksella videoanalyysi 102 kilpailijalle. Heistä 76 kilpailijaa vaihtoi tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V2-tekniikasta V1-tekniikkaan. Tarkastelualueella 25 kilpailijaa vaihtoi tekniikkaa vasta kuvauspaikan tarkastelualueen jälkeen eli he etenivät koko tarkastelualueen 36 m:n matkan V2-tekniikkaa käyttäen. Lisäksi yksi kilpailija vaihtoi tekniikan jo ennen tarkastelualueen alkua edeten keskinopeudella $3,77 \pm 0$ m/s koko tarkastelualueen V1-tekniikkaa käyttäen, ollen siten 20 %:a hitaampi kuin tekniikkaa vaihtaneiden kilpailijoiden ryhmä. Ryhmän ”Vain V2” keskinopeus oli 6 ± 28 %:a suurempi kuin ryhmän V2 \Rightarrow V1 ja ryhmien välinen nopeusero (V2 \Rightarrow V1: $4,72 \pm 0,39$ m/s; ”Vain V2”: $4,99 \pm 0,28$ m/s; $p < 0,01$) oli tilastollisesti merkittävä. Toisella kierroksella suoritettiin videoanalyysi 101 kilpailijalle. Heistä 86 kilpailijaa vaihtoi tarkastelualueella hiihtotekniikkaa V2-tekniikasta V1-tekniikkaan. Tarkastelualueella vaihtoi 12 kilpailijaa tekniikkaa vasta kuvauspaikan tarkastelualueen jälkeen eli he etenivät koko tarkastelualueen 36 m:n matkan käyttäen V2-tekniikkaa. Lisäksi 3 kilpailijaa vaihtoi tekniikkaa jo ennen kuvauspaikan tarkastelualueen alkua eli he etenivät

koko tarkastelualueen käyttäen V1-tekniikkaa. Ryhmän ”Vain V2” keskinopeus oli 8 ± 16 %:a suurempi ja ryhmän $V2 \Rightarrow V1$ keskinopeus oli 15 ± 113 %:a kuin ryhmän ”Vain V1”. Ryhmien väliset nopeuserot ($V2 \Rightarrow V1$: $4,80 \pm 0,51$ m/s; ”Vain V2”: $5,19 \pm 0,59$ m/s; ”Vain V1”: $4,15 \pm 0,24$ m/s); $p < 0,01$) olivat tilastollisesti merkittäviä, mutta testin luotettavuus kärsii ”Vain V1” -ryhmän pienestä populaatiosta.

Hiihtotekniikoiden vaihtokohtien keskiarvot eri kuvauspaikoilla on esitetty kuvassa 30. Miehillä hiihtotekniikoiden vaihtokohdat erosivat kierrosten välillä tilastollisesti merkittävästi vain kuvauspaikalla neljä, jossa toisella kierroksella tekniikanvaihtokohtien keskiarvo asettui ylämäessä 3,71 metriä alemmaksi kuin ensimmäisellä kierroksella (kierros 1: $-0,18 \pm 7,39$ m; kierros 2: $-3,91 \pm 8,89$ m; $p < 0,01$). Lisäksi huomioitavaa on, että hiihtotekniikoiden vaihtokohtien keskihajonnat olivat varsin suuria kaikilla kuvauspaikoilla. Tekniikan vaihtokohtien korrelaatiot kuvauspaikan keskinopeuden kanssa ovat tilastollisesti merkittäviä (kierros 1: $r = 0,389$; kierros 2: $r = 0,340$; $p < 0,01$) vain kuvauspaikalla neljä, jonka korrelaatioita kuva 31 esittää.



KUVA 30. Miesten tekniikan vaihtokohtien keskiarvot ja -hajonnat eri kuvauspaikoilla (kierros 1: 1_1, 2_1, 3_1 & 4_1; kierros 2: 1_2, 2_2, 3_2 & 4_2) Kuvauspaikka 1: $N_{1_1} = 102$, $N_{1_2} = 93$, kuvauspaikka 2: $N_{2_1} = 66$, $N_{2_2} = 44$, kuvauspaikka 3: $N_{3_1} = 54$, $N_{3_2} = 47$, kuvauspaikka 4: $N_{4_1} = 76$, $N_{4_2} = 86$. Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys kierrosten välisissä vertailussa: ** = ($p < 0,01$).



KUVA 31. Miesten kilpailun neljännen kuvauspaikan tekniikan vaihtokohdan korrelaatio keskinopeuden kanssa. Korrelaatiokertoimien r (Pearson) merkitsevyys: $** = (p < 0,01)$.

Videomateriaalista määritellyt naisten kilpailun kinemaattiset muuttujat on esitetty liitteissä 11–14. Kuvauspaikan 1 kinemaattisten muuttujien vertailuissa ei löydetty tilastollista merkitsevyyttä ryhmien R1 ja R2 välillä. Kuvauspaikan 2 kinemaattisten muuttujien vertailuissa ryhmien R1 ja R2 välillä ensimmäisellä kierroksella todettiin tilastollisesti merkittävät erot V1-nopeudessa (R1: $3,68 \pm 0,20$ m/s; R2: $3,51 \pm 0,18$ m/s; $p < 0,05$) ja keskinopeudessa (R1: $3,77 \pm 0,27$ m/s; R2: $3,60 \pm 0,16$ m/s; $p < 0,05$). Ensimmäisellä kierroksella ryhmän R1 V1-nopeus oli 5 ± 11 %:a ja kuvauspaikan keskinopeus 5 ± 69 %:a suurempi kuin ryhmän R2. Toisella kierroksella todettiin tilastollisesti merkittävät erot V2-nopeudessa (R1: $4,04 \pm 0,22$ m/s; R2: $3,75 \pm 0,19$ m/s; $p < 0,05$) ja V2-syklinpituudessa (R1: $3,67 \pm 0,20$ m; R2: $3,34 \pm 0,21$ m; $p < 0,05$). Toisella kierroksella ryhmän R1 V2-nopeus oli 8 ± 16 %:a ja V2-syklinpituus 10 ± 5 %:a suurempi kuin ryhmän R2. Kuvauspaikan 3 kinemaattisten muuttujien vertailuissa ryhmien R1 ja R2 välillä todettiin tilastollisesti merkittävät erot vain ensimmäisen kierroksen V1-nopeudessa (R1: $3,45 \pm 0,22$ m/s; R2: $3,19 \pm 0,19$ m/s; $p < 0,01$). Ryhmän R1 V1-nopeus oli ensimmäisellä kierroksella 8 ± 16 %:a suurempi kuin ryhmän R2. Kuvauspaikan 4 kinemaattisten muuttujien vertailuissa ei todettu tilastollista merkitsevyyttä ryhmien R1 ja R2 välillä.

8 POHDINTA

Tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin kilpailu- ja videoanalyysien avulla eliittihiihtäjien vauhdinjakoa ja heidän suorittamien tekniikanvaihtojen vaikutusta Rukan maailmancupin naisten ja miesten vapaan hiihtotekniikan väliaikalähtökilpailuiden lopputuloksiin. Kilpailujen väliaika-analyyseissä keskityttiin kilpaladun eri maastotyyppien perusteella jaettujen väliaikasektoreiden aikana syntyneiden aikaerojen vertailuihin sekä kilpailujen sektoriaikojen ja loppuaikojen välisten korrelaatioiden analysointiin. Naisten kilpailussa tasaiset ja vaihtelevat maastonkohdat korreloivat kilpailun 30 parhaan hiihtäjän loppuaikojen kanssa eniten ($r_s = 0,93$; $p < 0,01$), mutta suurimmat nopeuserot tutkimuksen vertailuryhmien välillä todettiin nousuosuuksilla (R1: $3,43 \pm 0,15$ m/s; R2: $3,30 \pm 0,05$ m/s; $p < 0,01$). Miehillä suurimmat korrelaatiot kilpailun loppuaikojen kanssa todettiin toisen kierroksen nousuosuuksilla ($r_s = 0,70$; $p < 0,01$) ja kuten naisilla suurimmat nopeuserot todettiin kilpailun nousuosuuksilla (R1: $3,94 \pm 0,09$ m/s; R2: $3,82 \pm 0,08$ m/s; $p < 0,01$). Molempien kilpailujen voittaja ratkaisi kilpailun edukseen nousuosuuksilla. Videoanalyysin avulla tutkittiin kilpailijoiden suorittamien tekniikanvaihtojen vaikutusta heidän vauhtiinsa kuvauspaikoilla ja välillisesti myös kilpailun lopputuloksiin. Kuvausalueilla tekniikkaa vaihtaneet kilpailijat tai sen kokonaan V2-tekniikalla edenneet kilpailijat olivat nopeampia kuin kilpailijat, jotka etenivät niissä pelkästään V1-tekniikalla. Kilpailijoiden tekniikanvaihtokohdat vaihtelivat kuitenkin suuresti kilpailijoiden kesken ja korreloivat merkittävästi nopeuden kanssa vain yhdellä kuvauspaikalla neljästä (Naiset: $r = 0,371$, $p < 0,01$; Miehet: $r = 0,389$, $p < 0,01$ ja $r = 0,34$, $p < 0,01$).

Pohdinnassa tulkitaan molempien kilpailujen väliaika- ja videoanalyysien tilastollisesti merkittäviä löydöksiä ja pohditaan tutkimusmenetelmien soveltuvuutta ja tutkimuksessa asetettujen hypoteesien toteutumista. Lisäksi käydään läpi tutkimuksessa käytettyjen menetelmien luotettavuutta ja mahdollisia virhelähteitä ja ehdotetaan tämän tutkimuksen pohjalta mahdollisesti esiin nousevia mielekkäitä jatkotutkimuksia.

8.1 Väliaika-analyysit

Naisten kilpailussa maailmancupin pisteille sijoittuneiden kilpailijoiden (sijat 1–30) kesken todettiin suurimmat korrelaatiokertoimet eri sektoriaikojen ja kilpailun loppuaikojen kanssa kilparadan tasaisissa ja vaihtelevissa maastonkohdissa, mutta myös nousuosuuksilla todettiin tilastollisesti merkittävää korrelaatiota loppuaikojen kanssa. Yhtenä mahdollisena syynä tasaisten ja vaihtelevien maastonkohtien nousuosuuksia suurempaan korrelaatioon loppuaikojen kanssa voidaan pitää kilpailijoiden erilaisia strategioita vauhdinjaon suhteen nimenomaan nousuosuuksilla. Raportoidut tulokset osoittavat kilpailijoiden välillä suurempaa hajontaa vauhdeissa nimenomaan nousuosuuksilla eli osa kilpailijoista panostanee nousuosuuksiin kun taas toiset hieman passailevat niihin ja panostavat kilparadan vauhdikkaampiin maastonkohtiin. Myös kilpailijoiden vahvuudet todennäköisesti määrittävät heidän erilaisia strategioita, koska nousuosuuksilla kilpailijoiden kestävyysominaisuudet dominoivat. Toisaalta kun tarkasteltiin kilpailun kymmenen nopeimman kilpailijan ja loppujen maailmancupin pisteille hiihtäneiden kilpailijoiden keskinopeuksia eri maastonkohdissa niin suurimmat keskinopeuksien erot ryhmien välillä todettiin kilpaladun ensimmäisessä ja viimeisessä nousussa sekä kilpaladun tasaisessa viimeisessä sektorissa. Nousuosuuksien suuremmat nopeuserot tukevat aikaisempien tutkimusten tuloksia nousuosuuksien merkityksestä tuloksetekoon maastohiihdossa (Norman & Komi 1987; Norman ym. 1989; Ingjer 1991). Viimeisen sektorin suuret nopeuserot ryhmien välillä selittyvät Ryhmän R1 kilpailijoiden paremmalla loppukirillä, koska vauhdinjaossa onnistuneet ja kilpailun lopputuloksissa hyvin sijoittuneet hyvävoimaiset kilpailijat pystyvät hyvään loppukiriin. Suurimmat aikaerot naisten kilpailussa syntyivät tasaisissa ja vaihtelevissa maastonkohdissa vaikka suurimmat nopeuserot todettiin myös nousuosuuksilla. Nyt käytössä ollut sektorijako todennäköisesti nostaa viidennen sektorin ja samalla myös tasaisten ja vaihtelevien osuuksien merkitystä, koska se sisältää yhden B-kategorian nousun. Lisäksi käytetyn määrittelyn mukaan tasaisten ja vaihtelevien maastonkohtien pituus on yhteensä 2830 m eli 57 % kilparadan pituudesta, mikä selittää nousuosuuksia suuremman aikaeron, vaikka nousuosuuksilla nopeuserot olivatkin suurempia. Kun tarkastellaan naisten kilpailun ratkaisukohtia niin voidaan todeta,

että kilpailun voittaja teki suurimman eron muihin heti kilpailun alun raskaassa nousussa eli sektorissa kaksi (Kuva 25). Toinen kilpailun lopputulosten kannalta merkittävä maastonkohta oli Impilinnan nousun jälkeinen pitkä sektori seitsemän, josta kilpailijat aloittivat loppuvetonsa maalia lähestyessään.

Miesten kilpailussa todettiin maailmancupin pisteille sijoittuneiden kilpailijoiden toisen kierroksen kokonaisaikojen korreloivan loppuaikojen kanssa selvästi vahvemmin kuin ensimmäisen kierroksen kokonaisajat. Löydös viittaa kilpailijoiden erilaisiin strategioihin vauhdinjoossa kilpailun ensimmäisellä kierroksella ja osoittaa kilpailun jälkimmäisen puoliskon vauhdin ja kilpailijoiden kestävyysominaisuuksien merkityksen kilpailun lopputuloksia ajatellen. Lisäksi kilpailussa heikommin menestyneet urheilijat aloittanevat kilpailun liian kovalla intensiteetillä omiin kunto-ominaisuuksiinsa nähden, mistä johtuen heidän vauhti hiipuu kilpailun edetessä. Heikommin menestyneiden kilpailijoiden liian kova alkuvauhti selittää ensimmäisen kierroksen sektoriaikojen heikompia korrelaatiokertoimia kilpailun loppuaikojen kanssa verrattuna toisen kierroksen nousuosuuksien ja kilpailun loppuaikojen välisiin korrelaatiokertoimiin. Toisen kierroksen kierrosaikojen ja kilpailun loppuaikojen väliset korrelaatiokertoimet eivät eroa merkittävästi molempien kierrosten yhteenlaskettujen sektoriaikojen ja kilpailun lopputulosten välisistä korrelaatiokertoimista. Kun tarkasteltiin erilaisten maastotyyppien korrelaatioita loppuaikojen kanssa, niin todettiin tasaisten ja vaihtelevien maastonkohtien sekä nousuosuuksien erottuvan vertailussa. Miehillä nousuosuudet korreloivat huomattavasti enemmän loppuaikojen kanssa kuin naisilla, mikä osoittanee miesten hiihtävän nousut omalla suoritustasollaan ilman taktisia passailuja niissä. Huomionarvoista on myös toisen kierroksen nousuosuuksien ja kilpailun loppuaikojen välinen erittäin suuri korrelaatiokierroin, joka nousi tarkasteluissa suurimmaksi yksittäiseksi korrelaatiokertoimeksi. Vertailuryhmien välisten keskinopeuksien vertailuissa nousevat toisen kierroksen kaksi ensimmäistä nousuosuutta selvästi esiin – varsinkin Impilinnan nousussa (sektori 15) ryhmän R1 kilpailijat olivat selkeästi nopeampia. Toisella kierroksella ryhmän R1 kilpailijat tekivät kyseisessä Impilinnan nousussa suurimman yksittäisen aikaeron verrattuna ryhmä R2:een, vaikka kyseinen sektori on koko kilpailun toiseksi lyhin ollen vain 150 metrin mittainen. Ensimmäisellä kierroksella

suurimmat erot ryhmien välillä syntyivät tasaisissa ja vaihtelevissa maastonkohdissa, mutta toisella kierroksella suurimmat erot syntyivät nousuosuuksilla. Molempien kierrosten vertailuissa kyseisissä maastotyypeissä ryhmien välinen aikaero oli yhtä suuri, mutta kilparadan nousuosuuksien yhteispituus on vain 24 % tasaisten ja vaihtelevien osuuksien pituudesta. Kilpailun jälkimmäisellä puoliskolla nousivat kilpailijoiden kestävyysominaisuudet esiin ja ryhmän R1 kilpailijat pystyivät vahvoihin loppuvetoihin ja suoriutuivat hyvin korkeaa maksimaalista hapenottoa (VO_{2max}) vaativissa nousuissa verrattuna ryhmän R2 kilpailijoihin. Distanssikilpailussa voi jyrkissä nousuissa hapentarve olla hetkellisesti jopa 100–120 ml·kg⁻¹·min⁻¹ eli hapentarve ylittää tällöin VO_{2max}:n jolloin tarvitaan anaerobista energiantuottoa kompensoimaan VO_{2max}:n hetkellinen ylitys (Rusko 2003, 5). Lisäksi huomionarvoista miesten kilpailussa oli toisin kuin naisten kilpailussa, että kolmen viimeisen sektorin aikana ryhmien välillä ei esiintynyt tilastollisesti merkittäviä aikaeroja eli kaikki maailmancupin pisteille sijoittuneet kilpailijat, toisin kuin naisten kilpailussa, pystyivät hyvään loppuvetoon.

8.2 Tekniikanvaihdot

Naisten kilpailussa kaikkien kuvauspaikkojen tarkastelualueilla tekniikkaa vaihtaneet kilpailijat olivat nopeampia kuin kilpailijat, jotka joko vaihtoivat tekniikkaa ennen kuvauspaikan tarkastelualueita tai eivät vaihtaneet tekniikkaa lainkaan. Tosin tarkastelualueella tekniikanvaihtajat olivat nopeampia tilastollisesti merkittävästi vain kuvauspaikoilla kaksi ja neljä, jotka sijaittivat nousuosuuksien alussa. Poikkeuksena edellisiin todettakoon, että neljännen kuvauspaikan tarkastelualueen selvästi nopein kilpailija eteni koko matkan V2-tekniikkaa käyttäen pystyen hyvään loppukiriin viimeisessä stadionin nousussa. Tulokset osoittavat, että kilpailijat, jotka lähestyessään nousua suoraan laskusuudelta tai helpohkolta tasaiselta osuudelta pystyivät säilyttämään nopeutensa V2-tekniikkaa hyödyntäen, olivat merkittävästi nopeampia niitä kilpailijoita, jotka joutuvat vaihtamaan V1-tekniikkaan (”vain V1”) varsin nopeasti nousun alussa. Vastaavasti nousujen päällä sijainneilla tarkastelualueilla ei havaittu aiemmin V2-tekniikkaan vaihtaneiden kilpailijoiden hyötynneen merkittävästi ratkaisustaan. Löydös viittaa siihen, että

ei ole kiire vaihtaa V2-tekniikkaan mahdollisimman nopeasti jyrkän nousun päällä nousun jatkuessa loivana vaan vasta sitten kun vauhti on kiihdytetty V1-tekniikalla paremmin V2-tekniikalle soveltuvaksi. Näin hiihto pysyy taloudellisena kun käytetään kilpailijan vauhdin suhteen optimaalista tekniikkaa eikä kilpailijalle synny merkittävää aikatappiota verrattuna muihin kilpailijoihin (Nilsson ym. 2004). Tekniikan vaihtokohdat vaihtelivat suuresti naiskilpailijoiden kesken ja vain neljännellä kuvauspaikalla tekniikan vaihtokohta korreloi tilastollisesti merkittävästi kuvausalueen keskinopeuden kanssa. Optimaalisten tekniikan vaihtokohtien valinnassa ovat kilpailijoiden yksilölliset ominaisuudet merkittävässä asemassa yhdessä tarkasteltavan maastonkohdan ominaisuuksien kanssa. Varsinkin kun hiihdetään tässä tutkimuksessa videoituja A- ja B-kategorian nousuosuuksia V2-tekniikalla, niin kilpailijoiden ylävartalon tehon merkitys korostuu (Kvamme ym. 2005).

Miesten kilpailussa nousuihin lähdetessä eli kuvauspaikoilla kaksi ja neljä enemmän V2-tekniikkaa käyttäneet kilpailijat ($V2 \Rightarrow V1$) olivat selvästi nopeampia kuin aikaisemmin V1-tekniikkaan vaihtaneet kilpailijat ("Vain V1"). Lisäksi todettiin naisten kilpailusta poiketen Impilinnan nousun päällä sijaitsevalla radan kolmannella kuvauspaikalla tilastollisesti merkittävä nopeusero tekniikanvaihtajien eduksi verrattuna kilpailijoihin, jotka eivät tekniikkaa kuvausalueella vaihtaneet. Miesten parempi ylävartalon aerobinen kapasiteetti ja korkeammat voimatasot mahdollistavat V2-tekniikan tuoman edun Impilinnan nousun tasanteella, kun taas naiset eivät V2-tekniikan käytöstä vastaavassa maastonkohdassa hyötäneet (Sandbakk ym. 2014; Hegge ym. 2016). Tulosten mukaan myös miesten kilpailussa saavutettiin nousuihin lähdetessä suurempi hyöty V2-tekniikan hyödyntämisestä kuin ylämäkien yläosassa välittömästi jyrkän osuuden jälkeen ylämäen jatkuessa loivana. Tekniikanvaihtokohdat vaihtelivat myös miehillä merkittävästi vastaavista syistä kuin naisilla ja ne korreloivat kuvausalueen keskinopeuden kanssa, aivan kuten naisilla, vain kuvauspaikalla neljä. Kaikilla kuvauspaikoilla tekniikanvaihtokohdat siirtyivät toisella kierroksella kilpailijoiden väsymyksen johdosta joko myöhemmäksi (ylämäen päällä) tai aikaisemmaksi (ylämäen alussa), mutta muutos oli tilastollisesti merkittävää vain kuvauspaikalla neljä.

8.3 Kinemaattiset muuttujat

V1-tekniikka. Naisten kilpailussa V1-frekvenssi oli kaikilla kuvauspaikoilla ryhmä R1:n kilpailijoilla tiheämpi kuin ryhmä R2:n kilpailijoilla. Kuitenkin V1-frekvenssierot ryhmien välillä olivat tilastollisesti merkittäviä vain ensimmäisellä kuvauspaikalla. Ensimmäisen kuvauspaikan maaston profiili on kuitenkin heti jyrkän nousun jälkeen loivana jatkuva ylämäki, mikä nostanee ryhmien välisen eron V1-frekvenssin eron tilastollisesti merkittäväksi kyseisessä maastonkohdassa. Lisäksi ensimmäinen kuvauspaikka sijaitsee vain noin yhden kilometrin päässä kilpailun lähdöstä, joten hyvävoimaiset kilpailijat kykenevät ylläpitämään parempaa frekvenssiä ilman huolta liiallisesta väsymisestä ajatellen kilpailun jäljellä olevaa matkaa. Naisilla nopeamman ryhmän R1 V1-frekvenssi johti vastaavasti V1-syklinpituuksien lyhenemiseen, mikä ei tosin ollut tilastollisesti merkittävää millään kuvauspaikalla. Tulos poikkeaa aikaisempien tutkimusten tuloksista, joissa nimenomaan pidemmän syklinpituuden on todettu johtavan nopeampaan hiihtovauhtiin (Bilodeau ym. 1992; Boulay ym. 1995; Rundell ym. 1996). Aikaisempien tutkimusten erot johtunevat niissä tutkittujen nousujen pienemmistä nousuprosenteista. Miehillä V1-frekvenssin osalta ei havaittu eroja, mutta nopeammilla ryhmän R1 miehillä – toisin kuin naisilla – V1-syklinpituudet sen sijaan olivat pidempiä kuin hitaammalla ryhmällä R2, mikä on linjassa aikaisempien tutkimustulosten kanssa (Bilodeau ym. 1992; Boulay ym. 1995; Rundell ym. 1996). Myöskään miehillä eivät tässä tutkimuksessa havaitut erot syklinpituuksissa olleet tilastollisesti merkittäviä.

V2-tekniikka. Naisten kilpailussa nousujen päällä sijaitsevista kuvauspaikoista ei havaittu ryhmien välillä mitään eroa V2-muuttujien osalta, mutta nousujen alussa sijaitsevista kuvauspaikoista nopeamman ryhmän R1 osalta V2-syklinpituudet olivat pidempiä. Viimeisessä stadionin nousussa sijainneessa kuvauspaikassa erot syklinpituudessa, V2-nopeudessa ja kuvauspaikan keksinopeudessa olivat tilastollisesti merkittäviä, joten vauhtierot ryhmien välillä johtuivat käytännössä kokonaan ryhmän R1 pidemmästä syklinpituudesta. Sen sijaan V2-frekvenssin osalta ei kyseisissä kuvauspaikoissa havaittu eroja lainkaan. Samaan tulokseen syklinpituuden merkityksestä päätyivät myös Bilodeau

ym. (1996) tutkiessaan kinemaattisten muuttujien merkitystä naisten 30 km:n kilpailussa. Miesten kilpailu oli huomattavasti naisten kilpailua tasaisempi eikä vastaavien ryhmien vertailuissa havaittu tilastollisia eroja V2-muuttujissa muualla kuin toisella kuvauspaikalla eli Impilinnan nousun alussa, missä syklinpituus oli ryhmien nopeuseroja määrittävä muuttuja. Miesten kisassa myös muilla kuvauspaikoilla on havaittavissa sama trendi V2-syklinpituuden merkityksestä, mutta erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkittäviä. Miehet käyttivät kuvauspaikoilla enemmän V2-tekniikkaa kuin naiset johtuen ylävartalon käytön merkityksestä V2-tekniikalla hiihdettäessä ylämäkiosuuksilla kuten Kvamme ym. (2005) raportoivat.

8.4 Tutkimuksen soveltavuus ja luotettavuus

Tutkimuksen mahdolliset luotettavuusongelmat liittyvät väliaika-analyysissa sektoreiden määrittelyyn ja kuvatus videomateriaalin manuaaliseen analysointiin ja sen seurauksena mahdollisesti syntyneisiin kvantisointivirheisiin. Ehkä olisi ollut perusteltua jakaa sektori viisi kahteen osaan siten, että lammen rannasta eli sektorin alusta alkava hivuttava nousuosuus, joka päättyy alikulun jälkeiseen nousuun olisi ollut B-kategorian nousuna oma sektorinsa. Tällöin nousuosuuksien osuus kilpailun pituudesta olisi lähempänä todellisuutta ja samalla niiden merkitys kilpailun lopputuloksiin olisi vahvistunut tämän tutkimuksen tuloksissa. Tutkimuksen mahdolliset kvantisointivirheet ovat luonteeltaan systemaattisia kullakin kuvauspaikalla, ja koska kaikki videot on analysoitu samalla tavalla yhden henkilön toimesta, niin kilpailijoiden välillä ei pitäisi olla tutkimuksen tuloksiin vaikuttavia karkeita virheanalysointeja. Lisäksi varsinkin Impilinnan nousuun lähettäessä olisimme halunneet kuvauskameroiden sijainnin hieman alemmaksi, jotta tekniikanvaihdot olisivat osuneet paremmin kameran kohdalle, mutta se ei kilpailun televisioinnin vuoksi ollut mahdollista. Kameroiden sijainti on tämäntyyppisessä tutkimuksessa erittäin merkityksellinen kvantisoinnin tarkkuuden kannalta, koska kaksiulotteisesta videomateriaalista on sitä haastavampaa tutkia, mitä kauempana viistosti kamerasta mielenkiinnon kohteina olevat tapahtumat tapahtuvat. Lisäksi voidaan pohtia, että kuvaavatko valitut kuvauspaikat kilpailijoiden tutkittuja kinemaattisia muuttujia ja niiden

välisen tekniikanvaihtojen strategioita riittävän hyvin koko kilpaladun osalta. Tässä tutkimuksessa keskityttiin kilpailijoiden toteutuksiin kilpaladun merkittävimmissä nousuissa, jotka profiililtaan ovat pitkälti samantyyppisiä. Nousujen päällä kummassakin kuvauspaikassa tultiin varsin jyrkästä noususta loivemmalle nousuosuudelle, ja nousujen alkuihin sijoitettuihin kuvauspaikkoihin saavuttiin vauhdikkaasti pienen laskuosuuden jälkeen. Tarkasti ottaen maaston profiili ja kilpailun aikaiset keliolosuhteet määrittelevät tutkittujen muuttujien välisiä suhteita kuvauspaikoilla, joten tutkimustulokset eivät ole absoluuttisesti verrannollisia profiililtaan kovin erilaisiin maastonkohtiin. Loivilla nousuosuuksilla ja liukkaalla kelillä V2-tekniikan merkitys korostuu, kun vastaavasti jyrkissä nousuissa ja luistoltaan nihkeissä lumiolosuhteissa V1- tekniikan merkitys korostuu. Valittujen tutkimusmenetelmien avulla saatujen tutkimustulosten todetaan kuitenkin antavan arvokasta tietoa tutkittujen muuttujien välisistä suhteista tutkimuksenalaisissa maaston profiileissa ja ne kuvaavat hyvin kilpahiihtäjien toteutuksia tutkittujen nousujen alussa ja niiden päällä.

Kolmas tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttava tekijä on vertailuryhmien pienet koot eräillä kuvauspaikoilla. Tässä tutkimuksessa haluttiin keskittyä nimenomaan maailmancupin aivan terävimpään kärkeen ja pyrittiin löytämään kilpailun voiton kannalta merkittäviä muuttujia valittujen tutkimusmenetelmien avulla. Tehdyt ryhmävalinnat johtivat siihen, että ryhmien sisällä tiettyjä strategioita käyttäneitä kilpailijoita saattoi olla vähän, mikä aiheuttaa epävarmuutta tilastollisten merkitsevyyksien osalta.

8.5 Mahdolliset jatkotutkimukset

Suoritetun tutkimuksen vahvuudeksi voidaan lukea maailman parhaiden maastohiihtäjien tutkiminen autenttisessa kilpailutilanteessa sen sijaan, että olisi suoritettu suunniteltu tutkimus koehenkilöiden suorittamana tietyllä testiradalla. Maastohiihdon maailmancupin tason kilpailuista on tehty yllättävän vähän tieteellisiä tutkimuksia, joten tarve tehdä tämä tutkimus oli perusteltu. Tämän tutkimuksen toteutuksen heikkouksiin voidaan lukea käytössä olleet manuaaliset menetelmät videoiden analysoinnissa, koska nykyisin löytyy

kehittyneitä teknisiä apuvälineitä ja sovelluksia videoiden analysointiin ja urheilijoiden liikkeentunnistukseen. Kyseiset liikkeentunnistukseen kykenevät tekniset apuvälineet eli IMU-moduulit ovat kiihtyvyyssantureita, gyroskooppeja ja GPS-moduuleita tai niiden yhdistelmiä. Jopa nykyaikaiset älypuhelimet sisältävät IMU-moduuleja ja niille on kehitetty sovelluksia, jotka kykenevät tunnistamaan maastohiihtäjien tekniikoita ja luonnollisesti laskemaan maastohiihtäjien hetkellisiä nopeuksia. Lisäksi markkinoilta löytyy maastohiihdon tutkimiseen kehitettyjä kannettavia laitteita, jotka kykenevät liikkeentunnistuksen avulla tunnistamaan käytettyjä tekniikoita ja GPS-tekniikan avulla laskemaan maastohiihtäjien nopeuksia. Maailmancupin tasoisen kilpailun osalta tällaisten laitteiden saaminen kilpailijoiden kannettavaksi on ymmärrettävästi haasteellista, mutta ei kuitenkaan mahdotonta sillä FIS edellyttää nykyisin tietyissä kilpailuissa kaikilta kilpailijoilta GPS-laitteiden kantamista, mitä voitaisiin hyödyntää kilpailuanalyseissä. Yritimme saada hyväksyntää kyseisten laitteiden mukaan saamiseksi tässä yhteydessä analysoituihin kilpailuihin, mutta se ei ollut tällä kertaa mahdollista, joten jouduimme käyttämään perinteisiä tutkimusmenetelmiä. Tulevaisuudessa olisikin mielenkiintoista tehdä vastaavanlainen tutkimus nykyaikaisia laitteita hyödyntäen, mutta ainakin tutkimusdatan keräyksen eli tässä tutkittujen kilpailujen ajankohtana oli näiden laitteiden ongelma juurikin niiden riittävä tarkkuus tekniikanvaihtojen tunnistuksissa. Videomateriaalin analysointia jatkotutkimuksissa helpottaisi, mikäli kamerat olisivat laajakuvaisilla linsseillä varustettuja ja riittävän kauas kiinteästi asennettuja ettei kameroilla tarvitsisi seurata kilpailijoita jolloin kaikki mittasuhteet säilyisivät kuvausalueilla vakioina.

8.6 Johtopäätökset

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että distanssikilpailussa nopeimmat eliittihiihtäjät tekivät ylämäkiosuuksilla eniten eroa suhteutettuna hiihdettyyn matkaan kilpailussa huonommin sijoittuneisiin eliittihiihtäjiin, joten tutkimuksen ensimmäinen hypoteesi tuli osoitetuksi toteen tutkituissa naisten ja miesten maailmancupin kilpailuissa. Vaikka nousuosuuksien merkitys kilpailun lopputulosten kannalta onkin kiistaton, niin tasaisten ja vaihtelevien osuuksien merkitystä ei tule väheksyä eli myös niissä tulee kilpailijoiden pystyä

ylläpitämään hyvää vauhtia. Maastohiihdossa on jokainen kilpailumaasto erilainen ja kilpailijoiden on laadittava itselleen parhaiten toimiva taktiikka vauhdinjaon suhteen omien vahvuuksien kautta ja kilpaladun profiiliin mahdollisimman hyvin soveltuvaksi. Naisten kilpailussa todettiin suuria hajontoja kilpailun raskaimpien ylämäkiosuuksien vauhteissa, mutta kilpailun voittaja ratkaisi kilpailun jo sen ensimmäisessä ylämäessä ollen kilpailun nopein myös kilparadan muilla nousuosuuksilla. Miesten kilpailussa nousuosuuksien hiihtonopeudet korreloivat lopputulosten kanssa naisten vauhteja enemmän eikä heillä havaittu yhtä suuria hajontoja kilparadan nousuosuuksilla. Miesten kilpailussa toinen kierros ja varsinkin sen nousuosuudet olivat kilpailun lopputulosten kannalta merkittävämpiä ja kilpailun voiton suhteen ratkaisevin ylämäki oli Impilinnan nousu, jossa kilpailun voittaja teki eniten eroa muihin kilpailun molemmilla kierroksilla ja ratkaisi kilpailun voiton itselleen. Vauhdinjoallisesti mieskilpailijat noudattivat vain paria poikkeusta lukuun ottamatta positiivista vauhdinjakoja eli heidän jälkimmäinen kierroksensa oli ensimmäistä heidän kierrostaan hitaampi.

Kilpailijoiden tekniikanvaihtokohdat korreloivat naisten ja miesten kuvausalueiden keskinopeuksien kanssa vain kilparadan viimeisessä ylämäessä eli stadionin nousussa, mikä ei ole linjassa tutkimuksen toisen hypoteesin kanssa. Kummassakin kilpailuissa V1-tekniikkaan kuvausalueilla tai sen jälkeen vaihtaneet kilpailijat olivat nousuun lähdeettäessä nopeampia kuin kilpailijat, jotka vaihtoivat V1-tekniikkaan huomattavasti aikaisemmin ennen kuvausaluetta. Nousujen päällä naisilla ei havaittu eroja nopeuksissa kuvausalueilla V2-tekniikkaan vaihtaneiden eduksi, mutta miehillä Impilinnan nousun loivalla osuudella todettiin tilastollisesti merkittävä nopeusero V2-tekniikkaan vaihtaneiden kilpailijoiden eduksi. Tutkimuksessa tutkittujen vertailuryhmien (R1: sijat 1–10; R2: sijat 11–30) välisissä vertailuissa ylämäen päällä aikaisempi tai nousuun lähdeettäessä myöhempi tekniikan vaihtokohta ei erottunut tilastollisesti merkittävästi nopeamman ryhmän eduksi kummassakaan kilpailussa. Johtopäätös tekniikanvaihtokohdan merkityksestä maailmancupin pisteille sijoittuneiden kilpailijoiden joukossa on, että kilpailijoiden edun mukaista olisi vaihtaa tekniikkaa kohdassa, jossa he kykenevät tekniikanvaihdon hetkellä vallitsevan nopeuden optimaaliseen V2-tekniikan syklinpituuteen heidän luontaisella

voimatuotollaan ja hiihtofrekvenssillään. V2-tekniikan etu verrattuna V1-tekniikkaan perustuu maastohiihtäjän kykyyn saavuttaa ja ylläpitää riittävän pitkät V2-syklinpituudet. Täten optimaalinen tekniikan vaihtokohta sijaitsee nousuihin lähettäessä kohdassa, jossa V2-syklinpituus lyhenee ja kilpailija kykenee ylläpitämään samaa nopeutta V1-tekniikkaa käyttäen heidän luontaisella hiihtofrekvenssillään ja voimantuotollaan suhteessa nousun jyrkkyyteen. Vastaavasti nousujen päällä optimaalinen tekniikan vaihtokohta sijaitsee kohdassa, jossa kilpailija kykenee hiihtämään jyrkän osuuden jälkeen V1-tekniikalla kiihdytettyä nopeutta taloudellisemmin V2-tekniikkaa käyttäen.

Kinemaattisen muuttujien osalta kummassakin kilpailussa todettiin, että V2-syklinpituus oli tutkituissa maastonkohdissa merkityksellisempi muuttuja kuin V2-frekvenssi. Miesten kilpailussa V1-syklinpituus oli hiihtovauhdin kannalta tärkeämpi kuin V1-frekvenssi, mutta naisilla V1-frekvenssi oli yllättäen kilparadan ensimmäisen nousun päällä merkityksellisin muuttuja eikä V1-syklinpituuksissa todettu eroja millään kuvauspaikalla.

Tämä tutkimus antaa mielenkiintoista tutkimustietoa maailman parhaiden maastohiihtäjien vauhdinjaosta ja heidän tekniikanvaihtoihin liittyvistä strategioistaan ylämäkien päällä ja niihin lähettäessä Rukan maailmancupin vapaan hiihtotekniikan väliaikalähtökilpailussa. Varsinkaan tekniikanvaihtoja ja erilaisten tekniikanvaihtostrategioiden vaikutuksia kilpailijoiden nopeuksiin ei ole aikaisemmin tässä toteutetun tutkimusmenetelmän mukaisesti näin korkeatasoisessa kilpailussa aikaisemmin raportoitu. Tutkimustulosten uskotaan antavan ja maastohiihtäjille ja heidän valmentajilleen uutta tietoa tai vahvistusta heidän olemassa oleville käsityksilleensä, kuinka laatia optimaalinen vauhdinjako tuleviin kilpailuihin. Lisäksi tulosten toivotaan selventävän erilaisten tekniikanvaihtostrategioiden merkitystä nousuosuuksilla ja varsinkin antavan luottoa hiihtää jyrkkien nousujen päällä riittävästi V1-tekniikalla vauhtia kasvattaen ennen tekniikanvaihtoa V2-tekniikkaan. Lisäksi tutkimus antanee maastohiihtäjille luottoa saavuttaessa nousuihin vauhdikkaalta osuudelta vaihtaa V1-tekniikkaan riittävän ajoissa kun riittävää V2 -syklinpituutta ei pystytä enää säilyttämään.

9 LÄHTEET

- Abbiss, CR & Laursen, PB. 2008. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine* 38, 239–252.
- Alsobrook, NG & Heil, DP 2009. Upper body as a determinant of a classical cross-country ski performance. *European Journal of Applied Physiology* 105, 633–41.
- Andersson, E., Holmberg, H. C., Ørtenblad, N., & Björklund, G. 2016. Metabolic responses and pacing strategies during successive sprint skiing time trials. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48, 2544–2554.
- Andersson, E., Supej, M., Sandbakk, Ø., Sperlich B., Stöggl, T. & Holmberg, H. C. 2010. Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system. *European Journal of Applied Physiology* 110, 585–595.
- Bilodeau, B., Boulay, M.R. & Roy, B. 1992. Propulsive and gliding phases in four cross country skiing techniques. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 24, 917–925.
- Bilodeau, B., Rundell, K. W., Roy, B. & Boulay, M.R. 1996. Kinematics of cross-country ski racing. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28(1), 128–138.
- Boulay MR, Rundell KW & King DL 1995. Effect of slope variation and skating technique on velocity in cross-country skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 27, 281–287.
- Carlsson T, Carlsson M, Hammarström D, Rønnestad BR, Malm CB & Tonkonogi M. 2015 Optimal VO_{2max} -to-mass ratio for predicting 15 km performance among elite male cross-country skiers. *Open Access Journal of Sports Medicine* 6, 353–360.
- Danielsen, J., Sandbakk, Ø., Holmberg, H.-C. & Ettema, G. 2015. Mechanical energy and propulsion in ergometer double poling by cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 47, 2586–2594.
- Ekström, H. 1981. Force interplay in cross-country skiing. *Scandinavian Journal of Sports Science* 3, 69–76.

- Gregory, R.W., Humphreys, S.E. & Street, G.M. 1994. Kinematic analysis of skating technique of Olympic skiers in the women's 30-km race. *Journal of Applied Biomechanics* 10, 382–392.
- Göpfert C, Lindinger SJ, Ohtonen O, Rapp W, Müller E & Linnamo V. 2016. The effect of swinging the arms on muscle activation and production of leg force during ski skating at different skiing speeds. *Human Movement Science* 47, 209–19.
- Göpfert, C., Pohjola, M., Linnamo, V. Ohtonen, O., Rapp, W. & Lindinger, S. 2015. Calculation of propulsive forces in ski skating. *Science and Nordic Skiing III*.
- Hegge AM, Bucher E, Ettema G, Faude O, Holmberg HC & Sandbakk O 2016. Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite cross-country skiers during whole-body, upper-body, and arm poling. *European Journal of Applied Physiology* 116(2), 291–300.
- Hegge, A. M., Ettema, G., de Koning, J. J., Rogstad, A. B., Hoset, M. & Sandbakk, Ø. 2014. The effects of the arm swing on biomechanical and physiological aspects of roller ski skating. *Human Movement Science* 36, 1–11.
- Holmberg H.C, Lindinger S, Stöggl T, Björklund G & Müller E. 2006. Contribution of the legs to double-poling performance in elite cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 38(10), 1853–1860.
- Holmberg, H.C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E. & Müller, E. 2005. Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37, 807–818.
- Ingjer, F 1991. Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in woman and man elite cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 1(1), 25–30.
- Kansainvälinen hiihtoliitto (FIS). FIS – Maastohiihdon kansainväliset lajisäännöt. 2016. [pdf-dokumentti]. http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/Cross-Country/02/95/69/ICRCross-Country2016_clean_English.pdf. 23.2.2018.
- Kansainvälinen hiihtoliitto (FIS). FIS – Maastohiihdon kilpailukalenteri 2015–16. [www-dokumentti]. <http://www.fis-ski.com/cross-country/events-and-places/calendar/>. 11.4.2018.

- Kinovea Org. Kinovea videoanalysointiohjelman esimerkkisovellus. [www-dokumentti]. <http://www.kinovea.org/>. 18.12.2016.
- 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.
- Komi, P. V. & Norman, R. W. 1987. Preloading of the thrust phase in cross-country skiing. International Journal of Sports Medicine 8, 48–54.
- Kvamme B, Jakobsen B, Hetland S & Smith G 2005. Ski skating technique and physiological responses across slopes and speeds. European Journal of Applied Physiology 95, 205–212.
- Leirdal, S., Sandbakk, O. & Ettema, G. 2013. Effects of frequency on gross efficiency and performance in roller ski skating. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports 23, 295–302.
- Leppävuori, Rusko, Turpeinen & Mononen 1989. Hiihdon väliaikatutkimus Lahden MM-kisoista. Liikuntatieteellinen julkaisusarja 1/90.
- Leppävuori, A.P, Karras, M., Rusko, H. & Viitasalo, J.T., 1993. A New Method of Measuring 3-D Ground Reaction Forces Under the Ski During Skiing on Snow. Journal of Applied Biomechanics 9, 315–328.
- Losnegard, T, Kjeldsen, K & Skattebo, O. 2016a. An analysis of the pacing strategies adopted by elite cross-country skiers. Journal of Strength & Conditioning Research 30, 3256–3260.
- Losnegard T, Myklebust H, Ehrhardt A & Hallen J 2016b. Kinematical analysis of the V2 ski skating technique: a longitudinal study. Journal of Sports Sciences 35(12), 1219–1227.
- Mahood, NV, Kenefick, RW, Kertzer, R & Quinn, TJ 2001. Physiological determinants of cross-country ski racing performance. Medicine & Science in Sports & Exercise 33, 1379–1384.

- Marsland, F., Lyons, K., Anson, J., Waddington, G., Macintosh, C. & Chapman, D. 2012. Identification of cross-country skiing movement patterns using micro-sensors. *Sensors* 12, 5047–5066.
- Mikkola, J. 2009a. Maastohiihdon koulutusmateriaali. KIHU – julkaisematon Suomen hiihtoliiton oppimateriaali.
- Mikkola, J. 2009b. Taidon ja hiihtotekniikan oppiminen ja valmentaminen. KIHU – julkaisematon Suomen hiihtoliiton oppimateriaali.
- Mikkola J., Laaksonen M., Holmberg HC., Vesterinen V. & Nummela A. 2010. Determinants of a simulated cross-country skiing sprint competition using V2 skating technique on roller skis. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24, 920–928.
- Millet, G.Y., Guillaume Y., Hoffman, M. D., Matrin, D., Candau, R.B. & Clifford, P.S. 1998a. Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30(11), 1645–1653.
- Millet, G.Y., Hoffman, M. D., Candau, R.B. & Clifford, P.S. 1998b. Poling forces during roller skiing: effects of grade. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30(11), 1637–1644.
- Myklebust H., Gløersen Ø. & Hallén J. 2015. Validity of Ski Skating Center-of-Mass Displacement Measured by a Single Inertial Measurement Unit. *Journal of Applied Biomechanics* 31, 492–498.
- Myklebust, H., Losnegard, T. & Hallén, J. 2014. Differences in V1 and V2 ski skating techniques described by accelerometers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24, 882–893.
- Nilsson, J., Jacobsen, V., Tveit, P. & Eikrehagen, O. 2003. Pole length and Ground Reaction Forces During Maximal Double Poling in Skiing. *Sports Biomechanics* 2(2), 227–23.
- Nilsson, J., Tveit, P. & Eikrehagen, O. 2004. Effects of speed on temporal patterns in classical style and freestyle cross-country skiing. *Sports Biomechanics* 3, 85–108.
- Norman RW & Komi PV 1987. Mechanical energetics of world-class cross-country skiing. *International Journal of Sport Biomechanics* 3, 353–369.

- Norman RW, Ounpuu S, Fraser M & Mitchell R 1989. Mechanical power output and estimated metabolic rates of Nordic skiers during Olympic competition. *International Journal of Sport Biomechanics* 5, 169–184.
- Ohtonen, O. 2010. The effect of ski gliding properties on the force production of V2-technique. Master's Thesis, University of Jyväskylä, Department of Biology of Physical Activity.
- Ohtonen, O., Lindinger, S. J., Göpfert, C., Rapp, W. & Linnamo, V. 2018. Changes in biomechanics of skiing at maximal velocity caused by simulated 20-km skiing race using V2 skating technique. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 28(2), 479–486.
- Ohtonen, O. & Mikkola, J. 2016. Maastohiihdon lajianalyysi ja harjoittelun ohjelmointi. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen (toim.) *Huippuurturheilunvalmennus*. VK-Kustannus Oy. 491–519.
- Ohtonen, O., Ruotsalainen, K., Mikkonen, P., Heikkinen, T., Hakkarainen, A., Leppävuori, A. & Linnamo, V. 2015. Online feedback system for athletes and coaches. *Science and Nordic Skiing III*.
- Pellegrini B., Zoppirolli C., Bortolan L. & Schena F. 2015. Biomechanics of cross-country skiing, from single segment to whole body movement. 3rd International Conference on Science and Nordic Skiing.
- Rundell KW, Mc Carthy JR. 1996. Effect of kinematic variables on performance in women during a cross-country ski race. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28(11), 1413–1417.
- Rusko, H. 2003. Cross-country skiing. 1–31. Blackwell Science, Ltd. Oxford, UK.
- Sakurai, Y, Fujita, Z & Ishige, Y 2016. Automated identification and evaluation of subtechniques in classical-style roller skiing. *Journal of Sports Science and Medicine* 13, 651–657.
- Sakurai, Y, Fujita Z & Ishige, Y 2016. Automatic Identification of Subtechniques in Skating-Style Roller Skiing Using Inertial Sensors. *Sensors* 16, 473.
- Saltin, B & Åstrand, PO. 1967. Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology* 23(3), 353–358.

- Sandbakk Ø, Ettema G & Holmberg HC. 2012. The influence of incline and speed on work rate, gross efficiency and kinematics of roller ski skating. *European Journal of Applied Physiology* 112(8), 2829–2838.
- Sandbakk O, Ettema G & Holmberg HC 2014. Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24(1), 28–33.
- Sandbakk Ø & Holmberg HC 2014. A Reappraisal of Success Factors for Olympic Cross-Country Skiing, *International Journal of Sports Physiology and Performance* 9,117–121.
- Smith, G. A. 1992. Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 24, 1015- 1022.
- Smith, G. A. & Heagy, B.S. 1994. Kinematic analysis of skating technique of Olympic skiers in the men's 50-km race. *Journal of Applied Biomechanics* 10, 79–88.
- Smith G., McNitt-Gray J. & Nelson R. 1988. Kinematic Analysis of Alternate Stride skating in Cross-Country Skiing. *International Journal of Sport Biomechanics* 4, 49–58.
- Smith, G. 2003. Biomechanics of cross country skiing. In *Cross Country Skiing book*. Rusko, H. (Editor), *Handbook of sports medicine and science*, Blackwell Science Ltd. 32–61.
- Staib, JL, Joohee, IM, Caldwell, Z & Rundell, KW 2000. Cross-country ski racing performance predicted by aerobic and anaerobic double poling power. *Journal of Strength and Conditioning Research* 14, 282–288.
- Stöggl, T., Holst, A., Jonasson, A., Andersson, E., Wunsch, T., Norström, C, & Holmberg, H. C. 2014. Automatic classification of the sub-techniques (gears) used in cross-country ski skating employing a mobile phone. *Sensors* 14(11), 20589–20601.
- Stöggl T, Kappel W, Muller E, & Lindinger S 2010. Double-push skating versus V2 and V1 skating on uphill terrain in cross-country skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 42(1), 187–196.
- Stöggl, T., Lindinger, S. & Muller, E. 2006. Biomechanical Validation of a Specific Upper Body Training and Testing Drill in Cross-Country Skiing. *Sports Biomechanics* 5(1), 23–46.

- Stöggl T & Müller E. 2009. Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41(7), 1476–87.
- Stöggl T., Müller E., Ainegren M. & Holmberg HC. 2011. General strength and kinetics: Fundamental to sprinting faster in cross-country skiing? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21(6), 791–803.
- Tieto-Oskari Oy. SKI SPEED – langaton suksen luiston mittalaite. [www-dokumentti]. <http://www.tieto-oskari.com/tuotteet/skispeed/>. 29.11.2017.
- 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* 40(6), 1111–1116.
- Van den Bogert AJ, Read L & Nigg BM. 1999. An analysis of hip joint loading during walking, running and skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31(1), 131–142.
- Welde B., Stöggl T. L., Mathisen G. E., Supej M., Zoppirolli C., Winther A. K., Pellegrini B. & Holmberg H. C. 2017. The pacing strategy and technique of male cross-country skiers with different levels of performance during a 15-km classical race. *Plos One* 12, e0187111.
- Zatsiorsky V.M. 2002. 499–535. Kinetics of human motion, *Human Kinetics*, US.

10 LIITTEET

LIITE 1. Perusluistelun (V1) vaiheet tavoitteet ja ydinkohdat (muokattu Mikkola 2009b).

TYÖNTÖLIUKU		VAPAA LIUKU	
Työntövaihe	Ponnistusvaihe	Liukuvaihe	Ponnistusvaihe
alkukohta			
Sauvojen maakontaktin alku.	- Suksi kiertynyt sisäkantille - Jalan voimantuoton alku	Työntöpuolen jalan voimantuoton loppu	- Suksi kiertynyt sisäkantille - Jalan voimantuoton alku
loppukohta			
Sauvojen maakontaktin loppu.	Jalan voimantuoton loppu	Sauvojen maakontaktin alku.	Jalan voimantuoton loppu
tavoitteet			
Tuottaa mahdollisimman paljon eteenpäin vievää vaakavoimaa ja tukea liikettä liukuasennossa.	Tuottaa mahdollisimman paljon eteenpäin vievää vaakavoimaa ja suorittaa painosiirto jalalta toiselle.	Hetkellinen rentoutus ja valmistautuminen uuteen ponnistukseen ja painonsiirtoon.	Tuottaa mahdollisimman paljon eteenpäin vievää vaakavoimaa ja suorittaa painosiirto jalalta toiselle.
ydinkohdat			
<p>Sauvat ovat eteenpäin kallistuneina maakontaktin alussa.</p> <p>Suksikulman tulee olla mahdollisimman pieni ja se määräytyy vauhdin ja mäen jyrkkyyden mukaan.</p> <p>Käsien asento on työnnön alussa hieman epäsymmetrinen. Työntöpuolen käsi on hieman pidemmällä ja korkeammalla edessä.</p> <p>Työnnön suunta suoraan taaksepäin etenemissuunnan mukaisesti välttäen ylimääräisiä vartalonkiertoja.</p> <p>Työntöpuolen suksen ja sauvojen maakontakti tapahtuu samanaikaisesti.</p> <p>Sauvatyöntö ja jalan puristava voimantuotto sivulle alkavat samanaikaisesti.</p> <p>Sauvatyöntö suoritetaan jalan voimantuoton aikana.</p>	<p>Suksi kääntyy puristavan voimantuoton alkaessa kantille.</p> <p>Käsien tullessa vartalolinjalle alkaa painonsiirto ja voimaa tuottavan jalan polvea painetaan eteenpäin.</p> <p>Sauvojen maakontaktin lopussa ponnistava jalka aloittaa ojentumisen.</p> <p>Voimaa tuottava jalka ojentuu samanaikaisesti painon siirtyessä uudelle liu'ulle.</p> <p>Voimaa tuottavan jalan ojennus suoritetaan loppuun voimakkaalla pohkeen käytöllä.</p>	<p>Suksi askeletaan tasapohjalle riittävän eteen.</p> <p>Painopiste liikkuu tukipisteen etupuolelle.</p> <p>Suksikulma on mahdollisimman pieni ja määräytyy vauhdin ja mäen jyrkkyyden mukaan.</p> <p>Ylävartalon asento säilyy samanlaisena.</p>	<p>Kädet, askeltava jalka ja ylävartalo tuodaan samanaikaisesti ja nopeasti suoraa linjaa eteen.</p> <p>Askeltava jalka tuodaan ulkokautta hieman liukujalan etupuolelle, painopisteen alle.</p> <p>Voimaa tuottava jalka ojentuu suoraksi, samanaikaisesti painon siirtyessä uudelle liu'ulle ja yhtäaikaistulle uudelle sauvatyönölle.</p> <p>Voimaa tuottavan jalan ojennus suoritetaan loppuun voimakkaalla pohkeen käytöllä juuri ennen uuden työnnön alkua.</p>

LIITE 2. Yksivaiheisen luistelun (V2) vaiheet, tavoitteet ja ydinkohdat (muokattu Mikkola 2009b).

Liukuvaihe	Työntövaihe	Ponnistusvaihe
alkukohta		
Jalan voimantuoton loppu.	Sauvojen maakontakti.	Jalan voimantuoton alkua. Sauvojen maakontakti.
loppukohta		
Sauvojen maakontakti	Sauvojen maakontaktin päätyminen	Voimaa tuottavan jalan ojennus ja voimantuoton loppu.
tavoitteet		
Hetkellinen rentoutus ja valmistautuminen sauvatyöntöön sekä lantion tuonti eteen ja ylös liukua keventäen.	Tuottaa mahdollisimman paljon eteenpäin vievää vaakavoimaa, toteuttaa esikevennys ponnistusta varten ja tukea painosiirtoa jalalta toiselle.	Tuottaa mahdollisimman paljon eteenpäin vievää vaakavoimaa sekä toteuttaa painosiirtoa jalalta toiselle.
ydinkohdat		
Painopiste on tukipisteen päällä ja pysyy siellä koko liukuvaiheen ajan suksen liukuessa tasapohjalla.	Sauvat ovat eteenpäin kallistuneina maakontaktin alussa.	Jalan voimantuotto ja painonsiirto alkavat samanaikaisesti käsityönnön kanssa.
Suksikulma mahdollisimman pieni ja määräytyy vauhdin mukaan.	Sauvatyöntö suuntautuu taakse päin suksen liukusuunnan mukaisesti.	Sauvojen maakontaktin lopussa voimaa tuottava jalka aloittaa ojentumisen.
Jalka ja kädet tuodaan yhtä aikaa eteen.	Vartalotyönnön aikana nilkka, polvi, lantio ja hartia ovat samassa linjassa edestä katsottuna.	Voimaa tuottava jalka ojentuu suoraksi samanaikaisesti painon siirtyessä uudelle liu'ulle.
Jalka tuodaan ulkokautta hieman liukujalan etupuolelle, painopisteen alle.	Vartalotyönnön ajan painopiste säilyy tukipisteen päällä.	Voimaa tuottavan jalan ojennus suoritetaan loppuun voimakkaalla pohkeen käytöllä.
Kädet tuodaan asennon säilyttämiseksi riittävän eteen hartialinjan tasolle.	Sauvatyöntö jatkuu käsityönnöllä ja painonsiirrolla vartalotyönnön päättyessä.	
Lantio tuodaan eteen ja ylös oikea-aikaisesti.	Käsityöntö viedään loppuun jalan voimantuoton aikana.	

LIITE 3. Rukan maailmancupin kisalatu ja profiili. Kuvaan on merkitty sinisillä nuolilla väliaikapisteet ja punaisilla nuolilla videointipaikat (<http://www.kev.fi/hiihto/latukartat/>).



RUKANORDIC.COM

KUUSAMO 2014

Ruka Finland

Kilparata Race course 5 km

Kartta 1:10 000

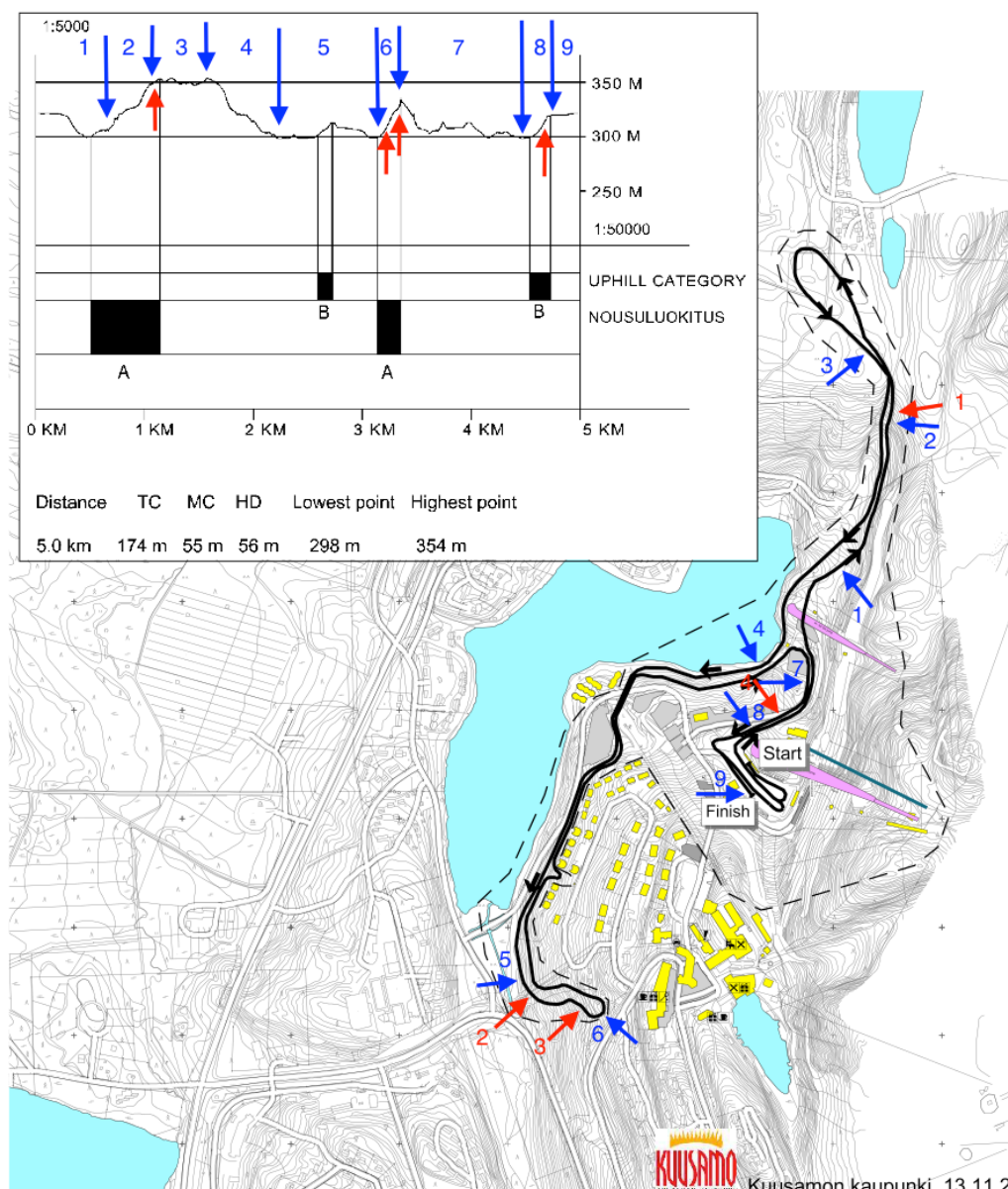
Profiili 1:50 000 / 5 000

Väliaika-analyysin sektorit

Kuvauspaikkojen sijainnit

10 km: Women, (F, 2 x 5 km)

15 km: Men, (F, 3 x 5 km)



LIITE 4. Naisten kilpailussa maailmancupin pisteille hiihtäneiden kilpailijoiden väliaika-analyysin sektoriaikojen keskiarvot ja -hajonnat sekä vertailuryhmien väliset aikaerot. R1: kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10), R2: loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 21). Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05) , ** = (p < 0,01).

	Ryhmä 1 Keskiarvo ± SD, N = 10	Ryhmä 2 Keskiarvo ± SD, N = 21	Aikaero (s)
Loppuaika	11:51,0 ± 0:11,4	12:11,0 ± 0:04,6	20,0**
Sektori 1	1:11,9 ± 0:01,4	1:11,5 ± 0:01,5	-0,4
Sektori 2	1:35,8 ± 0:04,7	1:39,0 ± 0:03,0	3,2*
Sektori 3	1:14,3 ± 0:01,6	1:16,6 ± 0:01,1	2,3**
Sektori 4	1:08,3 ± 0:01,3	1:09,7 ± 0:02,0	1,4*
Sektori 5	2:00,3 ± 0:01,8	2:03,9 ± 0:02,3	3,6**
Sektori 6	1:03,3 ± 0:02,6	1:05,2 ± 0:01,7	1,9
Sektori 7	2:22,3 ± 0:03,4	2:26,2 ± 0:03,4	3,8**
Sektori 8	0:36,3 ± 0:02,2	0:38,8 ± 0:01,3	2,4**
Sektori 9	0:38,3 ± 0:01,4	0:40,0 ± 0:01,2	1,7**
Laskuosuudet (1 & 4) 1500 m	2:20,2 ± 0:01,9	2:21,2 ± 0:02,6	1,1
Nousuosuudet (2, 6 & 8) 670 m	3:15,5 ± 0:08,1	3:23,1 ± 0:02,8	7,6**
Tasaiset/vaihtelevat osuudet (3, 5, 7 & 9) 2830 m	6:15,3 ± 0:05,6	6:26,7 ± 0:04,1	11,4**

LIITE 5. Ensimmäisen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien keskiarvot ja –hajonnat naisten kilpailussa. R1: kilpailun kymmenen nopeinta (N = 9), R2: loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 19: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 18: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta). Mann-Whitney -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05).

	R1	R2	Mann-Whitney p-arvo
	Keskiarvo ± SD		
V1 nopeus (m/s)	3,59 ± 0,22	3,49 ± 0,28	0,161
V1 frekvenssi (1/s)	0,97 ± 0,06	0,91 ± 0,06	0,029*
V1 syklinpituus (m)	3,70 ± 0,24	3,84 ± 0,31	0,300
Tekniikan vaihtokohta (m)	-3,67 ± 7,55	-4,50 ± 7,71	0,797
V2 nopeus (m/s)	4,35 ± 0,24	4,24 ± 0,14	0,258
V2 frekvenssi (1/s)	1,20 ± 0,09	1,17 ± 0,07	0,643
V2 syklinpituus (m)	3,64 ± 0,22	3,63 ± 0,27	0,757
Kuvauspaikan keskinopeus (m/s)	3,97 ± 0,15	3,85 ± 0,10	0,036*

LIITE 6. Toisen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien keskiarvot ja -hajonnat naisten kilpailussa. R1: kilpailun kymmenen nopeinta (N = 3: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta, N = 10: V1 muuttujat ja keskinopeus), R2: loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 3: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta, N = 21: V1 muuttujat ja keskinopeus). Mann-Whitney -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05).

	R1	R2	Mann-Whitney p-arvo
	Keskiarvo ± SD		
V2 nopeus (m/s)	3,49 ± 0,54	3,08 ± 0,12	0,275
V2 frekvenssi (1/s)	1,18 ± 0,04	1,18 ± 0,20	0,513
V2 syklinpituus (m)	2,94 ± 0,35	2,68 ± 0,58	0,376
Tekniikan vaihtokohta (m)	-10,50 ± 0,87	-8,00 ± 4,27	0,507
V1 nopeus (m/s)	3,09 ± 0,21	2,97 ± 0,17	0,128
V1 frekvenssi (1/s)	1,00 ± 0,11	0,94 ± 0,05	0,183
V1 syklinpituus (m)	3,12 ± 0,34	3,17 ± 0,26	0,611
Kuvauspaikan keskinopeus (m/s)	3,14 ± 0,20	2,96 ± 0,15	0,017*

LIITE 7. Kolmannen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien keskiarvot ja -hajonnat naisten kilpailussa. R1: kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 4: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta), R2: loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 20: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 6: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta). Mann-Whitney -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05), ** = (p < 0,01).

	R1	R2	Mann-Whitney p-arvo
	Keskiarvo ± SD		
V1 nopeus (m/s)	2,89 ± 0,32	2,93 ± 0,20	0,692
V1 frekvenssi (1/s)	0,91 ± 0,07	0,89 ± 0,05	0,481
V1 syklinpituus (m)	3,21 ± 0,49	3,29 ± 0,31	0,628
Tekniikan vaihtokohta (m)	-0,13 ± 5,48	2,25 ± 3,50	0,394
V2 nopeus (m/s)	3,72 ± 0,19	3,75 ± 0,16	0,522
V2 frekvenssi (1/s)	1,14 ± 0,10	1,15 ± 0,07	0,915
V2 syklinpituus (m)	3,28 ± 0,42	3,26 ± 0,29	1,000
Kuvauspaikan keskinopeus (m/s)	3,09 ± 0,16	3,04 ± 0,14	0,344

LIITE 8. Neljännän kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien keskiarvot ja -hajonnat naisten kilpailussa. R1: kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10: V2 muuttujat ja keskinopeus, N = 9: V1 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta), R2: loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 18: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta, N = 19: V1 muuttujat ja keskinopeus). Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05), ** = (p < 0,01).

	R1	R2	
	Keskiarvo ± SD		Mann-Whitney p-arvo
V2 nopeus (m/s)	4,94 ± 0,38	4,39 ± 0,37	0,001**
V2 frekvenssi (1/s)	1,19 ± 0,09	1,19 ± 0,07	0,943
V2 syklinpituus (m)	4,18 ± 0,52	3,69 ± 0,34	0,024*
Tekniikan vaihtokohta (m)	-11,44 ± 5,68	-12,33 ± 8,62	0,589
V1 nopeus (m/s)	4,03 ± 0,25	3,95 ± 0,24	0,337
V1 frekvenssi (1/s)	1,06 ± 0,11	1,01 ± 0,07	0,081
V1 syklinpituus (m)	3,83 ± 0,47	3,94 ± 0,39	0,538
Kuvauspaikan keskinopeus (m/s)	4,47 ± 0,29	4,18 ± 0,13	0,007**

LIITE 9. Miesten kilpailussa maailmancupin pisteille hiihtäneiden kilpailijoiden väliaika-analyysin sektoriaikojen keskiarvot ja -hajonnat sekä vertailuryhmien väliset aikaerot. R1: kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10), R2: loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 21). Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05) , ** = (p < 0,01).

	Ryhmä 1 Keskiarvo ± SD, N = 10	Ryhmä 2 Keskiarvo ± SD, N = 20	Aikaero (s)
Loppuaika	21:24,0 ± 0:10,3	21:48,4 ± 0:06,0	24,4**
Kierros 1	10:34,0 ± 0:07,1	10:44,0 ± 0:05,9	10,1**
Kierros 2	10:50,1 ± 0:06,1	11:04,4 ± 0:07,2	14,3**
Sektori 1	1:06,7 ± 0:01,3	1:06,9 ± 0:01,6	0,2
Sektori 2	1:24,0 ± 0:03,0	1:26,7 ± 0:03,1	2,6*
Sektori 3	1:07,1 ± 0:01,2	1:08,4 ± 0:02,0	1,3
Sektori 4	1:02,2 ± 0:01,2	1:02,7 ± 0:01,4	0,6
Sektori 5	1:47,7 ± 0:02,0	1:48,6 ± 0:01,7	0,9
Sektori 6	0:53,1 ± 0:02,3	0:54,6 ± 0:01,8	1,5
Sektori 7	2:09,0 ± 0:01,8	2:11,3 ± 0:02,0	2,3**
Sektori 8	0:32,7 ± 0:01,6	0:32,5 ± 0:02,1	-0,2
Sektori 9	0:31,5 ± 0:00,9	0:32,5 ± 0:01,9	0,9
Sektori 10	1:09,5 ± 0:01,4	1:10,8 ± 0:01,7	1,3
Sektori 11	1:29,7 ± 0:02,4	1:32,4 ± 0:02,7	2,7*
Sektori 12	1:10,3 ± 0:01,5	1:11,7 ± 0:02,3	1,3
Sektori 13	1:04,6 ± 0:01,8	1:04,8 ± 0:02,3	0,3
Sektori 14	1:49,4 ± 0:02,0	1:51,6 ± 0:02,4	2,2*
Sektori 15	0:50,9 ± 0:02,9	0:53,7 ± 0:03,4	2,9*
Sektori 16	2:11,1 ± 0:01,9	2:12,9 ± 0:02,4	1,8
Sektori 17	0:29,8 ± 0:01,8	0:31,3 ± 0:03,2	1,5
Sektori 18	0:34,8 ± 0:01,3	0:35,2 ± 0:01,6	0,3

LIITE 10. Miesten kilpailussa maailmancupin pisteille hiihtäneiden kilpailijoiden väliaika-analyysin sektoriaikojen keskiarvot ja -hajonnat sekä vertailuryhmien väliset aikaerot maastotyypeittäin tarkasteltuna. R1: kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10), R2: loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 21). Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05) , ** = (p < 0,01).

	Ryhmä 1 Keskiarvo ± SD, N = 10	Ryhmä 2 Keskiarvo ± SD, N = 20	Aikaero (s)
Kierros 1: Laskusuudet (1 & 4) 1500 m	2:08,9 ± 0:01,8	2:09,6 ± 0:01,9	0,7
Kierros 1: Noususuudet (2, 6 & 8) 670 m	2:49,8 ± 0:05,7	2:53,7 ± 0:05,0	3,9
Kierros 1: Tasaiset/vaihtelevat osuudet (3, 5, 7 & 9) 2830 m	5:35,3 ± 0:04,1	5:40,7 ± 0:04,0	5,4**
Kierros 2: Laskusuudet (10 & 13) 1500 m	2:14,1 ± 0:02,6	2:15,6 ± 0:02,9	1,6
Kierros 2: Noususuudet (11, 15 & 17) 670 m	2:50,3 ± 0:03,7	2:57,4 ± 0:05,4	7,1**
Kierros 2: Tasaiset/vaihtelevat osuudet (12, 14, 16 & 18) 2830 m	5:45,7 ± 0:04,1	5:51,3 ± 0:05,9	5,6*
Kierros 1 & 2: Laskusuudet (1, 4, 10 & 13) 3000 m	4:22,9 ± 0:04,1	4:25,2 ± 0:04,2	2,3
Kierros 1 & 2: Noususuudet (2, 6, 8, 11, 15 & 17) 1340 m	5:40,1 ± 0:07,8	5:51,1 ± 0:07,5	11,1**
Kierros 1 & 2: Tasaiset/vaihtelevat osuudet (3, 5, 7, 9, 12, 14, 16 & 18) 5660 m	11:21,0 ± 0:07,0	11:32,0 ± 0:07,1	11,1**

LIITE 11. Ensimmäisen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien keskiarvot ja -hajonnat miesten kilpailussa. R1 (kierros 1): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10), R2 (kierros 1): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 20: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 19: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta). R1 (kierros 2): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 9: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 8: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta), R2 (kierros 2): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 17: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 15: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta). Mann-Whitney -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05), ** = (p < 0,01).

	Kierros 1			Kierros 2		
	R1	R2	Mann-Whitney	R1	R2	Mann-Whitney
	Keskiarvo ± SD		p-arvo	Keskiarvo ± SD		p-arvo
V1 nopeus (m/s)	4,05 ± 0,19	4,02 ± 0,22	0,553	4,03 ± 0,21	3,88 ± 0,27	0,112
V1 frekvenssi (1/s)	0,91 ± 0,04	0,89 ± 0,05	0,262	0,90 ± 0,05	0,88 ± 0,06	0,483
V1 syklinpituus (m)	4,47 ± 0,18	4,55 ± 0,30	0,509	4,51 ± 0,33	4,41 ± 0,29	0,318
Tekniikan vaihtokohta (m)	-5,90 ± 4,28	-5,39 ± 6,13	0,566	-5,31 ± 3,29	-3,47 ± 6,31	0,651
V2 nopeus (m/s)	4,76 ± 0,20	4,72 ± 0,22	0,836	4,71 ± 0,14	4,61 ± 0,20	0,259
V2 frekvenssi (1/s)	1,09 ± 0,04	1,09 ± 0,05	0,854	1,08 ± 0,04	1,10 ± 0,04	0,286
V2 syklinpituus (m)	4,38 ± 0,26	4,34 ± 0,22	0,748	4,36 ± 0,17	4,21 ± 0,16	0,060
Keskinopeus (m/s)	4,45 ± 0,13	4,36 ± 0,13	0,146	4,35 ± 0,19	4,22 ± 0,17	0,118

LIITE 12. Toisen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien keskiarvot ja -hajonnat miesten kilpailussa. R1 (kierros 1): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10: Keskinopeus, N = 8: V2 muuttujat, N = 7: tekniikan vaihtokohta, N = 9: V1 muuttujat), R2 (kierros 1): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 15: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta, N = 20: V1 muuttujat ja keskinopeus). R1 (kierros 2): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10: Keskinopeus, N = 5: V2 muuttujat, N = 4: tekniikan vaihtokohta, N = 9: V1 muuttujat), R2 (kierros 2): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 13: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta, N = 20: V1 muuttujat ja keskinopeus). Mann-Whitney -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05), ** = (p < 0,01).

	Kierros 1			Kierros 2		
	R1	R2	Mann-Whitney	R1	R2	Mann-Whitney
	Keskiarvo ± SD		p-arvo	Keskiarvo ± SD		p-arvo
V2 nopeus (m/s)	3,90 ± 0,24	3,76 ± 0,33	0,066	4,04 ± 0,22	3,75 ± 0,19	0,034*
V2 frekvenssi (1/s)	1,09 ± 0,03	1,09 ± 0,07	0,605	1,10 ± 0,04	1,13 ± 0,05	0,521
V2 syklinpituus (m)	3,58 ± 0,20	3,45 ± 0,32	0,096	3,67 ± 0,20	3,34 ± 0,21	0,020*
Tekniikan vaihtokohta (m)	-7,43 ± 4,18	-7,70 ± 5,95	0,972	-9,38 ± 3,04	-8,27 ± 5,49	0,776
V1 nopeus (m/s)	3,68 ± 0,20	3,51 ± 0,18	0,043*	3,57 ± 0,19	3,55 ± 0,23	0,654
V1 frekvenssi (1/s)	0,93 ± 0,03	0,92 ± 0,04	0,334	0,96 ± 0,04	0,94 ± 0,04	0,524
V1 syklinpituus (m)	3,96 ± 0,27	3,82 ± 0,21	0,170	3,74 ± 0,15	3,76 ± 0,19	0,962
Keskinopeus (m/s)	3,77 ± 0,27	3,60 ± 0,16	0,039*	3,71 ± 0,22	3,62 ± 0,17	0,281

LIITE 13. Kolmannen kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien keskiarvot ja -hajonnat miesten kilpailussa. R1 (kierros 1): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 4: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta), R2 (kierros 1): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 20: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 4: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta). R1 (kierros 2): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 10: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 4: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta), R2 (kierros 2): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 19: V1 muuttujat ja keskinopeus, N = 11: V2 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta). Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys: * = (p < 0,05), ** = (p < 0,01).

	Kierros 1			Kierros 2		
	R1	R2	Mann-Whitney	R1	R2	Mann-Whitney
	Keskiarvo ± SD		p-arvo	Keskiarvo ± SD		p-arvo
V1 nopeus (m/s)	3,45 ± 0,22	3,19 ± 0,19	0,006**	3,40 ± 0,28	3,20 ± 0,36	0,191
V1 frekvenssi (1/s)	0,86 ± 0,95	0,85 ± 0,05	0,582	0,89 ± 0,03	0,88 ± 0,07	0,290
V1 syklinpituus (m)	4,00 ± 0,20	3,76 ± 0,36	0,082	3,80 ± 0,29	3,64 ± 0,46	0,395
Tekniikan vaihtokohta (m)	6,38 ± 2,21	2,00 ± 5,67	0,203	4,13 ± 4,01	0,18 ± 4,72	0,088
V2 nopeus (m/s)	4,20 ± 0,13	4,23 ± 0,22	1,000	4,32 ± 0,42	4,05 ± 0,32	0,240
V2 frekvenssi (1/s)	0,99 ± 0,11	1,05 ± 0,05	0,275	1,06 ± 0,04	1,05 ± 0,06	0,433
V2 syklinpituus (m)	4,29 ± 0,52	4,01 ± 0,29	0,350	4,07 ± 0,52	3,87 ± 0,27	0,360
Keskinopeus (m/s)	3,53 ± 0,18	3,45 ± 0,15	0,234	3,55 ± 0,25	3,48 ± 0,25	0,396

LIITE 14. Neljännän kuvauspaikan kinemaattisten muuttujien keskiarvot ja -hajonnat miesten kilpailussa. R1 (kierros 1): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 9: V2 muuttujat ja keskinopeus, N = 6: V1 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta), R2 (kierros 1): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 19: V2 muuttujat ja keskinopeus, N = 16: V1 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta). R1 (kierros 2): kilpailun kymmenen nopeinta (N = 9: V2 muuttujat ja keskinopeus, N = 8: V1 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta), R2 (kierros 2): loput maailmancupin pisteille hiihtäneet (N = 18: V2 muuttujat ja keskinopeus, N = 15: V1 muuttujat ja tekniikan vaihtokohta). Mann-Whitneyn -testin merkitsevyys: * = ($p < 0,05$), ** = ($p < 0,01$).

	Kierros 1			Kierros 2		
	R1	R2	Mann-Whitney	R1	R2	Mann-Whitney
	Keskiarvo ± SD		p-arvo	Keskiarvo ± SD		p-arvo
V2 nopeus (m/s)	5,36 ± 0,38	5,30 ± 0,33	0,863	5,67 ± 0,20	5,53 ± 0,57	0,090
V2 frekvenssi (1/s)	1,12 ± 0,03	1,12 ± 0,06	0,844	1,16 ± 0,04	1,17 ± 0,06	0,589
V2 syklinpituus (m)	4,80 ± 0,43	4,75 ± 0,37	0,806	4,89 ± 0,17	4,71 ± 0,42	0,051
Tekniikan vaihtokohta (m)	3,92 ± 4,58	-0,81 ± 8,03	0,301	-1,25 ± 6,62	-0,17 ± 7,27	0,771
V1 nopeus (m/s)	4,25 ± 0,37	4,18 ± 0,29	0,883	4,73 ± 0,38	4,55 ± 0,73	0,156
V1 frekvenssi (1/s)	0,97 ± 0,04	0,97 ± 0,06	0,971	1,03 ± 0,06	1,04 ± 0,06	1,000
V1 syklinpituus (m)	4,39 ± 0,43	4,32 ± 0,36	0,681	4,58 ± 0,35	4,36 ± 0,52	0,119
Keskinopeus (m/s)	5,16 ± 0,31	4,98 ± 0,29	0,168	5,37 ± 0,31	5,30 ± 0,59	0,316