

HIIHTOFREKVENSSIT JA NIIDEN MERKITYS ERI ALA-
TEKNIKOISSA VAPAAN TYYLIN SIMULOIDUSSA HIIH-
TOKILPAILUSSA

Hyypä Janne
Toivola Juuso

Opinnäytetyö
Liikunnan ja urheiluvalmennuksen asiantuntija
Liikunnanohjaaja (ylempi AMK)

2024

Liikunnan ja urheiluvalmennuksen
asiantuntija
Liikunnanohjaaja (YAMK)

Tekijät	Janne Hyyppä, Juuso Toivola	Vuosi	2024
Ohjaajat	Sami Kalaja & Petteri Pohja		
Toimeksiantaja	Santasport – Olympic Trainin Center Rovaniemi		
Työn nimi	Hiihtofrekvenssit ja niiden merkitys eri alatekniikoissa vapaan tyylin simuloitussa hiihtokilpailussa		
Sivu- ja liitesivumäärä	33 + 1		

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia käytettyä vapaan tyylin hiihtofrekvenssiä ja sen muutoksia simuloitun normaalimatkan hiihtokilpailun aikana. Hiihtofrekvenssi tarkoittaa hiihtäjän teknisen suorituksen toistotiheyttä eli sitä, kuinka monta kertaa tietty liikesykli toistuu minuutin aikana. Tutkimus toteutettiin kvantitatiivisin menetelmin. Tutkimus keskittyi kahteen ylämäkiosuuteen, joissa hiihtäjät käyttivät V1- ja V2-tekniikoita. Analyysissä tarkasteltiin, millaisia frekvenssejä hiihtäjät käyttivät, miten frekvenssit muuttuivat kilpailun aikana ja miten ne erosivat eri tasoisten urheilijoiden välillä. Lisäksi tarkasteltiin frekvenssin yhteyttä kilpailun lopputulokseen.

Tutkimusaineisto saatiin käyttöön Jyväskylän yliopistolta. Tutkimuksen koehenkilöinä toimi 25 suomalaista kansallisen kärkitason hiihtäjää, jotka olivat 17–28 -vuotiaita. Koehenkilöistä 13 kilpaili naisten sarjassa ja 12 kilpaili miesten sarjassa. Osa hiihtäjistä on saavuttanut hyviä kansainvälisiä tuloksia. Aineisto on kerätty käyttäen GNSS-IMU-sensoria ja käytetty hiihtotekniikka, syklimuuttujat (frekvenssi ja syklin pituus) ja suoritusajat on analysoitu käyttäen Archinisis-analyysointipalvelintä.

Analyysin perusteella hiihtäjät käyttivät kilpailun eri vaiheissa suhteellisen yhteneviä frekvenssejä. Miesten ja naisten välillä havaittiin vain vähäisiä eroja, jotka eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Lisäksi hiihtofrekvenssillä ei todettu olevan merkittävää korrelaatiota kilpailun lopputuloksen kanssa. Ylämäkiosuoksissa naiset käyttivät V1-tekniikassa keskimäärin 53,5 sykliä minuutissa ja V2-tekniikassa 32,7 sykliä minuutissa, kun taas miehillä vastaavat frekvenssit olivat V1-tekniikassa 55,1 sykliä minuutissa ja V2-tekniikassa 32,6 sykliä minuutissa.

Tutkimuksen perusteella hiihtofrekvenssin merkitys lopputulokseen jäi vähäiseksi, mutta tuloksia voidaan hyödyntää maastohiihdon valmennusprosesseissa, etenkin ylämäkitekniikoiden ja frekvenssin optimoinnissa. Tulokset tarjoavat hyödyllistä tietoa sekä lumella että rullahiihtomatolla tapahtuvaan harjoitteluun, jotta harjoittelu vastaisi paremmin kilpailusuorituksen frekvenssivaatimuksia.

Avainsanat maastohiihto, frekvenssi, luistelutyyli, GNSS-IMU-sensori

Master's degree, Sports and Exercise
Master of Sport Studies

Authors	Janne Hyyppä Juuso Toivola	Year	2024
Supervisors	Sami Kalaja & Petteri Pohja		
Commissioned by	Santasport - Olympic Training Center Rovaniemi		
Subject of thesis	Skiing frequencies and their significance in different sub techniques in a simulated skating style skiing competition		
Number of pages	33 + 1		

The purpose of this thesis was to study the use of skiing frequency and its changes during a simulated skating style cross-country skiing distance race. Skiing frequency refers to the repetition rate of the skier's technical performance, specifically how many times a certain movement cycle is repeated per minute. The study was conducted using quantitative methods and focused on two uphill sections where skiers used the V1 and V2 techniques. The analysis examined what types of frequencies the skiers used, how these frequencies changed during the race, and how they differed between athletes of different levels. Additionally, the relationship between frequency and the race outcome was investigated.

The research data was provided by the University of Jyväskylä. The study involved 25 Finnish national level elite skiers, aged 17 to 28. Of these, 13 competed in the women's category and 12 in the men's category. Some of the skiers had achieved notable international results. The data was collected using GNSS-IMU sensors, and the skiing techniques, cycle variables (frequency and cycle length), and performance times were analyzed using the Archinisis analysis platform.

The analysis showed that skiers used relatively consistent frequencies during different phases of the race. Only minor differences were observed between men and women, and these were not statistically significant. Furthermore, no significant correlation was found between skiing frequency and the race outcome. On uphill sections, women used an average frequency of 53.5 cycles per minute in the V1 technique and 32.7 cycles per minute in the V2 technique, while men used 55.1 cycles per minute in V1 and 32.6 cycles per minute in V2.

Although skiing frequency had little impact on the race outcome, the results can be used to improve cross-country skiing coaching processes, particularly in optimizing uphill techniques and frequency. The findings also provide useful insights for both on-snow and roller skiing treadmill training to ensure that training better aligns with the frequency demands of competition.

Key words cross-country skiing, frequency, skating technique, GNSS-IMU sensor

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 LUISTELUHIIDHDON TEKNIIKAT	8
2.1 V1-tekniikka	8
2.2 V2-tekniikka	9
2.3 V2A-tekniikka	10
3 HIIHTOFREKVENSIN ROOLI MAASTOHIIDHDON SUORITUSKYVYSSÄ ..	12
4 GNSS-IMU-SENSORI	13
4.1 Inertiamittausyksikkö (IMU) urheilusuorituksen analysoinnissa	13
4.2 Satelliittipohjainen paikannusjärjestelmä (GNSS)	14
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESI	15
6 AINEISTOT JA MENETELMÄT	16
6.1 Koehenkilöt	16
6.2 Mittausprotokolla	16
6.3 Datan keräys ja analysointi	18
6.4 Tilastolliset muuttujat	19
7 TULOKSET	20
7.1 Käytetyt hiihtofrekvenssit kilpailun aikana	20
7.2 Miesten ja naisten hiihtofrekvenssien ero	22
7.3 Kilpailun kokonaistuloksen perusteella parhaimpien hiihtäjien frekvenssin vertailu loppujoukkoon	23
8 POHDINTA	25
8.1 Johtopäätökset ja pohdinta	25
8.2 Eettisyys ja luotettavuus	27
8.3 Tulosten hyödyntäminen ja aiheita jatkotutkimuksille	28
LÄHTEET	30
LIITTEET	34

ALKUSANAT

Haluamme kiittää Jyväskylän yliopiston väitöskirjatutkijoita Jussi Piiraista ja Teemu Lemmettylää, jotka ovat tehneet opinnäytetyömme aineiston mittaukset. Piiraisen avulla saimme käyttöön tämän aineiston. Kiitokset myös opinnäytetyön ohjaajallemme Sami Kalajalle, jonka opastuksella pääsimme maaliin tässä suorituksessa.

Lisäksi erityiskiitokset Juho Haloselle Archinisis ohjelmiston käyttöavusta ja tarvittavien muutosten tekemisestä analysoitavaan dataan. Hänen avulla saimme tehtyä laadukkaat analyysit niistä sektoreista, joita halusimme tarkastella.

Kiitokset myös opinnäytetyön tilaajallemme Olympic Training Center -Rovaniemelle. Tässä ympäristössä pääsemme konkreettisesti hyödyntämään ja käyttämään valmennuksellisissa prosesseissa tutkimuksessa saamiamme tietoja.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

IMU	Inertial measurement unit, Inertiamittausyksikkö
GNSS	Global Navigation Satellite System, maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
hd	Height difference, Korkeusero, ladun tai sektorin korkeimman ja matalimman pisteen välinen korkeusero
FIS	Fédération Internationale de Ski, Kansainvälinen hiihtoliitto
sykliä/min	Frekvenssi ilmoitetaan yksikössä sykliä/min (sykliä minuutissa), mikä tarkoittaa tapahtumien määrää minuutin aikana
V1-tekniikka	Kuokka
V2-tekniikka	Wasberg "Wassu"
V2A-tekniikka	Mogren

1 JOHDANTO

Maastohiihdossa kilpailunopeudet ovat nousseet viime vuosikymmeninä varusteiden, voitelun ja ratojen kunnostuksen kehityksestä sekä urheilijoiden lisääntyneestä kapasiteetista johtuen (Sandbakk & Holmberg 2014). Tästä johtuen kiinnostus myös suorituskyvyn biomekaniikkaan on lisääntynyt. Hiihtäjien on hallittava laaja nopeusalue 5–70 km/h ja työskentely erilaisilla maaston kaltevuuksilla (-20 % - +20 %). Tämän saavuttaakseen hiihtäjä vaihtaa alatekniikkaa ja syklimuuttujia jatkuvasti, useita satoja kertoja suorituksen aikana. (Sandbakk & Holmberg 2014.) Nopeuden lisäämiseksi hiihtosuorituksessa hiihtäjän tuleen lisätä joko syklin pituutta tai frekvenssiä tai molempia. Maastohiihdossa on osoitettu, että syklin pituus on ensisijainen tekijä alemmissa nopeuksissa ja hiihtofrekvenssi suuremmissa nopeuksissa kasvattaa hiihtonopeutta (Lindinger, Stöggli, Muller & Holmberg 2009; Ohtonen, Linnamo & Lindinger 2016.) Aiemmissa maastohiihtoa koskevissa tutkimuksissa on raportoitu parhaimpien hiihtäjien eroavan hitaammista korkeampien hiihtofrekvenssien käytöstä ylämäissä (Sandbakk & Holmberg 2014; Ollonen 2018) ja lyhyissä sprintti kilpailuissa (Pozzo, Becchis, Berini & Canclini 2019).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää hiihtofrekvenssin muutoksia simuloitun luistelutyylin normaalimatkan 2 x 5 kilometrin mittaisen hiihtokilpailun aikana sekä niiden merkitystä kilpailusuorituksessa. Erityisesti tutkimme sitä, millaista frekvenssiä hiihtäjät käyttävät, kuinka frekvenssit muuttuvat ja eroavat eri tasoisten urheilijoiden välillä kilpailun aikana sekä miten nämä muutokset vaikuttavat kilpailun lopputulokseen.

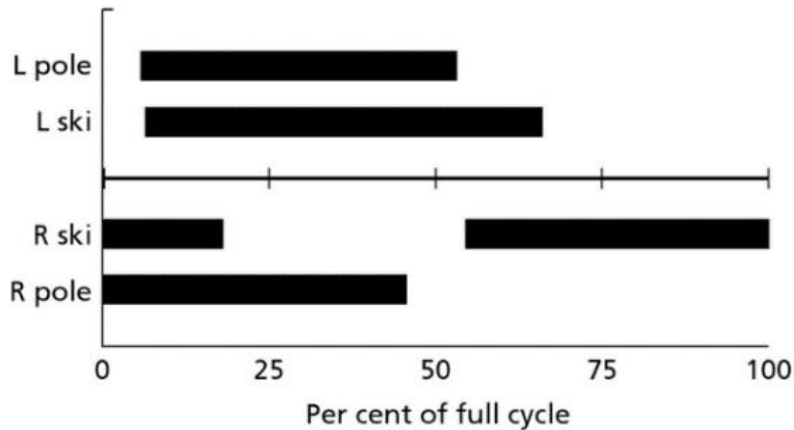
Luisteluhiihdossa hiihtäjät käyttävät erilaisissa maastonkohdissa ja nopeuksissa eri luisteluhiihdon alatekniikoita kontrolloidakseen vauhtia. Hiihtäjien käyttämät tekniikat ovat: V1, V2, V2A ja sauvoittaluistelu. (Sandbakk & Holmberg 2014.) Hiihtokilpailun aikana hiihtäjät vaihtavat käyttämäänsä tekniikkaa useita satoja kertoja. Kaikki nämä vaikuttavat syklin pituuteen ja hiihtofrekvenssiin (Sandbakk & Holmberg 2014; Ollonen 2018).

2 LUISTELUHIIHDON TEKNIIKAT

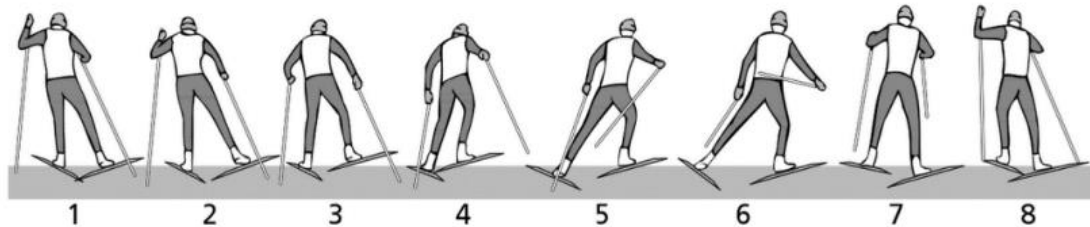
Maastohiihdossa luisteluhiihto on kehittynyt nykyiseen muotoonsa 1980-luvun puolivälin jälkeen. Luisteluhiihdon alatekniikat jaotellaan neljään eri etenemis-
muotoon hitaimmasta nopeimpaan: perusluistelu eli V1-tekniikka, Yksivaiheinen
luistelu eli V2-tekniikka, kaksivaiheinen luistelu eli V2A-tekniikka ja sauvoittaluistelu
(Rusko 2003, 47–52). Kaikissa luisteluhiihdon alatekniikoissa on samana
toistuva osa eli sykli. Sykli koostuu frekvenssistä ja syklin aikaisista liukupituuk-
sista, joiden tulo on hiihtonopeus. (Nilsson, Tveit & Eikrohaven 2004.) Luistelu-
hiihdon alatekniikoissa yksi sykli sisältää joko yhden työnnön (V1, V2A) tai kaksi
työntöä (V2), sekä luistelupotkun molemmilla jaloilla. Suurimmat erot alatekniik-
koissa tulevat työnnön ajoituksesta syklin sisällä. Lisäksi myös liukuvaiheen suk-
sikulmissa on eroja. (Rusko 2003, 45-51; Myklebust H., Losnegard T. & Hallén J.
2014.)

2.1 V1-tekniikka

Luisteluhiihdon V1-tekniikkaa käytetään erityisesti ylämäissä ja hitaissa olosuh-
teissa. Tekniikkaan kuuluu epäsymmetrinen sauvojen käyttö ja korkeampi frek-
venssi verrattuna muihin osatekniikoihin. V1-tekniikassa sauvatyö tehdään vain
toiselle puolelle ja molempien jalkojen voimantuottoa kohden suoritetaan vain
yksi sauvatyöntö kuvion 1 mukaisesti. Liukupuolen sauva laitetaan lumeen lähes
pystysuoraan, jonka jälkeen työntö suunnataan eteenpäin. Samanaikaisesti liu-
kupuolen sauva sijoitetaan enemmän sivulle, jotta se ei häiritse suksen liukua.
Sukset ovat V1-tekniikassa suhteellisen leveässä V-asennossa mahdollistaen
suksen paremman liukumisen ylämäessä ja helpottaen hiihtäjän painonsiirtoa.
Sauvatyö tapahtuu yhtä aikaa, kuvion 2 mukaisesti, painon siirtyessä sille suk-
selle, jonka puolelle sauvatyö tehdään. (Rusko 2003.)



Kuvio 1 V1-tekniikan syklin aikaiset suksien ja sauvojen lumikontaktit (Rusko 2003, 48)



Kuvio 2. V1-tekniikan syklin vaiheet (Rusko 2003, 47)

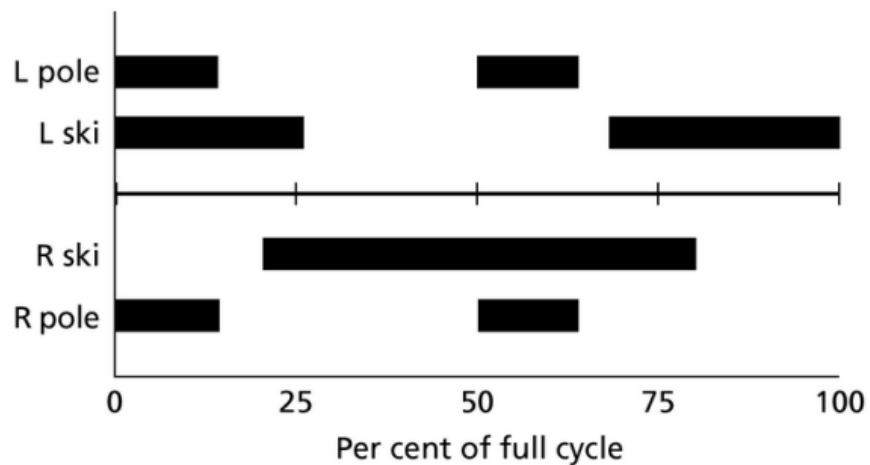
2.2 V2-tekniikka

Luisteluhiihdon V2-tekniikkaa käytetään pääsääntöisesti tasamaalla ja kohtalaisissa nousuissa. Ylävartalon hyviä voimatasoja hyödyntäen V2-tekniikkaa voi käyttää tehokkaasti myös jyrkemmissä nousuissa. V2-tekniikka on symmetrinen tekniikka, jossa sauvatyö ajoittuu jokaisen ponnistavan jalkatyön yhteyteen yhden syklin aikana (kuvio 3). Kunkin liu'un loppuun mennessä sauvat isketään maahan työnnön suorittamiseksi (kuvio 4), mitä seuraa luistelupotku ja painon siirto uudelle liu'ulle. Syklin kesto on V2-tekniikassa pisin, 1,5-2 sekuntia, kuitenkin työntöjen väliin jäävä aika on huomattavasti lyhempi. (Rusko 2003.) V2-tekniikka sisältää myös erikoissovellutuksen nimeltä kaksoisponnistus V2 (Double-Push V2), joka sisältää ponnistuksen suksen ulkokantilla, jota seuraa hyppy sisäkantille normaalille liu'un aikaiselle ponnistukselle. Tämä tekniikasovellutus

mahdollistaa nopeamman vauhdin, mutta on myös fyysisesti ja teknisesti haastavampaa. (Stöggl, Muller & Lindinger 2008; Stöggl, Kampel, Muller, & Lindinger. 2010.)



Kuvio 3. V2-tekniikan puolikkaan syklin vaiheet (Rusko 2003, 50)

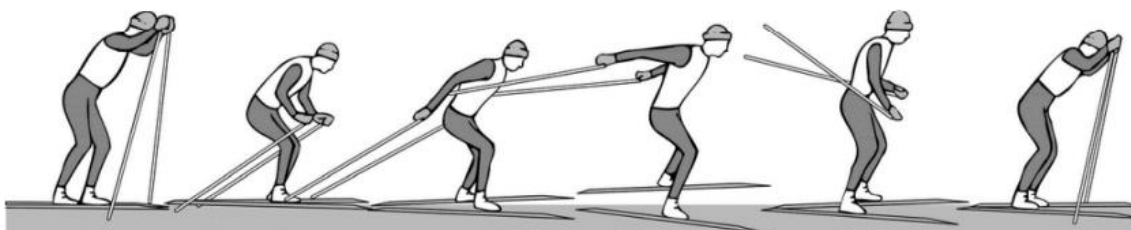


Kuvio 4. V2-tekniikan syklin aikaiset suksien ja sauvojen lumikontaktit (Rusko 2003, 51)

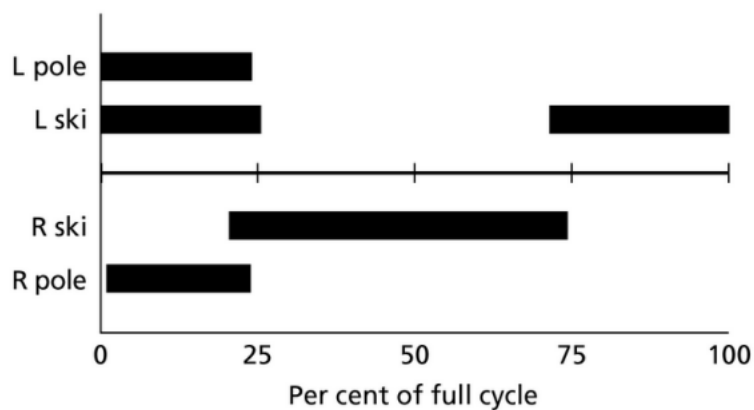
2.3 V2A-tekniikka

Luisteluhiihdon V2A-tekniikka on kovissa vauhdeissa käytettävä etenemistapa, jota toteutetaan pääsääntöisesti helpoissa maastonkohdissa. V1-tekniikan tapaa sauvatyö tapahtuu syklin aikana vain toiselle puolelle kuten kuvioissa 5 ja 6, mutta erottavana tekijänä on työntön ajoitus ja paljon kapeampi suksikulma. Potkun aikana työntö tapahtuu liu'un loppuvaiheessa tasatyöntön omaisesti kuten kuvioissa 5 ja 6, samalla hiihtäjän paino siirtyy työnnöttömän puolen suksen päälle liukuun. Työnnöttömän liu'un aikana painopiste pysyy matalana ja liu'ulta

ponnistetaan työnnöllisen puolen sukselle samalla heilauttaen käsiä voimakkaasti eteen lantion noustessa ylös. V2A-tekniikan syklin pituus on noin 1,5 sekuntia. (Rusko 2003.)



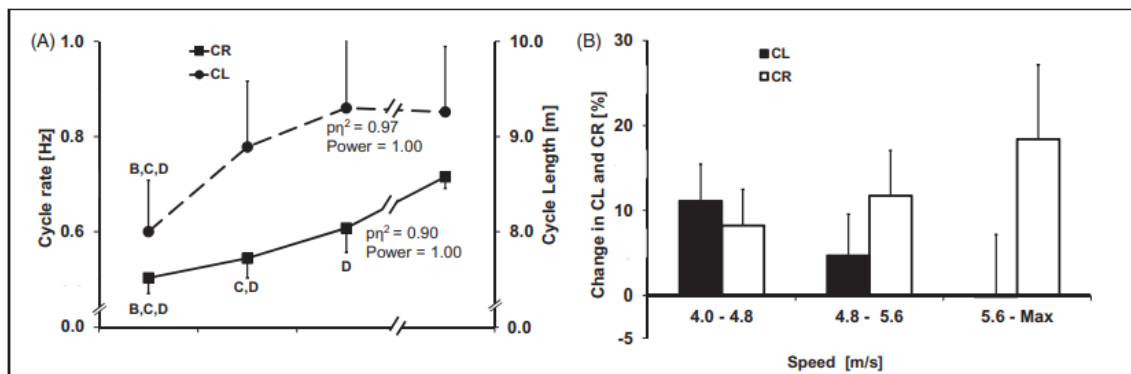
Kuvio 5. V2A-tekniikan vaiheet (Rusko 2003, 49)



Kuvio 6. V2A-tekniikan syklin aikaiset suksien ja sauvojen lumikontaktit (Rusko 2003, 50)

3 HIIHTOFREKVENSIN ROOLI MAASTOHIIHDON SUORITUSKYVYSSÄ

Aiemmissa maastohiihtoa koskevissa tutkimuksissa on raportoitu, että parhaat hiihtäjät erottuvat hitaammista käyttämällä korkeampia hiihtofrekvenssejä ylämäissä samalla säilyttäen syklin pituuden (Sandbakk & Holmberg 2014; Ollonen 2018). Sama havainto on todettu myös lyhyissä sprintti kilpailuissa (Pozzo, ym. 2019). V2-tekniikkaa käytettäessä vauhdin kasvaessa 4,0 m / sekunnista maksimiin frekvenssin on todettu kasvavan 42 % (Kuvio 7) (Ohtonen ym. 2016). Tutkimuksissa on myös todettu, että hiihdon tehokkuus, suorituskyky sekä energiankulutuksen taloudellisuus ovat parempia pienemmällä frekvenssillä submaksimaalisilla nopeuksilla (Lindinger & Holmberg 2011; Leirdal, Sandbakk, & Ettema 2013). Toisaalta maastohiihdossa V2-tekniikassa frekvenssillä ei ole todettu merkittävää vaikutusta hiihdon taloudellisuuteen. Hiihtäjien käyttämän frekvenssin on todettu viittaavan siihen, että urheilijat valitsevat luonnostaan itselleen taloudellimmman frekvenssin teknisesti vaativimmassa suorituksessa verrattuna juoksuun. (Losnegard, Schäfer & Hallén 2014.)



Kuvio 7. V2-tekniikan syklin frekvenssi ja pituusmuutokset eri hiihtonopeuksilla (Ohtonen ym. 2016)

4 GNSS-IMU-SENSORI

GNSS-IMU (Global Navigation Satellite System – Inertial Measurement Unit) on mittausteknologia, joka yhdistää satelliittipohjaisen paikannusjärjestelmän (GNSS) ja inertiamittausyksikön tuottamat tiedot. GNSS-IMU-tekniikan on todettu mahdollistavan suhteellisen tarkkaa dataa paikannuksesta, nopeudesta (sijainti 30 cm ja nopeustarkkuus 0,05 m/s) ja liikeradoista hiihtolajeissa, mutta soveltuvan muidenkin lajien suorituskyvyn ja liikeratojen mittaamiseen. (Myklebust, Losnegard & Hallen, 2013; Fasel, Spörri, Gilgien, Boffi, Chardonens, Muller & Aminian, 2016.) Tällä teknologialla voidaan tarkastella suoritusta ja liikettä senttimetrin tarkkuudella (Fasel, ym. 2016).

4.1 Inertiamittausyksikkö (IMU) urheilusuorituksen analysoinnissa

Inertiamittausyksikkö (IMU) on sensori, joka mittaa kohteen liikettä ja kiertoa käyttämällä kiihtyvyyssantureita (akselerometrit) ja gyroskooppeja, jotka mittaavat pyörivän liikkeen suuruutta mittaamalla kulmanopeutta (Zhou ym. 2020). IMU-sensoreita pystytään mittaamaan kehon liikkeen nopeutta, suuntaa, kiihtyvyyttä sekä pyörimistä kolmiulotteisessa avaruudessa. IMU-sensoreita käytetään laajalti urheilussa seuraamaan ja analysoimaan urheilijoiden liikkeitä tarkasti. Sensoreita on käytetty suorituskyvyn ja liikesyklien analysointiin useissa urheilulajeissa, kuten jalkapallossa, rugbyssa, uinnissa, melonnassa, lumilautailussa, alppihihdossa ja maastohiihdossa. (Marsland, Lyons, Anson, Waddington & Macintosh 2012.)

Ensimmäiset tutkimukset IMU-antureiden käytöstä hiihtotekniikoiden ja hiihdon kinematiikan tunnistamiseksi antoivat luotettavia tietoja hiihdon käytetystä tekniikasta ja syklinopeuksista. Alkuvaiheessa haasteena oli laitteiden lukumäärä ja paino, joten niitä oli haastava käyttää päivittäisessä harjoittelussa. (Myklebust, Nunes, Hallén & Gamboa 2011). Marsland, ym. (2012) ovat osoittaneet tutkimuksessaan, että yhdellä selkään kiinnitetyllä mikrosensorilla pystyy tunnistamaan hiihtotekniikat ja saamaan tarkkaa tietoa syklimuuttujista. Tätä tietoa voidaan hyödyntää suorituskyvyn optimointiin, loukkaantumisten ennaltaehkäisyyn

ja valmennuksen tehostamiseen. Usein IMU-yksikkö onkin integroitu jonkin absoluuttisen paikannusjärjestelmän kanssa. (Corrales, Candelas & Torres 2008.)

4.2 Satelliittipohjainen paikannusjärjestelmä (GNSS)

GNSS (Global Navigation Satellite System) on maailmanlaajuinen satelliittipohjainen paikannusjärjestelmä, joka mahdollistaa tarkan sijainnin, korkeuden ja liikkeen seuraamisen reaaliajassa. Paikannusjärjestelmään lukeutuvat muun muassa GPS (global positioning system, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä), GLONASS ja Galileo. (European global navigation satellite systems agency 2024.) GNSS-paikantimien kelpoisuus on harkittava huolellisesti, koska sellaiset tekijät kuten näytteenottotaajuus tai olosuhteet voivat vaikuttaa tarkkuuteen erityisesti lyhyillä matkoilla ja jyrkissä käännöksissä (Imbach, Ragheb, Leveau, Chailan, Candau, & Perrey 2022).

Pelkillä GNSS-sensorijärjestelmillä pystytään tutkimuksen (Takeda, Miyamoto, Endo, Ohtonen, Lindinger, Linnamo & Stöggli 2019) mukaan tunnistamaan niin hiihdon perinteisen tyylin eri tekniikat 98,2 % toteumalla kuin syklien keston, hiihdonopeuden, hiihdetyn matkan ja sykliajan käytetyille tekniikalle.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESI

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hiihtofrekvenssimuuttujia simuloitun luistelutyylin 10 kilometrin mittaisen hiihtokilpailun aikana ja frekvenssin merkitystä kilpailusuoritukseen. Erityisesti tarkastellaan kuinka frekvenssit muuttuvat ja eroavat eritasoisilla urheilijoilla kilpailun aikana luisteluhiihdon eri alatekniikoissa ja mikä frekvenssin merkitys on lopputuloksen kannalta. Simuloitu kilpailu hiihdettiin kahdessa 5km osassa. Osien välissä oli 30 minuutin mittainen aktiivinen palautusjakso. Tutkimuksen pohjalta voidaan kehittää valmennuksellista ymmärrystä maastohiihdon harjoittelussa frekvenssiin liittyen. Erityisesti rullahiihtomatolla tapahtuvassa harjoittelussa säätelämällä vauhtia ja maton kaltevuutta voidaan syklimuuttujia mukauttaa vastaamaan todellisia suoritusilanteita.

Tutkimuskysymykset:

- Miten parhaimpien ja heikompien hiihtäjien hiihtofrekvenssit eroavat toisistaan?
- Miten hiihtofrekvenssit eroavat parhailla (sijat 1-3) mies- ja naishiihtäjillä verrattuna loppujoukkoon (sijat 4-13) erilaisissa maastonkohdissa ja kilpailun eri vaiheissa?
- Mitkä ovat miesten ja naisten käyttämien hiihtofrekvenssien erot?

Hypoteesi:

Parhaimmat hiihtäjät käyttävät korkeampia hiihtofrekvenssejä, varsinkin jyrkemmässä maastonkohdissa sekä pystyvät nostamaan frekvenssiä vielä kilpailun loppuvaiheessa.

6 AINEISTOT JA MENETELMÄT

Tutkimusaineisto saatiin käyttöön Jyväskylän yliopiston tohtorikoulutettavien Jussi Piiraisen ja Teemu Lemmettylän väitöskirjaprojekteissa tehdyistä mittauksista, jotka ovat osa hiihtoliiton ja Vuokatti-Rukan olympiavalmennuskeskuksen kehittämisohjelmaa. Olympiavalmennuskeskuksen tavoitteena on tuottaa valmennusta tukevaa tietoa. (VRUA 2024, Tutkimus- ja kehitystoiminta.) Käyttöön saatua vapaan hiihtotyylin mittausaineistoa ei ollut analysoitu aiemmin, eikä käytetty mihinkään muihin tutkimuksiin.

6.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä oli toiminut 25 suomalaista kansallisen kärkitason hiihtäjää. Koehenkilöt olivat ikävuosiltaan 17–28 vuotiaita. Koehenkilöistä 13 kilpailee naisten sarjassa (myöhemmin naiset) ja 12 kilpailee miesten sarjassa (myöhemmin miehet). Osa hiihtäjistä on saavuttanut myös hyviä kansainvälisiä tuloksia.

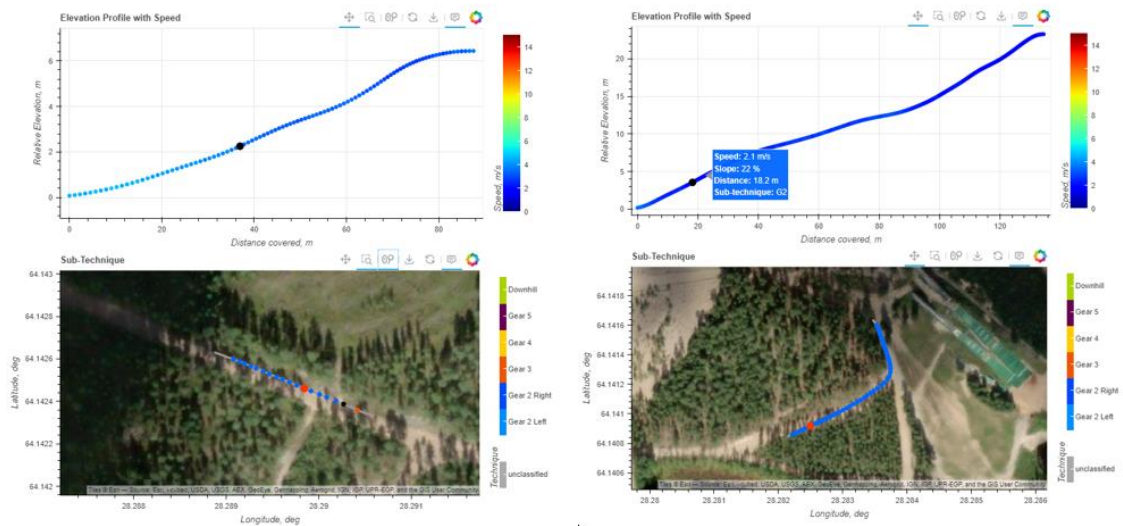
6.2 Mittausprotokolla

Hiihtäjät suorittivat simuloitun kilpailun 2 kertaa 5 km, 30 minuutin palautuksella Vuokatissa 2,5 km FIS:n homologoidulla kilparadalla. Hiihtäjien sijaintia, nopeutta, alatekniikkaa ja syklimuuttujia mitattiin AdMos GNNS-IMU-sensorilla (Advanced Sport Instruments (ASI), Lausanne, Sveitsi), joka kokonsa puolesta ei häiritse hiihtosuoritusta (paino: 35g, koko 65 mm x 35 mm x15 mm) (kuvio 8). Selkään sijoitettu sensori tallensi GNNS-tiedot 10 Hz:n, IMU-tiedot 200 Hz:n ja barometrisen paineen 10Hz:n näytetaajuudella (Archinisis GmbH).



Kuvio 8. AdMos GNSS-IMU sensori (Archinisis GmbH)

Tarkempaan analyysiin radasta valittiin 2 sektoria, jotka on esitetty kuviossa 9. Sektori 1 (86 metriä, hd 7 metriä, 8 % nousu) ja sektori 2 (137 metriä, hd 24 metriä, 17,5 % nousu). Näistä nousuista syklimuuttajat ja sektorijajat analysoitiin ensimmäiseltä kierrokselta ja neljänneltä kierrokselta. Ylämäkisektorit valittiin analyysiin, koska niiden on todettu korreloivan voimakkaimmin lopputulokseen (taulukko 1.) ja niissä käytetään pääosin V1- ja V2-tekniikkaa (Shang, Sandbak, Ruiying, Shi, Chen & Talsnes 2022; Staunton ym. 2022), joita halusimme tarkastella tarkemmin.



Kuvio 9. Sektorit 1 ja 2, karttasijaintina sekä suhteellisena korkeusprofiilina.

Taulukko 1. Matka, aika ja nopeus kokonaismatkalle, kierroksille ja maasto-osuuksille sekä korrelaatiot kokonaisaikaan 10 km:n luistelutyylin kilpailun aikana (muokattu Shang, ym. 2022)

	Distance (m)	Time (s)	Speed (m·s ⁻¹)	Correlation (r)
1. lap	2775.9 ± 4.8	424.8 ± 13.4	6.54 ± 0.20	0.88 **
2. lap	2772.4 ± 4.8	450.4 ± 19.9	6.17 ± 0.26	0.89 **
3. lap	2774.2 ± 3.7	465.1 ± 24.7	5.98 ± 0.32	0.95 **
Overall	8322.5 ± 8.8	1340.2 ± 52.8	6.22 ± 0.25	1.00
S3 (uphill)	497.3 ± 0.5	123.3 ± 7.0	4.07 ± 0.22	0.90 **
S5 (uphill)	348.6 ± 1.0	85.7 ± 4.3	4.09 ± 0.20	0.99 **
S8 (uphill)	115.5 ± 0.5	18.3 ± 0.8	6.33 ± 0.27	0.80 **
S12 (uphill)	73.2 ± 0.8	11.7 ± 0.6	6.28 ± 0.28	0.83 **
S16 (uphill)	191.6 ± 0.3	35.5 ± 2.1	5.42 ± 0.32	0.88 **
Overall uphill	1226.3 ± 3.1	823.5 ± 40.7	5.24 ± 1.00	0.99 **

6.3 Datat keräys ja analysointi

Käytetyn hiihtotekniikan, syklimuuttujien (frekvenssi ja syklin pituus), sektoriaikojen ja kilpailun kokonaisajan data kerättiin käyttäen Archinisis-analyysipalvelinta (Archinisis software, Switzerland). Valmistajan tiedon mukaan hiihtotekniikan tunnistamisessa käytetään Archinisisin algoritmia, joka toimii seuraavalla tavalla:

- 1) IMU-tiedot yhdistettiin GNSS- ja barometrisen painetietojen kanssa. Painetiedot määrittelevät kiihtyvyyden, nopeuden, sijainnin ja suunnan.
- 2) Vartaloon, noin navan korkeudelle (likimääräinen massakeskipiste), asennettavalla vartalomallilla lasketaan samat arvot geometrisella mallilla.
- 3) Kulmanopeuden ja vartalon kaltevuuden kuvioiden perusteella havaitaan ja määritellään syklit.
- 4) Parametrien tietojen perusteella määritellään osatekniikan luokittelu kullekin yksittäiselle syklille.

Jokaisesta hiihdon osatekniikasta laskettiin kierrostiheys (CF) ja syklin pituus (CL). Jokaisesta osatekniikasta laskettiin syklien kokonaismäärä sekä kunkin osatekniikan suorittamiseen käytetty suhteellinen aika (Shang, Ruiying, Xiaoping

& Tauton 2024; Archinisis GmbH). Tutkimuksessa (Fasel, Supej & Laaksonen 2019) on todettu algoritmin tunnistavan eri hiihtotekniikat 98,4% oikein, luokitteluvirheitä syntyi pääasiassa eri tekniikoiden vaihdon välisissä siirtymävaiheissa.

6.4 Tilastolliset muuttujat

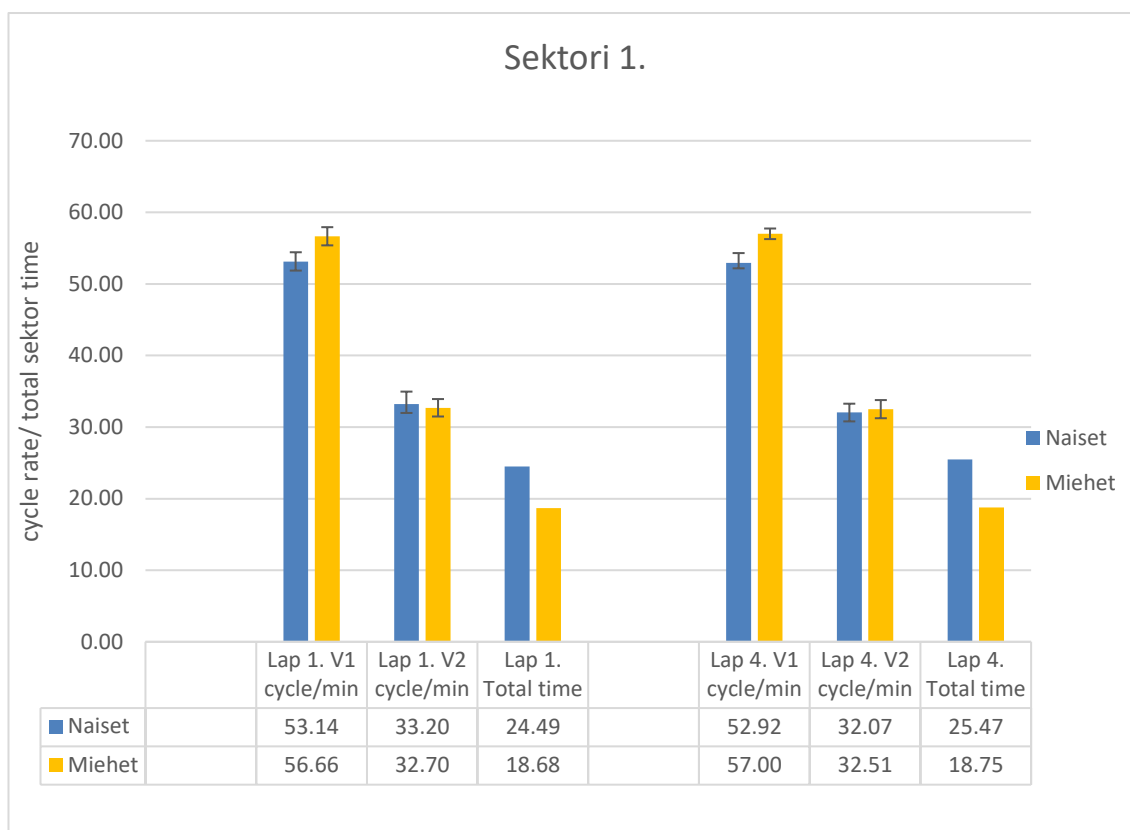
Kaikista datan muuttujista tilastollisen määritelmät tehtiin käyttämällä IBM SPSS statistics 28,0 -ohjelmaa (IBM Corporation, New York, USA). Aineistoin normaalius tarkastettiin kaikesta datasta. Keskiarvot ja keskihajonta laskettiin kaikista mitatuista muuttujista Excel 2019-ohjelmalla (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Tilastollisen merkitsevyyden taso oli asetettu $P < 0,05$. Vertailtaessa eri sektoreiden tai kierrosten frekvenssidataa käytettiin parillista T-testiä. Pearsonin korrelaatiotestillä testattiin frekvenssin ja tuloksen välistä yhteyttä.

7 TULOKSET

7.1 Käytetyt hiihtofrekvenssit kilpailun aikana

Eri alatekniikoissa käytettyä frekvenssiä tarkasteltiin kahdella ylämäkisektorilla. Naiset käyttivät kilpailun ensimmäisellä (1/4) kierroksella sektorissa 1 (87 m, hd 8 m, 8 % nousu) V1-tekniikassa keskimäärin 53,14 sykliä/min keskihajonnan ollessa 3,56 sykliä/min. Kilpailun viimeisellä (4/4) kierroksella V1-tekniikalla frekvenssi oli 52,92 sykliä/min keskihajonnan ollessa 2,87 sykliä/min. Frekvenssimuutos -0,43 % ($p > 0,05$) ei ollut tilastollisesti merkitsevä kilpailun alun ja lopun välillä. V2-tekniikalla naisten käyttämä frekvenssi ensimmäisellä kierroksella oli 33,2 sykliä/min keskihajonnan ollessa 1,29 sykliä/min. Viimeisellä kierroksella V2-tekniikkaa käytti 11 (11/13) urheilijaa keskiarvolla 32,07 sykliä/min keskihajonnan ollessa 1,39 sykliä/min. Frekvenssimuutos ensimmäisen ja viimeisen kierroksen välillä oli tilastollisesti merkitsevä -3,4 % ($p < 0,05$). Sektoriin käytetty keskimääräinen aika ensimmäisellä kierroksella oli 24,49 sekuntia, keskihajonnan ollessa 1,76 sekuntia. Viimeisellä kierroksella sektoriin meni keskimäärin naisilla 25,47 sekuntia keskihajonta oli 1,2 sekuntia (kuvio 10). Naisilla vauhti hidastui viimeiselle kierrokselle 4 %.

Miehet käyttivät keskimäärin ensimmäisellä (1/4) kierroksella 1 sektorissa V2-tekniikassa 32,7 sykliä/min, keskihajonta 1,26 sykliä/min. Viimeisellä (4/4) kierroksella 32,51 sykliä/min, keskihajonta 0,74 sykliä/min. Frekvenssin muutoksella -0,58 % ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. V1-tekniikkaa miehistä 1 sektorilla käytti 7 (7/12) urheilijaa. V1-tekniikka käyttäneiden keskimääräinen frekvenssi ensimmäisellä kierroksella oli 56,66 sykliä/min, keskihajonta 1,91 sykliä/min. Viimeisellä kierroksella V1-tekniikalla frekvenssi oli 57,00 sykliä/min, keskihajonta 3,47 sykliä/min. Tilastollista merkitsevyyttä tälle muutokselle ei voinut laskea, sillä osa kilpailijoista hiihti sektorin eri kierrokset eri tekniikoita käyttäen. Ensimmäisellä kierroksella miehet käyttivät sektoriin keskimäärin 18,68 sekuntia, keskihajonta 1,22 sekuntia. Viimeisellä kierroksella sektoriin käytetty keskimääräinen aika oli 18,75 sekuntia ja keskihajonta 1,27 sekuntia (kuvio 10).

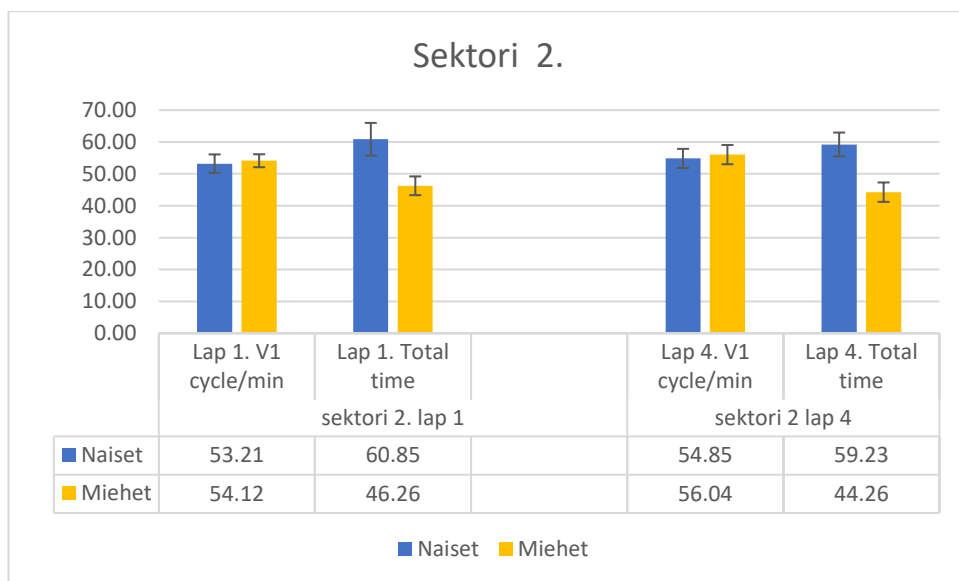


Kuvio 10. Hiihtäjien kierroksilla 1 ja 4 keskimäärin käyttämät frekvenssit (cycle/min) sektorilla 1 tekniikoissa V1 ja V2 ja sektorin kestot (s)

V1- ja V2-tekniikoiden käyttö sektorissa jakautui seuraavasti: Naiset käyttivät V1-tekniikkaa 73,1 % ja V2-tekniikkaa 26,9 % tunnistetusti nousuun käytetystä ajasta. Nousun keskimääräinen kesto naisilla oli 25 sekuntia. Miehet käyttivät V1-tekniikkaa 21,1 % ja V2-tekniikkaa 78,9 % nousuun käytetystä ajasta. Miesten keskimääräinen nousuun käyttämä aika oli 18,7 sekuntia.

Sektorilla 2 (134 m, hd 24 m, 19,7 % nousu) naiset käyttivät keskimäärin molemmilla selvitettyillä kierroksilla 99,3 % sektorista V1-tekniikkaa. Ensimmäisellä kierroksella V1-tekniikalla käytetty keskimääräinen frekvenssi oli 53,21 sykliä/min, keskihajonta 2,90 sykliä/min. Sektorin kesto naisilla oli ensimmäisellä kierroksella keskimäärin 60,85 sekuntia, keskihajonta 5,14 sekuntia. Neljännellä kierroksella V1-tekniikan frekvenssi oli 54,85 sykliä/min, keskihajonta 3,00 sykliä/min. Sektorin kesto viimeisellä kierroksella oli keskimäärin 59,23 sekuntia, keskihajonta 3,73 sekuntia (kuvio 11). Naiset käyttivät 3% ($P < 0,05$) korkeampaa frekvenssiä viimeisellä kierroksella.

Miehet käyttivät sektorilla 2 keskimäärin molemmilla selvitettyillä kierroksilla 96,1% sektorista V1-tekniikkaa. Ensimmäisellä kierroksella V1-tekniikalla käytetty keskimääräinen frekvenssi oli 54,12 sykliä/min, keskihajonta 2,03 sykliä/min. Sektorin kesto miehillä ensimmäisellä kierroksella oli keskimäärin 46,26 sekuntia, keskihajonta 2,94 sekuntia. Neljännellä kierroksella V1-tekniikalla frekvenssi oli 56,04 sykliä/min, keskihajonta 3,02 sykliä/min. Sektorin kesto keskimäärin miehillä viimeisellä kierroksella oli 44,26 sekuntia, keskihajonta 3,05 sekuntia (Kuvio 11). Miehet käyttivät 3,5 % ($p < 0,05$) korkeampaa frekvenssiä viimeisellä kierroksella.



Kuvio 11. Hiihtäjien kierroksilla 1 ja 4 keskimäärin käyttämät frekvenssit (cycle/min) sektorilla 2 V1-tekniikalla ja sektorin kestot (s)

7.2 Miesten ja naisten hiihtofrekvenssien ero

V1-tekniikassa 2 sektorin nousussa, jossa molemmat miehet ja naiset etenivät sektorin pääosin käyttäen V1-tekniikkaa (naiset 99,3 % ja miehet 96,1 %), naisten käyttämän hiihtofrekvenssi oli ensimmäisellä kierroksella 1,7 % alhaisempi ja viimeisellä kierroksella 2,2 % alhaisempi, kuin miesten käyttämä frekvenssi. V2-tekniikassa sektorilla 1 ensimmäisellä kierroksella naiset käyttivät 1,5 % korkeampaa hiihtofrekvenssiä kuin miehet. Kilpailun viimeisellä kierroksella naisten käyttämä hiihtofrekvenssi oli 1,4 % alhaisempi kuin miesten. Näillä miesten ja naisten välisillä frekvenssi eroilla ei ollut tilastollista merkitsevyyttä.

7.3 Kilpailun kokonaistuloksen perusteella parhaimpien hiihtäjien frekvenssin vertailu loppujoukkoon.

Vertailtaessa naisten kilpailun kokonaistuloksen kolmen parhaan hiihtäjän käyttämää sektorikohtaista frekvenssiä sijoille 4–13 sijoittuneisiin V1-tekniikassa parhaimpien naisten käyttämä frekvenssi oli ensimmäisen sektorin ensimmäisellä kierroksella 1,02 sykliä/min matalampi ja neljännellä kierroksella 1,51 sykliä/min korkeampi. V2-tekniikassa parhaimpien hiihtäjien frekvenssi oli ensimmäisellä kierroksella 0,11 sykliä/min korkeampi ja viimeisellä kierroksella 0,01 sykliä/min matalampi kuin sijoille 4–13 sijoittuneilla. Sektorissa 2 kolmen parhaan hiihtäjän frekvenssi oli V1-tekniikalla ensimmäisellä kierroksella 1,74 sykliä/min korkeampi ja neljännellä kierroksella 0,72 sykliä/min korkeampi kuin sijoille 4-13 sijoittuneilla (taulukko 2). Verrattaessa sektorikohtaisia frekvenssejä kilpailun lopputulokseen, niiden väliltä ei löytynyt korrelaatioita, eikä tilastollista merkitsevyyttä. Kohtalaista yhteyttä oli havaittavissa sektorin 1 viimeisen kierroksen V2- tekniikan frekvenssin ja lopputuloksen välillä ($r=0,313$).

Vertailtaessa miesten kokonaistuloksen kolmen parhaan hiihtäjän frekvenssiä sijoille 4–12 sijoittuneisiin Sektorissa 1 V2-tekniikassa parhaimmat hiihtäjät käyttivät ensimmäisellä kierroksella 0,58 sykliä/min matalampaa frekvenssiä ja viimeisellä kierroksella 0,56 sykliä/min matalampaa frekvenssiä, kuin sijoille 4-12 sijoittuneet. Sektorissa 2 ensimmäisellä kierroksella V1-tekniikalla parhaimmat hiihtäjät käyttivät 0,94 sykliä/min matalampaa frekvenssiä ja viimeisellä kierroksella 2,34 sykliä/min matalampaa frekvenssiä kuin sijoille 4–12 sijoittuneet (taulukko 2). Merkitsevää korrelaatiota frekvenssin ja lopputuloksen välillä ei miesten osalla ollut. Ainoastaan kohtalaista yhteyttä oli havaittavissa sektorin 1. viimeisen kierroksen V2-tekniikan ja lopputuloksen välillä ($r=-0,379$). Ainoa missä frekvenssi korreloi tulokseen miesten osalta on sektorin 2 ensimmäisen kierroksen V1-tekniikan frekvenssi sen kierroksen sektoriaikaan ($r=-0,720^{**}$). Tämä sektoriaika ei kuitenkaan korreloinut lopputulokseen ($r=0,414$).

Taulukko 2. Naisten ja miesten sijoille 1–3 ja 4–12/13 sijoittuneiden sektori ja alatekniikka kohtaiset hiihtofrekvenssit ja näiden keskihajonnat.

		Sektori 1				Sektori 2	
		lap1		Lap4		lap1	Lap4
		V1	V2	V1	V2	V1	V1
Naiset	sijat 1-3	53.92 ±1.54	33.28 ±0.65	54.08 ±1.31	32.06 ±1.26	54.55 ±0.87	55.40 ±1.07
	sijat 4-13	52.90 ±3.23	33.17 ±1.45	52.57 ±3.17	32.07 ±1.51	52.81 ±3.20	54.69 ±3.41
Miehet	sijat 1-3		32.26 ±0.17		32.09 ±0.18	53.42 ±0.55	54.28 ±2.62
	sijat 4-12		32.84 ±1.45		32.65 ±0.81	54.36 ±2.32	56.63 ±3.05

8 POHDINTA

8.1 Johtopäätökset ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää maastohiihdon luistelutyylin eri alatekniikoiden syklimuuttujista miesten ja naisten käyttämää frekvenssiä eri maastonkohdissa ja frekvenssin mahdollista yhteyttä lopputulokseen. Tavoitteena oli tuottaa lisätietoa siitä, miten frekvenssiä tulisi huomioida valmennusprosesseissa ja millaisiin frekvensseihin urheilijoita tulisi ohjata ylämäkiosuuksien tekniikkaharjoitteissa. Tutkimuksesta ilmeni hiihtäjien, niin miesten kuin naistenkin, käyttävän hyvin yhtenevää frekvenssiä ja valitsevan itselleen sopivan frekvenssin. Frekvenssillä ei todettu olevan valitsemissamme ylämäkisektoreissa yhteyttä lopputulokseen.

Lähtökohtainen ajatuksemme opinnäytetyötä aloittaessamme oli, että frekvenssi olisi merkitsevämmässä osassa hiihdon ylämäkiosuuksilla vapaan hiihtotyylin eri alatekniikoissa ja sillä olisi merkitsevämpää yhteyttä lopputulokseen. Aikaisemmissa tutkimuksissa varsinkin siirryttäessä submaksimaalisista nopeuksista maksimaalisiin nopeuksiin frekvenssin on todettu kasvavan ja parempien hiihtäjien käyttävän alhaisempaa frekvenssiä annetulla nopeudella ja maksimaalisella nopeudella (Sandbakk, Holmberg, Leirdal & Ettema 2010; Ohtonen ym. 2016). Pidemmällä hiihtomatkoilla on tutkimuksessa todettu frekvenssin laskevan luistelutyylin kilpailussa kilpailun loppua kohden (Ohtonen, Lindinger, Göpfer, Rapp & Linnamo 2018).

Tutkimuksemme tuloksista ilmeni hiihtäjien käyttämät frekvenssit ylämäkisektoreissa. Naiset käyttivät V1-tekniikalla keskimäärin $53,53 \pm 2,93$ sykliä minuutissa ja V2-tekniikalla $32,68 \pm 1,42$ sykliä minuutissa ja miehet V1-tekniikalla $55,08 \pm 2,70$ sykliä minuutissa ja V2-tekniikassa $32,60 \pm 1,02$ sykliä minuutissa. Tämän suuntaisten hiihtofrekvenssien voidaan olettaa olevan suhteellisen optimaalisia hiihtäjille normaalimatkan kilpailusuorituksessa ylämäissä. Kunkin hiihtäjän tulee kuitenkin huomioida oma henkilökohtainen taipumus itselleen sopivaksi frekvens-

siksi, kuten Leirdal, ym. 2013 ovat myös todenneet tutkimuksessaan. Tätä päätelmää tukee myös tuloksista ilmennyt tieto, että frekvenssillä ei todettu olevan tilastollista yhteyttä kilpailun lopputulokseen verrattuna. Miesten ja naisten keskimääräiset frekvenssit erosivat mitatuilla sektoreilla toisistaan vain vähän. V1-tekniikassa naiset käyttivät 0,91 ja 1,19 sykliä minuutissa pienempää frekvenssiä kuin miehet. V2-tekniikassa naiset käyttivät ensimmäisellä kierroksella 0,50 korkeampaa ja viimeisellä kierroksella 0,44 matalampaa frekvenssiä. Nämä erot ovat niin pieniä, että niitä ei voi pitää merkityksellisinä. Erot ovat samansuuruisia kuin miesten ja naisten otosjoukon sisäiset erot.

Hypoteesiin verrattuna tulokset osoittavat, että hiihtofrekvenssit eivät korreloineet kilpailun lopputuloksen kanssa tilastollisesti merkitsevällä tavalla. Tämä asettaa kyseenalaiseksi hypoteesin olettamuksen frekvenssin merkitsevyydestä lopputuloksen kannalta. Vaikka joissakin sektoreissa paremmat hiihtäjät käyttivät korkeampia frekvenssejä, tämä ei ollut kuitenkaan systemaattista. Esimerkiksi miesten V2-tekniikalla ensimmäisen sektorin ensimmäisen kierroksen korkeampi frekvenssi ei vaikuttanut lopputulokseen. Tämä saattaa viitata siihen, että hypoteesi pitää paikkaansa vain tietyissä olosuhteissa tai maastonkohdissa. Vaikka hypoteesi ei saanut tukea, voidaan tuloksia silti hyödyntää valmennuksessa esimerkiksi karkeiden virheiden korjaamisessa frekvenssiin liittyen ja tekniikkaharjoittelussa. Eri alatekniikoiden frekvenssin ja sen vaihteluiden ymmärtäminen voi auttaa valmentajia ohjaamaan urheilijoita kehittämään tehokkaampaa hiihtotapaa erilaisissa maastonkohdissa. Lisäksi yksilölliset suoritukseen vaikuttavat tekijät, kuten fyysiset ominaisuudet ja taktiset valinnat, voivat vaikuttaa siihen, että hypoteesin mukaisia eroja ei havaittu. Hiihtotekniikat ovat kuitenkin monimutkainen kokonaisuus, jossa frekvenssin lisäksi syklin pituus, energiatehokkuus ja voimantuotto vaikuttavat lopputulokseen. Näiden muuttujien yhteisvaikutus saattaa selittää, miksi frekvenssillä yksistään ei ollut yhteyttä lopputulokseen.

8.2 Eettisyys ja luotettavuus

Tämän tutkimuksen aineisto saatiin käyttöön Jyväskylän yliopistolta. Aineiston keruun toteuttaneet tutkijat ovat huolehtineet kaikista tarvittavista luvista Jyväskylän Yliopiston ja Tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohjeiden mukaan. Ennen aineiston keruun aloittamista ihmistieteellisen tutkimuksen suorittamiseksi on tutkimukselle haettu sen edellyttämän eettinen ennakoarviointi. Ennakoarviointiin oli tehty seuraavat raportit:

- Peruste lausunnon pyytämiseksi
- Tutkimussuunnitelma ja sen tiivistelmä
- Tutkimuksesta vastaavan henkilön yhteystiedot
- Tutkimuksesta vastaavan henkilön arvio tutkimuksen eettisyydestä
- Tutkittaville henkilöille toimitettava tiedote ja suostumuslomake sekä muu tutkittaville annettava materiaali
- Aineistohallintasuunnitelma

Opinnäytetyösopimus tehtiin Santasport - Olympic Training Center Rovaniemen kanssa. Muuten tutkimus toteutettiin hyvän tieteellisen käytännön ohjeita noudattaen (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023), sekä Lapin AMK:n ohjeistusten ja sääntöjen mukaan. Tutkimuksen henkilötiedot pseudonymisointiin tietosuojalainsäädäntöä noudattaen (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2016/679).

Tutkimuksen luotettavuutta pohdittaessa tärkeimpiä käsitteitä ovat validiteetti ja reliabiliteetti. Validiteetti viittaa siihen, kuinka hyvin tutkimus mittaa sitä mitä sen on tarkoituskin ja kuinka luotettavasti tutkimuksen tulokset kuvaavat tutkittavaa ilmiötä. (Metsämuuronen 2006, 117, 126.) Tässä tutkimuksessa selvitettiin maastohiihdon luistelutyylin frekvenssiä eri alatekniikoissa (V1 ja V2), niiden muutoksia ja naisten ja miesten välisiä frekvenssieroja. Esitetyt tulokset kuvaavat hiihtäjien käyttämiä frekvenssejä valituissa sektoreissa, tarjoten tietoa niistä sekä niiden vaihtelusta ja mahdollisista eroista. Tutkimuksen otoksen edustavuus on hyvä eli se heijastaa hyvin yleistettävää tulosta hiihtäjien frekvenssistä, sillä koehenkilöt olivat tasoltaan hyviä hiihtäjiä ja otoksen koko on hyvä valittuun lajiin ja

urheilijoiden tasoon nähden. Reliabiliteetti tarkoittaa tutkimuksen mittaussmenetelmien luotettavuutta ja johdonmukaisuutta. Sen perusteella arvioidaan kuinka yhdenmukaisia ja toistettavia mittaustulokset ovat. Tässä tutkimuksessa käytetyn mittarin ja siihen kehitetyn analyysiohjelmiston on todettu tunnistavan luotettavasti eri hiihtotekniikat mm. tasaisella ja ylämäessä Fasel ym. 2019 tutkimuksessa mitatusta datasta 98,4 % toteutui oikein verrattuna videolta tehtyyn analyysiin. Verrattaessa tutkimuksessa käytetyllä anturilla mitattua hiihtäjän maksiminopeutta valokennolla mitattuun laskuaikaan ovat tulokset hyvin vastaavia keskenään ($r = 0,9267^{***}$) (Hakulinen 2023).

Tulosten luotettavuuteen mahdollisesti vaikuttaneita asioita ovat olosuhteet, suksien väliset erot, suksien voitelu ja kanssakilpailijoiden sijoittuminen toisiinsa nähden. Nykyaikana ei voida poissulkea myöskään mahdollista GPS -häirinnän aiheuttamaa vaikutusta mittaustilanteiden tarkkuuteen. Mittaustilanteessa olosuhteet olivat selkeät ja sen mahdollinen vaikutus tuloksiin on pieni.

8.3 Tulosten hyödyntäminen ja aiheita jatkotutkimuksille

Selvitettyjä luistelutyylin V1- ja V2-alatekniikoiden frekvenssitietoja voidaan hyödyntää hiihdon harjoittelussa vastaavissa maastonkohdissa analysoitaessa hiihtäjän tekniikkaa ja syklimuuttujia. Näin kilpailuista ja päivittäisestä harjoittelusta tehtyjä tekniikka-analyysejä voidaan verrata näihin tuloksiin ja täten urheilijoita voidaan ohjata syklimuuttujista frekvenssin suhteen vastaaviin suorituksiin. Nykyään hiihto harjoittelua tehdään paljon varsinkin kärkitasolla rullahiihtomatoilla. Matolla hiihdettäessä on frekvenssiä helppo seurata lähes reaaliaikaisesti sauvoihin asennettujen kiihtyvyyssanturien tuottamien syklimuuttujista saatavien tietojen avulla. Näin harjoittelua voidaan ohjata nopeutta ja kulmaa säätämällä vastaamaan lumella tapahtuvan kilpailun mukaisia frekvenssejä, vaikka rullasuksen aiheuttama vierintävastus on erilainen verrattuna suksen ja lumenväliseen kitkaan. Rullahiihdon on kuitenkin todettu simuloivan hyvin biomekaanisten ominaisuuksien suhteen lumella tapahtuvaan hiihtoon verrattuna myös syklin keston suhteen. (Myklebus, Losnegard & Hallén 2022.)

Nykyään maastohiihtoharjoittelua ja testausta tehdään koko ajan kasvavissa määrin rullahiihtomatolla. Jatkossa olisi hyödyllistä tutkia ja selvittää mahdollisia muuntokertoimia rullahiihtomatolla tapahtuvaa testausta ja harjoittelua varten, jotta syklimuuttajat saataisiin vastaamaan mahdollisimman todenmukaisesti lumella tapahtuvaa kilpailun omaista tekemistä vastaavaksi. Tutkimuksessa keskityimme syklimuuttujista ainoastaan frekvenssiin valituissa ylämäkisektoreissa, mutta olisi mielenkiintoista tutkia laajemmin maastoltaan erilaisia ja kestoltaan pidempiä sektoreita. Esimerkiksi huomioimalla tutkimuksessa myös sykclipituus kokonaisvaltaisesti pidempikestoisen kilpailun aikana. Sykclipituuden on todettu korreloivain merkitsevämmin lopputulokseen lyhyemmissä suorituksissa, varsinkin submaksimaalisissa nopeuksissa (Ohtonen ym. 2016; Zoppirolli, Hébert-Losier, Holmberg & Pellegrini 2020). Tätä kokonaisvaltaisempaa tietoa voisi hyödyntää laaja-alaisemmin maastohiihdon harjoittelussa.

LÄHTEET

Archinisis GmbH. Viitattu 29.10.2024 https://archinisis.ch/sports/cross-country_skiing.html.

Corrales, J. A., Candelas, F. A., Torres F. 2008. Hybrid tracking of human operators using IMU/UWB data fusion by a Kalman filter. 3rd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), 193–200 doi: 10.1145/1349822.1349848.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EU) 2016/679. Viitattu 18.11.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:02016R0679-20160504>.

European global navigation satellite systems agency 2024. What is GNSS Viitattu 30.10.2024 <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/what-gnss>.

Facel, B., Spörri, J., Gildien, M., Boffi, G., Chardonnens, J., Müller, E. & Aminian, K. 2016. Three-Dimensional Body and Centre of Mass Kinematics in Alpine Ski Racing Using Differential GNSS and Inertial Sensors. *Remote Sens.* 2016, 8, 671. Viitattu 12.10.2024 <https://doi.org/10.3390/rs8080671>.

Facel, B., Supej, M. & Laaksonen, M.S., 2019. Automatic Classification of Skating Cross-Country Skiing Sub- Techniques based on a Single Wearable Sensor and Biomechanical Models. Conference: German Exercise Science & Training Conference 2019. Wulzburg, Germany.

Frank I., W., Valentin L., Romain C., Robin C. & Stéphane P. 2022. Using global navigation satellite systems for modeling athletic performances in elite football players. *Scientific Reports*, 2022. www.nature.com/scientificreports DOI: 10.1038/s41598-022-19484-y.

Hakulinen, O. 2023. Yhdistetty satelliittipaikannein ja inertiamittausyksikkö maastohiihtosuksien luisto-ominaisuuksien mittauksessa ja niiden vaikutus kilpailusuorituksen osa-alueisiin. Liikuntatieteellinen tiedekunta. Jyväskylän yliopisto. Biomekaniikan pro gradu -tutkielma. Viitattu 16.11.2024 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-202311147932>.

Leirdal, S., Sandbakk, Ø. & 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. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01379.x>.

Lindinger, S. J. & Holmberg, H. C. 2011. How do elite cross-country skiers adapt to different double poling frequencies at low to high speeds. *European Journal of Applied Physiology* 111, 1103–1119. Viitattu 16.11.2024 <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1736-8>.

Lindinger, S. J., Stöggl, T., Muller, E. & Holmberg, H. C. 2009. Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41 (1), 210–220.

Losnegard, T., Schäfer, D., & Hallén, J. 2014, Exercise economy in skiing and running. *Frontiers in Physiology*. Volume 5 - 2014. Viitattu 1.11.2024
<https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00005>.

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. Viitattu 2.11.2024
<https://doi.org/10.3390/s120405047>.

Metsämuuronen, J. 2009. Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä. Tutkijalaitos. 4. laitos, 1. painos. Helsinki: International Methelp Ky.

Myklebust, H., Losnegard, T. & Hallén, J. 2013. Differences in V1 and V2 ski skating techniques described by accelerometers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24, 882–893. Viitattu 7.11.2024
<https://doi.org/10.1111/sms.12106>.

Myklebust, H., Losnegard, T. & Hallén, J. 2022. Kinematic differences between uphill roller skiing and on-snow skiing using the V2 skating technique. *European Journal of Applied Physiology*. 2022. Volume 122, 2355–2365
<https://doi.org/10.1007/s00421-022-05007-0>.

Myklebust, H., Nunes, N., Hallén, J. & Gamboa, H. 2011. Morphological analysis of acceleration signals in cross-country skiing - Information Extraction and Technique Transitions Detection. In *Proceedings of the International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing (BIOSTEC 2011)* Volume 0BIOSTEC, 510–517, 2011. Rome, Italy. Viitattu 24.10.2024
<https://doi.org/10.5220/0003170605100517>.

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. Viitattu 10.10.2024
<https://doi.org/10.1080/14763140408522832>.

Ohtonen, O., Linnamo, V. & Lindinger, S. J. 2016. Speed control of the V2 skating technique in elite cross-country skiers. *International Journal of Sports Science & Coaching* 11(2), 219–230. Viitattu 7.10.2024
<https://doi.org/10.1177/1747954116637156>.

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 and Science in Sports*, 28(2), 479–486. <https://doi.org/10.1111/sms.12913>.

Ollonen, P. 2018. Maastohiihdon Rukan maailmancupin kilpailun 2015 biomekaaninen kilpailuanalyysi. Liikuntatieteellinen tiedekunta. Jyväskylän yliopisto. Biomekaniikan pro gradu -tutkielma. Viitattu 2.11.2024 URN: NBN:fi:jyu-201808013684.pdf.

Pozzo R., Becchis E., Berini A. & Canclini, A. 2019. Biomechanical efficiency in elite athletes of sprint roller ski. *Science and Skiing VIII*, 146–152.

Rusko, H. 2003. *Handbook of Sports Medicine and Science: Cross-country skiing*. Oxford, UK: Blackwell Science, Ltd.

Sandbakk, Ø & Holmberg, H. 2014. A reappraisal of success factors for olympic cross-country skiing. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 9, 117–121. Viitattu 16.10.2024 <https://doi.org/10.1123/ijpspp.2013-0373>.

Sandbakk, Ø., Holmberg, HC., Leirdal, S. & Ettema, G. 2010. Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *European Journal of Applied Physiology*. 109, 473–481, 2010. Viitattu 22.10.2024 <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1372-3>.

Shang, L., Ruiying, S., Xiaoping, C. & Tauton, C. A., 2024. Performance and micro-pacing in sprint cross-country skiing: A comparison of individual timetrial and head-to-head race formats. *Journal of Sport Sciences*. Volume 42, 2024, 475–482. Viitattu 22.10.2024 <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2340296>.

Shang, L., Sandbakk, Ø., Ruiying, S., Xiaoping, C. & Kjösen Talsnes, R., 2022. Analysis of a Skating Time-Trial Competition and Associated Performance-Determinants in Cross-Country Skiers. *International Journal of Enviromental Research anf Public Health*. 2022, 19, 11580. Viitattu 12.11.2024 <https://doi.org/10.3390/ijerph191811580>.

Staunton, C. A., Colyer, S. L., Karlsson, Ø., Swarén, M., Ihalainen, S. & McGawley, K. 2022. Performance and Micro-Pacing Strategies in a Freestyle Cross-Country Skiing Distance Race. *Frontiers in Sports and Active Living* 4:834474. Viitattu 22.11.2024 <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.834474>.

Stöggl, T., Muller, E. & Lindinger, S. J. 2008. Biomechanical comparison of the double-push technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences* 26 (11), 1225–1233. Viitattu 24.10.2024 <https://doi.org/10.1080/02640410802027386>.

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 and Science in Sports and Exercise* 42 (1), 187–196. Viitattu 2.11.2024 <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181ac9748>.

Takeda, M., Miyamoto, N., Endo, T., Ohtonen, O., Lindinger, S., Linnamo, V. & Stöggl, T. 2019. Cross-Country Skiing Analysis and Ski Technique Detection by High-Precision Kinematic Global Navigation Satellite System. *Sensors*, 19, 4947. Viitattu 16.10.2024 <https://doi.org/10.3390/s19224947>.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan HTK-ohje 2023. Viitattu 18.11.2024 https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje_2023.pdf. Helsinki: Tutkimuseettinen neuvottelukunta.

VRUA 2024, Tutkimus- ja kehitystoiminta. Viitattu 21.10.2024. <https://vrua.fi/tietoa-meista/tutkimus-ja-kehitystoiminta/Face>.

Zhou, L., Fisher, E., Tunca, C., Brahms, M.C., Granacher, C. E.U. & Arrich, B. 2020. How We Found Our IMU: Guidelines to IMU Selection and a Comparison of Seven IMUs for Pervasive Healthcare Applications. MDPI Journal sensors 22.5.2020. Viitattu 16.10.2024 <https://doi.org/10.3390/s20154090>.

Zoppirolli, C., Hébert-Losier, k., Holmberg, H-C. & Pellegrini, B. 2020. Biomechanical determinants of cross-country skiing performance: A systematic review. Journal of Sport Sciences. 2020 Volume 38, issue 18. Viitattu 22.10.2024 <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1775375>.

LIITTEET

Liite 1. Tutkimukseen osallistuneille jaetut kyselyt ja materiaalit

Liite 1. Tutkimukseen osallistuneille jaetut kyselyt ja materiaalit

Alla luetellut liitteet ovat Jyväskylän yliopiston omaisuutta. Kyseiset liitteet ovat saatavilla opinnäytetyön tekijöiltä erikseen pyydettäessä.

Arvio tutkimuksen eettisyydestä

Data management plan

Koronaliite

Tutkittaville annettava materiaali

Saatekirje hiihtotutkimukseen 2021

Suostumuslomake

Tietosuojailmoitus

Janne Hyyppä

Juuso Toivola