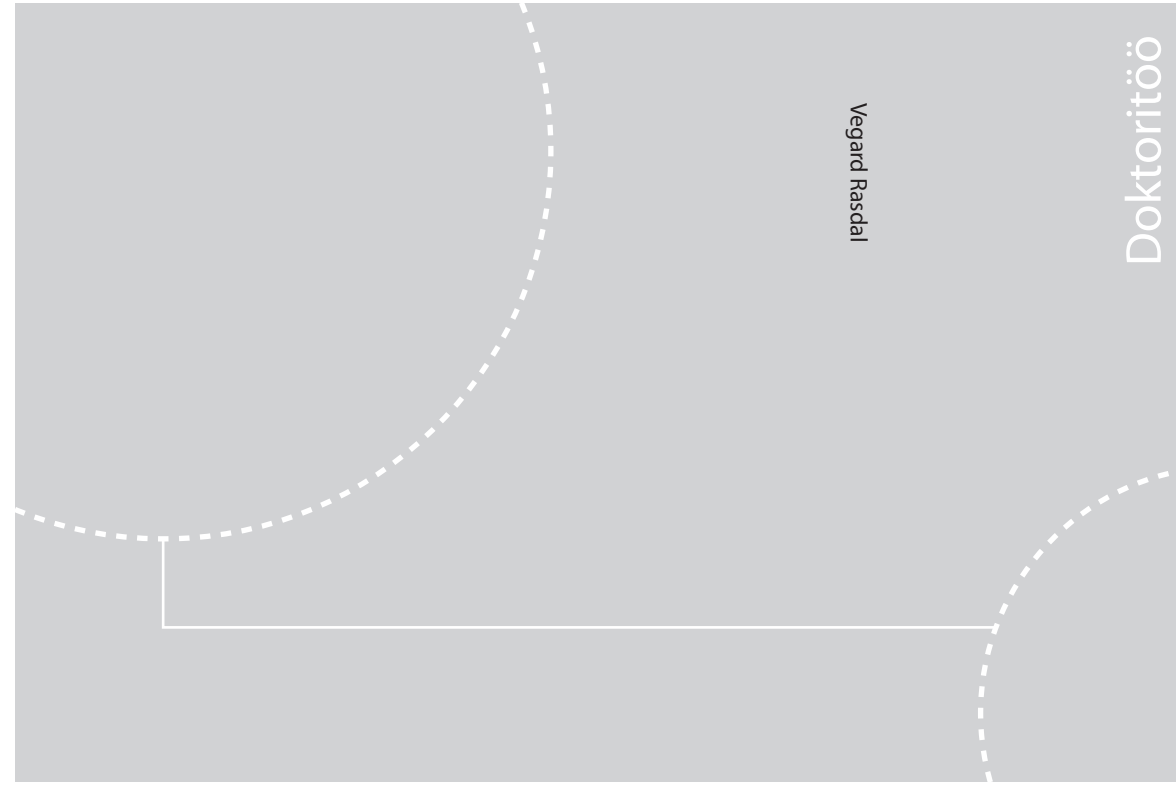


ISBN 978-82-326-3870-3 (printitud versioon)
ISBN 978-82-326-3871-0 (elektroniline versioon)
ISSN 1503-8181



Doktoritöö NTNU-s, 2019:136

Vegard Rasdal

Kahe äärmuse samaaegne optimeerimine: maailmatasemel kahevõistlejate jõudlus-, füsioloogilised ja treeningnäitajad

Doktoritöö NTNU-s, 2019:136

NTNU
Norra Teadus- ja Tehnikaülikool
Väitekirja filosoofidoktori kraadi saamiseks
Meditsiini- ja terviseteaduste teaduskond,
Neuromeditsiini ja liikumisteaduse osakond

 **NTNU**
Norwegian University of
Science and Technology

 **NTNU**
Norwegian University of
Science and Technology

 **NTNU**

Vegard Rasdal

Kahe äärmuse samaaegne optimeerimine: maailmatasemel kahevõistlejate jõudlus-, füsioloogilised ja treeningnäitajad

Väitekiri filosoofiadoktori kraadi saamiseks

Trondheim, mai 2019

Norra Teadus- ja Tehnikaülikool
Meditsiini- ja terviseteaduste teaduskond
Neuromeditsiini ja liikumisteaduse osakond

NTNU

Norra Teadus- ja Tehnikaülikool

Väitekiri filosoofiadoktori kraadi saamiseks

MeditSiini- ja terviseteaduste teaduskond
NeuromeditSiini ja liikumisteaduse osakond

© Vegard Rasdal

ISBN 978-82-326-3870-3 (prinditud versioon)

ISBN 978-82-326-3871-0 (elektrooniline versioon)

ISSN 1503-8181

Doktoritöö NTNU-s, 2019:136

Prinditud: NTNU Grafisk senter

Kokkuvõte

Kahevõistlus on traditsiooniline talispordiala, mis on olnud olümpiaprogrammis alates esimestest taliolümpiamängudest Chamonix's 1924. aastal. Kahevõistluses järgneb suusahüppevõistlustele vabatehnikas peetav murdmaasuusatamise jälitussõit. Kahevõistluse edukaks sooritamiseks peavad sportlased tegema tehniliselt keeruka suusahüppe, mille tähtsad omadused on äratõuke vertikaalimpulss ja väike kehamass, ning sellele järgneva 10 km murdmaasuusatamise, mis nõuab suurt aeroobset ja ülakeha võimsust. Paraku on teadmised maailmatasemel kahevõistlejate füüsiliste nõudmiste, füsioloogiliste ja tehniliste võimete ning treeningnäitajate kohta puudulikud. Seetõttu oli sinise väitekirja põhieesmärk selgitada välja kahevõistluse soorituse jaoks olulised tegurid, aga ka vastavad laboratoorsed võimed ja treeningnäitajad, mida kahevõistlejad vajavad maailmataseme saavutamiseks.

Väitekirja neljas uuringus osales vabatahtlikult kokku 27 maailmakarikavõistluste sportlast. *I uuring* uuris spordialapõhiste laboratoorsete võimete ning suusahüppe, murdmaasuusatamise ja kahevõistluse üldsoorituse vahelisi seoseid maailmakarikavõistlustel. *II uuring* võrdles maailmatasemel kahevõistlejate spordialapõhiseid laboratoorseid võimeid ja iga-aastast treeningut suusahüpetele ja murdmaasuusatamisele keskendunud sportlastega. *III-IV uuring* kirjeldas maailmatasemel kahevõistlejate iga-aastasi ja pikaajalisi treeningperioode.

Põhjäreldused olid järgmised: (1) suusahüppe sooritust ennustasid kõige paremini imitatsioonhüppel saavutatud vertikaalkiirus ja kehamass, samas kahevõistlejate murdmaasooritust ennustasid kõige paremini rullsuuskadega vabatehnikas saavutatud kehamassile taandatud VO_{2peak} ja paaristõugete võimsus; (2) maailmatasemel kahevõistlejad erinesid mitmesuguste laboratoorsete võimete poolest vaid 10–17% ning harjutasid suusahüppajate ja murdmaasuusatajatega võrreldes vastavalt pool eritreeningute arvust ja kaks kolmandikku vastupidavustreeningute tundidest; (3) maailmatasemel kahevõistlejad harjutasid oma kõige edukamal hooajal igal aastal ~850 treeningutundi, millest 60% oli vastupidavustreening. Kuigi treeningute sagedus oli kogu hooaja vältel suhteliselt püsiv, siis treeningute kogumaht vähenes järguti üldettevalmistusperioodist võistlusperioodi siirdumisel. Nii vastupidavustreeningute kui ka suusahüppe eritreeningute puhul järgivad treeningustrid loogiliselt erialakesksuse põhimõtet – algtreeningperioodide üldtreeningutele järgneb võistlusperioodile lähenemisel ja selle ajal rohkem võistluspõhisem koormus; (4) kahevõistluse olümpiavõitja üksikasjalikud analüüsid näitasid nelja-aastase olümpiatsükli kolmel esimesel hooajal vastupidavustreeningu järkjärgulist suurenemist kuni vastupidavustreeningute 12% vähenemiseni olümpiahooajal. Sportlane säilitas kõigi nende aastate jooksul oma üldise vertikaalse hüppevõime $\sim 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (hoolimata oma kehamassi suurenemisest 7 kg võrra), kuid parandas spordialapõhistel imitatsioonhüpetel oma vertikaalset hüppekiirust 14% võrra ja rullsuuskadel

oma absoluutset VO_{2peak} väärtust 19% võrra. Need muutused kaasnesid imitatsioonhüpete arvu peaaegu kahekordse suurenemise ja iga-aastase vastupidavustreeningu ~200-tunnise kasvuga. Murdmaasuusatamises pöörati kõikidel hooaegadel tähelepanu otsustavale tegurile ehk finišivõimekuse parandamisele, sest mõlemad olümpia kuldmedalid võideti finišiheitluses.

See väitekirj näitas, kuidas maailmatasemel kahevõistlejad saavutavad jõu/võimsuse ja vastupidavuse samaaegsete treeningutega suusahüpetes ja murdmaasuusatamises inimvõimete piirile lähedased füüsilised võimed, et parendada oma kahevõistluse sooritust. Selles kontekstis jaotavad kahevõistlejad oma iga-aastasest 800–1000 treeningutunnist kaks kolmandikku vastupidavusele ja ühe kolmandiku suusahüpete eritreeningutele (st suusahüpped, hüpeteta tehnikatreening, jõud/võimsus, tasakaaluharjutused ja venitamine). Suusahüpete ja murdmaasuusatamise soorituseks harjutatakse suusahüpetele ja murdmaasuusatamisele keskendunud suusatajatega sarnase jaotusmudeli alusel. Kuid kahevõistlejad harjutavad võrreldes erialasportlastega keskmiselt lühemate treeningukestustega. Leiti, et kahevõistluses maailmataseme saavutamisel oli üldise treeningumahu põhimuutuja vähese intensiivsusega vastupidavustreening, aga suusahüppe eritreeningu ja suure intensiivsusega vastupidavustreeningu maht hoiti läbi hooaegade ja hooaja treeningperioodides suhteliselt ühtlane. Lisaks näitavad meie mitmekordse kahevõistluse olümpiavõitja andmed, et noorusaastatel on soovitatav keskenduda alakeha lihasejõu ja vertikaalse hüppeimpulsi suurendamisele, misjärel panna vanemas eas suurem rõhk omandatud võimekuse äratõukeliikumise tehnilisemale teostamisele, kuna sel ajal on vaja murdmaasuusatamise suutlikkuse edasiseks suurendamiseks vastupidavustreeningute mahtu suurendada.

Publikatsioonide loetelu

See väitekirj põhineb neljal algsel uurimisel, millele on kogu töö jooksul viidatud nende Rooma numbritega. Väitekirjas on esitatud valik tulemusi nendest töödest ja sisaldab ka lisaandmeid.

- I uuring** Rasdal V., Fudel R., Kocbach J., Moen F., Ettema G., Sandbakk O. (2017) Association between laboratory capacities and world-cup performance in Nordic combined. (Kahevõistluse laboratoorsete võimete ja maailmakarikavõistluste tasemel soorituse vaheline seos) PLoS One 12(6), e0180388. Doi: 10.1371/journal.pone.0180388
- II uuring** Sandbakk O., Rasdal V., Bråten S., Moen F., Ettema G. (2016) How do WorldClass Nordic Combined Athletes Differ From Specialized Cross-Country Skiers and Ski Jumpers in Sport-Specific Capacity and Training Characteristics? (Kuidas erinevad maailmatasemel kahevõistluse sportlased spordialapõhiste võimete ja treeningnäitajate poolest murdmaasuusatajatest ja suusahüppajatest?) Int J Sports Physiol Perform 11(7), 899–906. Doi: 10.1123/ijsp.2015-0285.
- III uuring** Tønnessen E., Rasdal V., Svendsen I. S., Haugen T. A., Hem E., Sandbakk O. (2016) Concurrent Development of Endurance Capacity and Explosiveness: (Kestvus- ja plahvatusvõimete samaaegne arendamine: maailmatasemel kahevõistluse sportlaste treeningnäitajad) Int J Sports Physiol Perform 11(5), 643–654. Doi: 10.1123/ijsp.2015-0309.
- IV uuring** Rasdal V., Moen F., Sandbakk O. (2018) The Long-Term Development of Training, Technical, and Physiological Characteristics of an Olympic Champion in Nordic Combined. (Kahevõistluse olümpiavõitja tehniliste, treening- ja füsioloogiliste näitajate pikaajaline arendamine) FrontPhysiol 9, 931. Doi: 10.3389/fphys.2018.00931.

Lisaandmed (välja andmata)

Suusahüpete ja murdmaasuusatamise soorituse panus kogu kahevõistluse sooritustasemele individuaalsetel maailmakarikavõistlustel ajavahemikus 2008/09 kuni 2017/18.

Tänuavaldused

Olles sündinud ja kasvanud Norra läänerannikul, kus pole aasta ringi mingit lund, olid minu kogemused talispordiga peaaegu olematud. Seetõttu poleks ma kunagi osanud arvata, et mulle antakse usaldus ja võimalus teha riiklikus suusaliidus ja Olympiatoppenis töötades iga päev koostööd maailma parimate kahevõistluse sportlastega. Õppimiskõver on olnud järsk ja üheaegne töö selle väitekirjaga NTNU SenTIF-is on olnud ülioluline, et suunata mind tähtsate küsimuste poole ja mitte eksida kahevõistluse vähe uuritud teadusvaldkonnas ebakindluse lõpmatusse. Oma kogemuste puudulikkuse ja lapseliku uudishimu tõttu oleksin teinud sellel teel palju valesid pöördeid, kui poleks olnud hämmastavalt andekaid ja hoolivaid inimesi, kes mind sellel teel toetasid ja juhendasid. Tahan tänada kõiki, keda on mainitud ja keda ei ole mainitud, nende teadmiste, juhiste, sõpruse ja positiivse energia jagamise eest nende aastate jooksul. Eriti tahaksin tänada...

Oma põhijuhendajat professor Øyvind Sandbakki, selle väitekirja kindlalt valmimiseni juhendamise eest. Ehkki teie kalender oli ühtalati täis, oli teie uks alati avatud nii küsimuste kui ka julgustavateks vestlusteks segaduse hetkedel. Olete mind toetanud ja minusse uskunud viisil, mis on mind tohutult motiveerinud ja aidanud mul endasse uskuda. Olen selle eest ääretult tänulik. Hindan südamest kõiki meie arutelusid ja loodan, et neid on järgmistel aastatel veel palju tulemas!

Oma kaasjuhendajat professor Gertjan Ettemad. Teie kirk uuringute vastu ja kindel seisukoht teadusuuringute küsimustes on inspireerinud ja majakaks kõigile teistele, kellel on õnne teiega koos töötada. Kuigi väidate, et ei tea kõiki vastuseid, on teil sageli ükskõik millisele teile esitatud probleemile hästi läbimõeldud lahendus.

Dr Frode Moeni kõikide meie kahevõistlust hõlmavate vestluste eest ja kõikidele tippspordis edenemise jaoks tähtsatele põhielementidele osutamise eest. Teie pühendumus kahevõistlusele on nakkav ning teie soov jagada oma kogemusi ja elutarkust sportlase, treeneri ja Olympiatoppeni Kesk-Norra juhina on asjad, mille eest ma olen teile sügavalt tänulik.

Norra suusaliidu treenereid ja sportlasi teie huvi eest minu töö vastu ja soovi eest osaleda uuringutes, aga ka selle käigus väärtuslike sisendite andmise eest. Erilised tänud peatreener Bjørn Kåre Ingebrigtsenile kõikide meie vestluste eest treeningväljal ja hotellitubades ning teie vastuste eest minu lõpututele küsimustele.

Kõiki minu vaimustavaid NTNU SenTIF-i ja Olympiatoppeni kolleege Toppidrettssenteret Granåsenis ergastava atmosfääri loomise eest, mis muutsid kontoripäevad meeldejäävaks ning Harrit ja Gurot selle väitekirja korrektuuriga aitamise eest. Eriline tänu minu büroo toakaaslasele Sindre Østeråsile selle eest, et ta oli mu teine naine Granåsenis.

Jørgen Danielsen, Steinar Bråten, Veronica Bessonet, Ronny Fudelit ja Jan Kocbachi andmete kogumisel panustamise eest. Eriline tänu Steinar Bråtenile alatise olemasolu eest ja soovi eest jagada oma suusahüppealaseid kogemusi.

Kogu USA-st Jaapanini ulatuvat kahevõistluse kogukonda ja Rahvusvahelist Suusaföderatsiooni teie panuse eest minu uurimusse ja selle tulemuste vastu huvi tundmise eest.

Minu sõpru ja perekonda kogu armastuse ja toetuse eest ning minu puudumisega nõustumise eest viimase nelja aasta jooksul. Eriline tänu mu suurele vennale Kim-Vidar Rasdalile minu Trondheimi kutsumise eest 11 aastat tagasi.

Ja lõpuks oma naist Stinet. Lihtsalt selle eest, et oled olemas, ja meie maagilise poja Eliase eest, kes annab tõelise vaatenurga sellele, mis on elus tähtis.

Sisukord

| | |
|---|-----------|
| Kokkuvõte | i |
| Publikatsioonide loetelu..... | iv |
| Tänuavaldused..... | v |
| Lühendid..... | ix |
| SISSEJUHATUS..... | 1 |
| Kahevõistluse füsioloogilised nõudmised..... | 4 |
| Suusahüpe | 4 |
| Suusahüppe füsioloogilised nõudmised | 8 |
| Murdmaasuusatamine..... | 10 |
| Murdmaasuusatamise füsioloogilised nõudmised | 12 |
| Kahevõistlejate eri spordialade samaaegne treening..... | 14 |
| VÄITEKIRJA EESMÄRK..... | 17 |
| MEETODID..... | 18 |
| Katseisikud | 18 |
| Võistluse analüüsid..... | 18 |
| Mõõteriistad ja materjalid..... | 20 |
| Katseprotokollid ja mõõtmised | 20 |
| Vertikaalhüppe katsed | 20 |
| Vastupidavuskatsed..... | 21 |
| Kogutõhususe ja võimsuse arvutused..... | 22 |
| Treeningupäevikute analüüsid | 23 |
| Statistilised analüüsid | 26 |
| TULEMUSTE KOKKUVÕTE..... | 27 |
| Nõuded sooritusele | 27 |
| Laboratoorsed võimed..... | 30 |
| Laboratoorsete võimete tõendamine (I uuring) | 30 |
| Võrdlus üksnes suusahüppajate ja murdmaasuusatajatega (II uuring) | 31 |
| Pikaajaline füüsiline areng (IV uuring) | 34 |

| | |
|--|-----------|
| Treeningu sisu | 35 |
| Iga-aastase treeningu erinevused üksnes suusahüppajate ja murdmaasuusatajatega (I uuring) | 35 |
| Aastane treeningu ajastus (III uuring) | 37 |
| Pikaajaline treeningu ajastus (IV uuring) | 39 |
| ARUTELU | 42 |
| Nõuded sooritusele | 43 |
| Soorituse laboratoorsed näitajad | 43 |
| Suusahüpped | 43 |
| Murdmaasuusatamine | 45 |
| Aastase treeningu võrdlus üksnes suusahüppajate ja murdmaasuusatajatega | 46 |
| Suusahüppesoorituseks harjutamine | 47 |
| Murdmaasuusatamise soorituseks treenimine | 47 |
| Aastane treeningu ajastus | 48 |
| Pikaajaline treeningu ajastus | 49 |
| Metoodilised kaalutlused | 51 |
| JÄRELDUSED | 53 |
| VIITED | 54 |

Lühendid

| | |
|---------------------------------|--|
| [La ⁻] _b | Laktaadisisaldus veres |
| CMJ | Pörkehüpe |
| CPH | Hooaja võistlusperiood (jaanuar–märts) |
| GEK | Kogutõhusus |
| GPH | Hooaja üldettevalmistusperiood (juuni–oktoober) |
| HIT | Kõrge intensiivsusega treening |
| HR | Pulss |
| HS | Hüppemäe suurus |
| IMIT | Suusahüppe spordialapõhised kuivamaa imitatsioonhüpped |
| KMI | Kehamassiindeks |
| K-point | Hüppemäe ehituslik kriitiline maandumispunkt |
| LIT | Madala intensiivsusega treening |
| MIT | Mööduka intensiivsusega treening |
| NC | Kahevõistlus |
| RER | Respiratoorne hapnikuvahetus |
| RP | Hooaja taastumisperiood (aprill) |
| SJ | Suusahüpe |
| SP | Hooaja eriettevalmistusperiood (november–detsember) |
| SQJ | Kükkhüpe |
| TP | Hooaja siirdeperiood (mai) |
| Vh | Horisontaalkiirus |
| Vv | Vertikaalkiirus |
| VO _{2peak} | Maksimaalne hapnikutarbimine |
| XC | Murdmaasuusatamine |

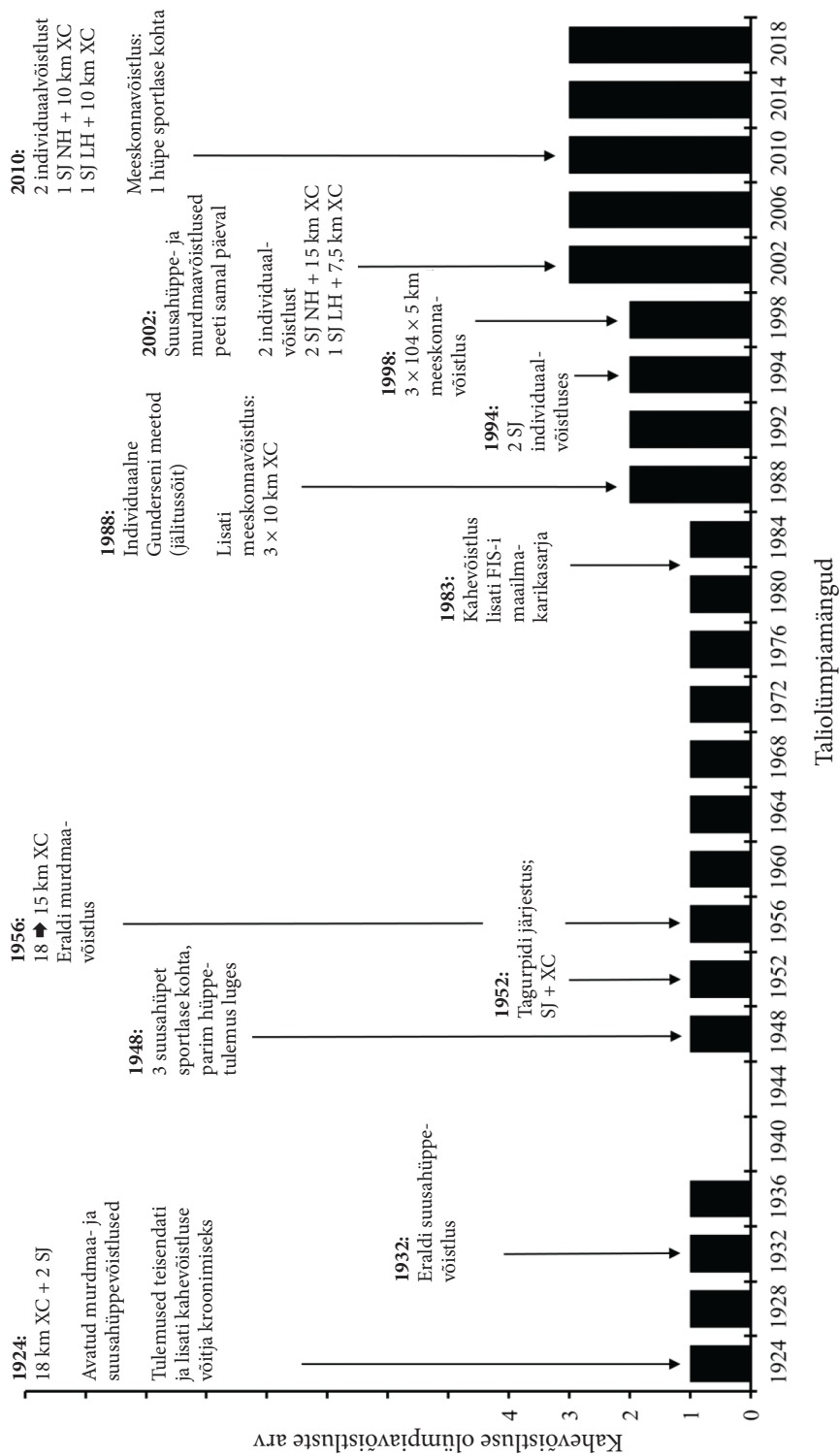
SISSEJUHATUS

Põhja suusaalad on pärit Põhjamaadest ning koosnevad niisugustest talispordialadest nagu suusahüppamine (SJ), murdmaasuusatamine (XC) ja kahevõistlus (NC), mis sisaldab nii suusahüppeid kui ka murdmaasuusatamist. Kui murdmaasuusatamise algset kasutamist transpordiks ja üle lume sõitmiseks on täheldatud tuhandeid aastaid, siis suusahüpete kohta on esimesed registreeritud tõendid palju hilisemad – Norra sõjaväe leitnant Olaf Rye hüppas 1808. aastal 9,5 meetrit, et sõdureid oma vaprusena motiveerida (Gotaas 2011). Murdmaasuusatamine on ajaloo jooksul olnud Põhjamaade sõjaväes oluline omandatav oskus ja Norra rügemendid korraldasid 19. sajandil regulaarselt auhinnaga suusavõistlusi, et tõsta huvi suusaoskuste arendamise vastu (Gotaas 2011).

Murdmaasuusatamise harjutamine spordina oli tugev ka Norra kogukonnas ja 1843. aastal korraldati Norras Tromsøs maailma esimene ametlik murdmaasuusavõistlus. Vaid paarkümmend aastat hiljem hakkasid tsiviilisikud võistlema Norras talvekarnevalidel, kus kõik osalejad võistlesid nii suusahüpetes kui ka murdmaasuusatamises. Parima sportlase kui kahevõistluse võitja kroonimiseks lisati mõlema võistluse tulemused. Kahevõistlus oli ka esimese Põhja suusaalade suurturniiri, 1892. aastal peetud Holmenkolleni suusafestivali põhiala.

Kõik Põhja suusaalad on olnud olümpiaalad alates esimestest taliolümpiamängudest, mis korraldati Prantsusmaal Chamonix's 1924. aastal. Esialgu oli sportlaste jaoks tavaline võistlemine nii suusahüpetes kui ka murdmaasuusatamises, kus 18 km murdmaasuusavõistluse tulemused teisendati ja liideti suusahüpete tulemustega, et kuulutada üldine kahevõistluse võitja. Seega polnud esimestel taliolümpiamängudel harvad juhud, kus sportlased võitsid medaleid mitmelt alalt. Näiteks 1924. aasta esimestel olümpiamängudel võitis Torlauf Haug kulla mõlemas murdmaasuusatamises (18 km ja 50 km) ja kahevõistluses, aga ka pronksi suusahüppevõistlusel (ta taandati neljandaks 50 aastat hiljem, pärast punktisüsteemi arvutusvea avastamist). Kuid üleskutse eristada neid spordialasid kasvas ja alates 1932. aasta olümpiamängudest oli teine suusahüppevõistlus mõeldud eranditult kahevõistlejatele, enne kui 1956. aasta olümpiamängudel peeti ka eraldi murdmaasuusatamise võistlus.

Olümpiamängude kahevõistluse võistlusformaadid on aastate jooksul palju muutunud (vt joonis 1), kuid harilikult on üldvõitja väljaselgitamiseks alati ühe võistlusetüübi tulemused teisendatud ja arvestatud sportlastega teisest võistlusetüübist. Kuni 1952. aasta olümpiamängudeni korraldati alguses murdmaasuusavõistlus, millele järgnes mõni päev hiljem suusahüppevõistlus.

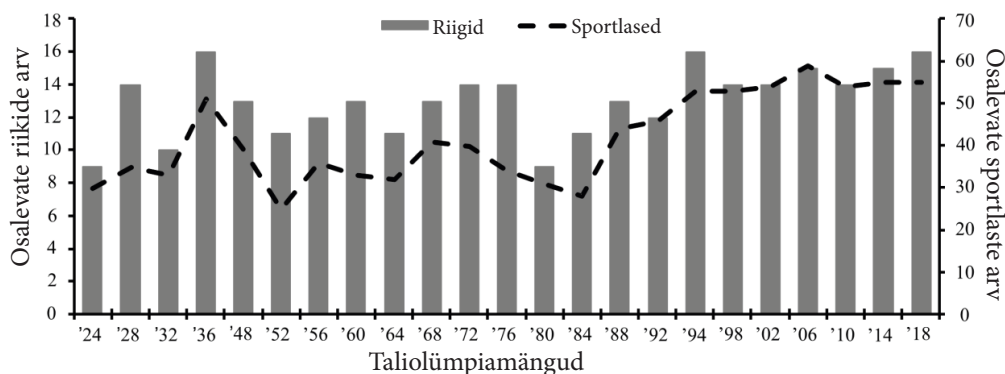


Joonis 1. Kahevõistluse võistlusformaadi muudatuste ajakava taliolümpiamängudel aastatel 1924 kuni 2018
XC: murdmaa, SJ: suusahüpe, NC: kahevõistlus, NH: normaalmäe võistlus, LH: suure mäe võistlus, WC: maailmakarikas
(allikas: OlyMADMen, 2018)

Kui murdmaavõistluse sportlaste ajaline erinevus muutus suusahüppevõistlustel arvestamiseks liiga suureks, siis muudeti 1952. aasta olümpiamängudel võistluste järjekorda, enne kui järgnevatel 1956. aasta olümpiamängudel vähendati murdmaavõistluse distantsi 18 kilomeetrilt 15 kilomeetrile (OlyMADMen 2018).

Tähtsaim võistlusformaadi muudatus oli Gunderseni meetodi kasutuselevõtt 1988. aasta olümpiamängudel. Murdmaavõistlus viidi läbi jälitussõiduna (mitte intervallstardina), järjestati ja ajastati suusahüppevõistluse tulemuste järgi, kusjuures lubati murdmaavõistluse starti ainult 50 parimat sportlast. Järelikult alustas suusatamist kõigepealt suusahüpete liider ja võitjaks osutus esimene finišijoone ületanud sportlane. See tegi võistluse tavavaatajale palju arusaadavamaks ja huvitavamaks ning sellest ajast on olnud mitmed arvutusreeglid mõeldud kahe võistlusalal suhtelise panuse tasakaalustamiseks, et leida üldtulemus ja koguda murdmaavõistluse finišiks võistlusareenile võimalikult palju kahevõistlejaid. 1988. aastal kasutati esimest korda olümpiamängudel murdmaasuusatamises vabatehnikat, mida on alates sellest ajast kasutatud kõigil kahevõistluse jõuproovidel.

2002. aasta olümpiamängudel muudeti teise individuaalvõistluse toimumise võimaldamiseks suusahüppe- ja murdmaavõistluste järjestust, et need toimuksid samal päeval. Alates 2010. aastast on mõlemad individuaalvõistlused korraldatud ühe suusahüppega kas normaal- või suurel mäel (vt tabel 1), millele järgneb mõni tund hiljem 10 km pikkune murdmaa jälitussõit.



Joonis 2. Kahevõistluses taliolümpiamängudel aastatel 1924–2018 osalenud riikide ja sportlaste arv (allikas: www.olympic.org)

Kahevõistluse füsioloogilised nõudmised

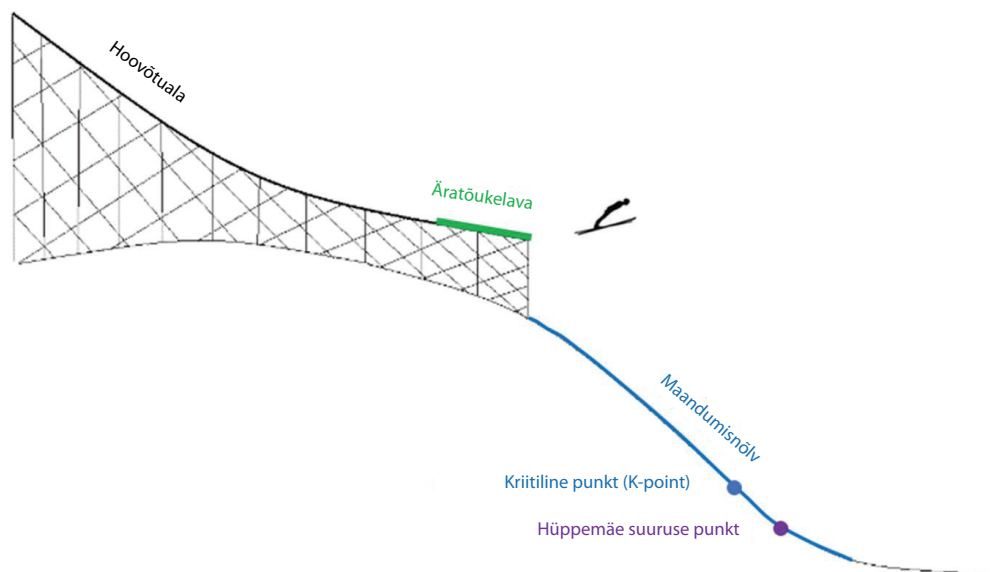
Otsingumootorites SPORTDiscuss ja PubMed märksõna „*Nordic combined*“ (kahevõistlus) päringu tulemusena oli 2018. aasta novembriks avaldatud 41 artiklit, mis käsitlevad kahevõistlust kui spordiala või kahevõistlejate kasutamist katseisikutena. Peaaegu pooled uuringutest käsitlesid tervist/ohutust ja ükski ei andnud mingit teavet kahevõistlejate erinõudmiste kohta. Laboratoorsetest võimetest mõõtsid Pääsuke jt (2001) hästi treenitud Eesti kahevõistlejate suuremat isomeetrilist tugevust ja jõu arengu kiirust võrreldes treenimata katseisikutega, ning Rønnestad jt (2012) mõõtsid Norra kahevõistlejatel sügavkükki ühe korduse maksimaalse keskmise ~100 kg koos aeroobse võimekusega (VO_{2peak}) rullsuuskadega vabatehnikas ~66 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Angermann jt (2006) said Šveitsi kahevõistlejatel jalgrattasõidu ja paaristõugete VO_{2peak} vastavalt $57,3 \pm 3,7$ ja $53,6 \pm 4,2$ ml·kg⁻¹·min⁻¹. Kuid enamikku nendes uuringutes vaadeldud sportlasi ei saa lugeda maailmaklassi kuuluvaks, seega ei esinda nende võimed eliidi füüsilist võimekust.

Uemas kirjanduses on Tønnessen jt (2015a) esitlenud Norra olümpiasportlaste VO_{2max} väärtusi laial valikul talispordi vastupidavusaladel. Siin on maailmatasemel kahevõistlejad saavutanud VO_{2max} keskmise väärtuse 77 ml·kg⁻¹·min⁻¹, aga maailmatasemel murdmaasuusatamise distantsi ja sprindi suusatajad vastavalt 84 ja 78 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Uuritud kahevõistlejatel oli samuti väiksem kehamass kui meessoost murdmaasuusatajatel, mis tekitab absoluutse VO_{2max} väärtuste uurimisel suurema rühmade erinevuse; st 5,3 l/min kahevõistlejatel ning murdmaasuusatamise distantsi ja sprindi suusatajatel vastavalt 6,4 ja 6,3 l/min. Schmitt jt (2018) said Prantsusmaa koondise sportlastel madalamad VO_{2max} väärtused, kuid sarnase 5% erinevuse kahevõistlejate ($66,1 \pm 3,2$ ml·kg⁻¹·min⁻¹) ja meessoost murdmaasuusatajate ($69,3 \pm 3,6$ ml·kg⁻¹·min⁻¹) vahel, nagu ilmnes samuti Tønnessen jt Norra suusatajate uuringus (2015a).

Maailmatasemel kahevõistlejate füüsilisi nõudeid, võimeid ja treeninguid selgitav kirjandus on kasin. Märkimisväärselt rohkem on aga kirjandust suusahüppajate ja murdmaasuusatajate nõuete kohta. Maailmatasemel suusahüppajate ja murdmaasuusatajate kohta tehtud uuringutes leitud nõuded võivad olla sobiv lähtekoht ka kahevõistlejate nõuete selgitamiseks.

Suusahüpe

Suusahüppemägi asub järsul nõlval, mis koosneb hoovõtualast, äratõukelavast ja maandumismäest (vt joonis 3). Hüppemäe kriitiline maandumispunkt (K-punkt) on „sihtmärk“, kui kaugele saavad võistlejad ohutult õhus liikuda, aga hüppemäe liigitus põhineb suurimal hüppepikkusel, milleks hüppemägi on ette nähtud (st mäe suurus = HS, vt tabel 1). Enamik täiskasvanute rahvusvahelisi kahevõistlusi, sealhulgas olümpiamängud, toimuvad HS95...HS109 m (s.o normaalmägi) ja HS130...HS145 m (s.o suur mägi) hüppemägedel.



Joonis 3. Suusahüppemäe kujutis koos hoovõtuala, äratõukelava ja maandumisnõlvaga, millel on määratletud kriitiline punkt ja mäe suurus

Suusahüpe jagatakse tavaliselt kuueks faasiks: hoovõtt, äratõuge, üleminek lennule, lend, maandumiseks ettevalmistamine ja maandumine (Schwameder 2008). Sportlase üldeesmärk on lahkuda äratõukelavalt enne lennufaasi võimalikult suure horisontaalse (v_h) ja vertikaalse (v_v) kiirusega. Selleks üritab sportlane vähendada hüppe alustamisel nii suuskade ja lume vahelist hõõrdumist kui ka aerodünaamilist takistust, et suurendada hoovõtukiirust ja seega horisontaalkiirust v_h . Hoovõtuala nõgususe (st raadiuse) tõttu enne äratõukelava on sportlane saavutanud vahetult enne äratõukeliigutuse alustamist tsentrifugaaljõu kuni 1,6 g (Ettema jt 2005). Sportlane püüab saavutada raadiusele järgneva piiratud aja [$\sim 0,35$ sekundit (Müller 2009)] jooksul oma lihasejõu abil äratõukelavaga täisnurga all vertikaalkiiruse v_v . Samal ajal vertikaalkiiruse v_v tekitamisega peab sportlane tekitama vajaliku ettepoole kallutusmomenti, et saavutada nii kiiresti kui võimalik pärast äratõukelavalt lahkumist soodne keha ja suuskade vaheline nurk. Kui ettepoole kallutusmoment on liiga väike, vähendab ebasoodne lennuasend horisontaalkiirust v_h ja tulemuseks on halb võistlussooritus. Liiga suure ettepoole kallutusmomenti tekitamine on halvem, sest see suurendab tunduvalt ettepoole kukkumise riski (Müller 2009).

Lennu ajal mõjuvad sportlasele gravitatsioonijõud, tõstejõud ja hõõrdejõud. Samas võivad sportlase kehaasend, lennutehnika ja varustus tugevalt mõjutada aerodünaamilisi jõude (tõste- ja hõõrdejõudu) (Jung jt 2014; Lee jt 2012), äratõukeliikumist peetakse eduka soorituse jaoks laialdaselt suusahüppe tähtsaimaks faasiks (Arndt jt 1995; Müller 2009; Schwameder 2008; Virmavirta jt 2009).

Tabel 1. Rahvusvahelistel kahevõistluse võistlustel kasutatavate suusahüppemägede liigitus mäe suuruse järgi

| Liigitus | Taliolümpiamängud | K-punkt | Hüppemäe suurus (HS) |
|--------------------|-----------------------------|-------------|----------------------|
| Keskmine mägi (MH) | | 45...74 m | 50...84 m |
| Normaalmägi (NH) | Kahevõistlus Suusahüpped | 75...99 m | 85...109 m |
| Suur mägi (LH) | Kahevõistlus Suusahüpped | 100...169 m | 110...184 m |
| Suusalennumägi | | ≥ 170 m | ≥ 185 m |

Suusahüppe sooritust ei määratleta üksnes hüppe pikkusega. Võistlejad reastatakse numbrilise tulemuse järgi, mis saadakse lisaks kaugusele ka stiilil, hoovõtu pikkusel (s.o värava) ja tuuleoludel põhinevate komponentide liitmisel. Normaalmäel ja suurel mäel, mis on kaks kahevõistluse olümpiavõistluste korraldamisel kasutatavat mäge, antakse sportlasele 60 punkti, kui ta maandub K-punktis, ja iga meetri eest, mille võrra ta rohkem või vähem hüppab, liidetakse või lahutatakse punkte. Suusahüppe eest võib saada kuni 60 nn stiilipunkti, mis põhinevad „täpsuse asjaoludel (ajastus), täiuslikkusel (liikumiste teostamine), püsivusel (lennuasend, maandumine) ja üldmuljel“ (FIS 2018b).

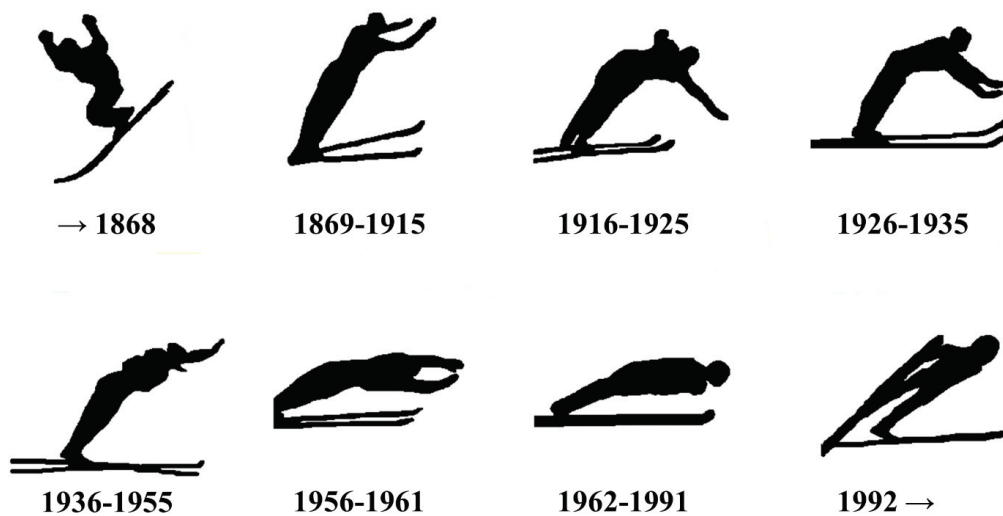
Värava- ja tuuletegurid kehtestati maailmakarikavõistlustel 2009. aastal, kuid olümpiamängudel alles 2014. aastal. Seda tehti tulemuste õiglasema võrdlemise võimaldamiseks muutuvates välistingimustes. Ideaalolukorras hüppavad kõik sportlased ühel võistlusel samast väravast. Kui aga tuuleolud muutuvad võistluse ajal liiga palju, on kohtunikel õigus muuta hoovõtu pikkust ja seega ka hoovõtu kiirust, et tagada ohutud ja õiglased võistlused. Sel juhul liidetakse või lahutatakse nn väravategur, sõltuvalt sellest, kas sportlase hoovõtu pikkus oli väiksem või suurem. Hüppemäe mitmesse strateegilisse asukohta paigutatud tuuleandurite andmete põhjal

määratakse täpsustatud arvutuse alusel hüppe tegelike tuuleolude hüvituspunktid. Need punktid liidetakse või lahutatakse olenevalt tuulesuunast, st pärituule puhul punktid liidetakse, aga vastutuule puhul lahutatakse.



Joonis 4. Vasakul algne Holmenkolleni suusahüppemägi Norras Oslos 1892. aastal ja paremal uuendatud tänapäevane variant (kuvatõmmis saidilt VisitOSLO (www.visitoslo.com))

Kuni 1990. aastateni oli enamiku hüppajate eelistatud lennuasend niinimetatud paralleelstiil, kus sportlased nõjatusid sirgete põlvedega pahkludest kaugemale ette ning hoidsid suuski paralleelselt ja veidi ülespoole kaldu (vt joonis 5). Tänapäevase V-stiili kasutamise teerajaja oli Rootsi hüppaja Jan Boklov 1980. aastatel (Müller 2009). Siin on suusad aerodünaamilise V-kujulise asetusega väljapoole sirutatud ja sportlase keha asetseb nende vahel palju lamedamalt võrreldes paralleelstiiliga. See tekitas tõstejõu jaoks palju suurema pindala ja suurendas kohe hüppepikkust sama hoovõtukiiruse puhul (Müller 2009). See aitas samuti kaasa õhus suurema püsivuse saavutamisele, sest võimaldas sportlasel suuskadele ja kehale mõjuvat õhuvoolu sõltumatult kohandada. Esmalt olid kohtunikud uue tehnika vastu, sest nad ei lugenud sobivaks midagi muud kui ainult paralleelstiili. Selle tagajärjel nulliti suurenenud hüppepikkused hüppe eest saadud halbade stiilipunktidega. Aga pärast seda, kui Jan Boklov nõudis tehnika kasutamist ja võitis lõpuks kogu maailmakarikahooaja aastatel 1988–89, hakkas üha rohkem hüppajaid seda järgima ning lõpuks pidid ka kohtunikud nõustuma. 1990-ndate keskpaigaks sai sellest valitsev hüppestiil, mida kasutasid kõik kahevõistlejad ja suusahüppajad ning mida kohtunikud ja FIS tunnustasid.



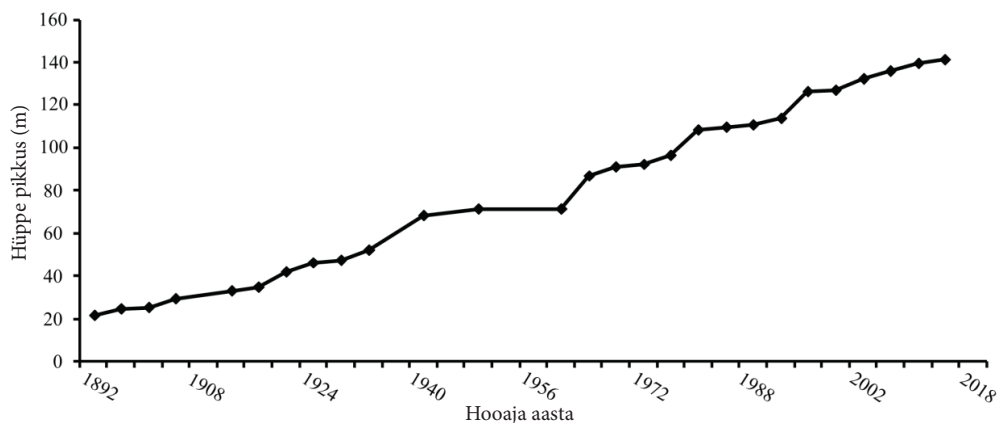
Joonis 5. Suusahüppetehnika areng alates 1868. aastast kuni tänapäevase V-stiili tehnikani, millest sai 1992. aastal peamine maailmakarikasportlaste kasutatud tehnika (muudetud Vodicari ja Bosti tööst (2017))

Suusahüppe füsioloogilised nõudmised

Hüppemägede ehituse, varustuse ja sportlaste tehnikamuustrite täiustused on viimase sajandi jooksul tohtult hüppepikkust suurendanud (vt joonis 4 ja 5). Alates 1892. aastal Holmenkolleni suusahüppemäel toimunud esimeste suuremate võistluste rekordhüppest 21,5 meetrit on praeguseks jõutud Andreas Kofleri 2011. aastal püstitatud rekordhüppeni 141 meetrit (vt joonis 6). Alates 1936. aastast on suusahüppe maailmarekord suurenenud 1,9 m aastas (Müller 2009) kuni Austria suusahüppaja Stefan Krafti kehtiva rekordini 253,5 m Norras Vikersundis 2017. aastal.

Suusahüppe uurimisel on kasutatud biomehaanilisi meetodeid peaaegu 100 aastat, peamised uurimisvaldkonnad on väliuuringud, simulatsioonhüpete laboriuuringud ja lennufaasi arvutisimulatsioonid, et uurida üksikute muutujate, nagu lennuasendi või kehamassi mõju (Müller ja Schwameder 2003). Väliuuringutelt on saadud tulemusi hüppe kui terviku kohta, aga ka eri etappide kohta eraldi. Enim tähelepanu on pööratud siiski äratõukefaasile, mida peetakse kogu hüppesoorituse jaoks ülioluliseks (Arndt jt 1995; Schwameder 2008). Väliuuringute korraldamisel mõjutavad välistingimused (nt tuul, temperatuur, sademed) loomulikult eri uuringute tulemusi ja samuti uuritud uuringurühma ühtlust. Praegu valitseb üksmeel, et suusahüppe soorituse tähtsad tegurid on suur hoovõtukiirus v_v koos kallutusmomendi

tekitamisega, et saavutada 20 m lennu järel väike keha ja suuskade vaheline nurk ning väike kehamass (Müller ja Schwameder 2003; Müller 2009).



Joonis 6. Pikimad registreeritud võistlushüpped Holmenkolleni suusahüppemäel Norras Oslos aastatel 1892 kuni 2018 (allikas: suusahüppemäe arhiiv (<http://www.skisprungschanzen.com>))

V-stiili tehnika juurutamisega 1990. aastatel muutus lennufaasi aerodünaamika palju tähtsamaks kui varem. Seda arengut seostati eliitsuusahüppajate kehamassiindeksi (KMI) langusega 4 ühiku võrra alates $\sim 24 \text{ kg/m}^2$ 1970. aastal kuni $\sim 20 \text{ kg/m}^2$ 2000. aastal (Müller 2009; Müller jt 2006). FIS võttis lahenduseks 2004. aastal vastu määruse, mille kohaselt sportlasi, kelle KMI on väiksem kui 20,5, karistatakse lühema suurima suusapikkusega, vähendades sellega nende saavutatavat aerodünaamilist tõusu ja väiksema kehamassi mõju. 2018. aastal muudeti seda reeglit uuesti viisil, et sportlase kaalumine koos hüppevarustusega asendati ilma selleta kaalumisega ja samas tõsteti märkimisväärselt kehamassi alampiiri. Tulemusena on hiljutistes uuringutes olnud nii suusahüppajate kui ka kahevõistlejate KMI ~ 20 (Janura jt 2016; Janura jt 2015).

Vertikaalhüpete laboratoorsed uuringud on näidanud suusahüppajate hüppevõime suuri erinevusi, kus lahknevused on tõenäoliselt seotud mõõteseadmete ja sportlaste tasemega. Näiteks Rønnestad (2013) ja Janura jt (2015) tuvastasid eri sooritustasemetega suusahüppajate kükkhüppe kõrguste erinevuse kuni 20% (vastavalt 43 ja 53 cm). Samamoodi mõõtsid Virnavirta ja Komi (2001) Soome suusahüppajatel spordialapõhistel imitatsioonhüpetel üle 0,72 s kestel keskmise suurima vertikaalkiiruse 2,38 m/s, samas kui Schwameder jt (1997) mõõtsid Austria koondisel üle 0,35 s kestel 3,18 m/s. Varustuse, sportlaste taseme, kasutatud varustuse ja lõpp-punkti arvutamise erinevuste tõttu on võrdlemine keeruline ja enne eliitsoorituse tõeliste võrdlusväärtuste kohta järelduste tegemist on vaja rohkem andmeid.

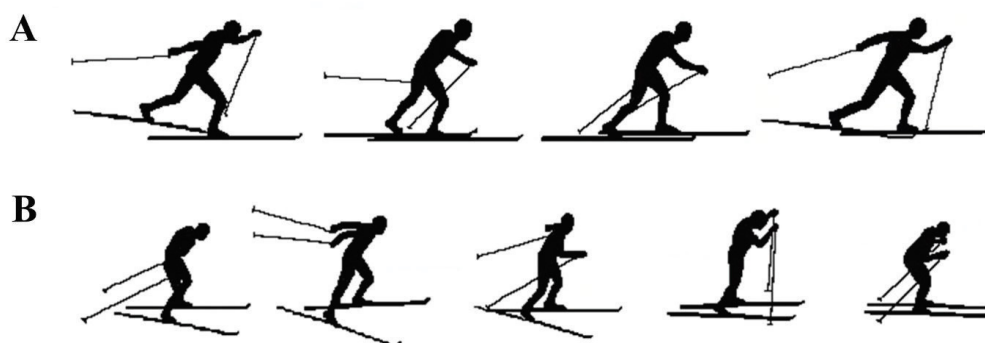
Kokkuvõttes on suusahüpe väga keerukas tehniline spordiala, kus hüppe iga faas sõltub eelneva faasi edukusest (Schwameder 2008). Sportlane peab lahendama ülimalt keerulisi sensomotoorseid ülesandeid, kus isegi väikesed ühe tähtsa faasi eksimused võivad sooritust ulatuslikult halvendada. Seetõttu koosneb enamjagu suusahüppajate treeninguid hüpetest eri hüppemägedel ja tehnikatreeningutest kuival maal, erisugustes piirtingimustes (Ettema jt 2016; Rønnestad 2013). Suure vertikaalkiiruse v_v saavutamiseks hoovõtu lõpus on vaja võimet saavutada piiratud ajaga suur netojõuimpulss ning seetõttu teevad suusahüppajad ja kahevõistlejad kogu treeningaasta vältel selleotstarbelisi füüsilise jõu treeninguid (Bosl jt 2007; Pääsuke jt 2001; Rønnestad 2013). Jõu, võimsuse ja tehniliste treeningute analüüsi piiratud valiiduse tõttu ei ole teaduskirjanduses kahjuks hästi kirjeldatud nende spordialade edukaid treenimismustreid, kus need komponendid on soorituse puhul põhimäärarajad. Paraku pööravad suusahüppajad siiski hooaja üldettevalmistusperioodil rohkem tähelepanu väheste kordustega tugevale jõutreeningule, et vähima hüpertroofiaga oma maksimaalset jõudu suurendada, samas pööratakse hooaja edenedes järk-järgult suuremat tähelepanu ballistikale ja suure kiirusega jõutreeningule, et tippjõudlust arendada või säilitada. Praegu ei ole uuringuid selle kohta, kuidas kombineerida sellist tundlikku tehnika ja füüsilise tugevuse treeningut kõige paremini suurte vastupidavustreeningute mahtudega.

Murdmaasuusatamine

Hooajal 2008/09 asendati kahevõistluse individuaalse maailmakarikavõistluse peamised 7,5 ja 15 km murdmaasuusavõistlused ning vastav järgnev suure mäe ja normaalmäe hüppevõistlus 10 km murdmaasuusa jälitussõiduga, olenemata mäe suurusest. Alates sellest on kolme viimase taliolümpiamängu (st Vancouver 2010, Sotši 2014 ja Pyeongchang 2018) kahevõistluse murdmaasuusatamise kiireim aeg muutunud vahemikus 22,4...24,5 minutit.

Esiolgu hõlmas nii kahevõistluse kui ka tavasuusatamise murdmaasuusatamine ainult intervallstardiga klassikatehnikas võistlusi, kus sportlased suusatasid suuskadega paralleelselt ja tõukasid suuski tahapoole, et tekitada libisemisliikumine lumel (vt joonis 7A). Kuid 1980-ndatel tõi rahvusvahelise murdmaasuusatamise areng kasutusele vabatehnikas suusatamise, mis kasutas uisutamisladset stiili. See tehnika on sarnasem kiiruisutamisele, kus suusataja tõukab väljapoole suunatud nurga all asetatud suuska risti suusa suunaga (vt joonis 7B) ning tekitab sellega siksakliikumise, mis erinevalt klassikatehnikast võimaldab jõudu rakendada ka libisemisfaasis ja saavutada sellega suurem kiirus kui diagonaalsammuga liikumisel.

Vabatehnika ei olnud sel ajal täiesti uus, sest suusaorienterujad ja maratonisuusatajad võtsid selle kasutusele vastavalt 1960-ndatel ja 1970-ndatel; kuid alles pärast seda, kui ameerika suusataja Bill Koch rakendas tehnikat FIS-i võistlustel 1982. aasta maailmakarikavõistluste võitmiseks, järgnesid ka teised maailmakarika murdmaasuusatajad (Gotaas 2011). Alguses oli murdmaasuusakogukond spordiala arendamise küsimuses lahkavamisel. Murdmaasuusatamise uisutehnika arendamise kirglikud vastased olid rikkalike suusatraditsioonidega ja klassikatehnikat kasutavad Skandinaavia riigid. Pärast mitmesuguseid uisutehnika variatsioonide kasutamise vastaseid jõupingutusi pidi FIS lõpuks selle arengu heaks kiitma ning jagas spordiala 1986. aastal klassika- ja vabatehnika võistlusteks. Kahevõistlus valis oma võistlusteks kiiresti vabatehnika ja 1988. aasta taliolümpiamängud olid esimesed olümpiamängud, kus kahevõistlejad seda tehnikat kasutasid.



Joonis 7. Kahe murdmaasuusatehnika illustratsioon, millel on üleval kujutatud klassikatehnikat (A) ja all vabatehnikat (B)

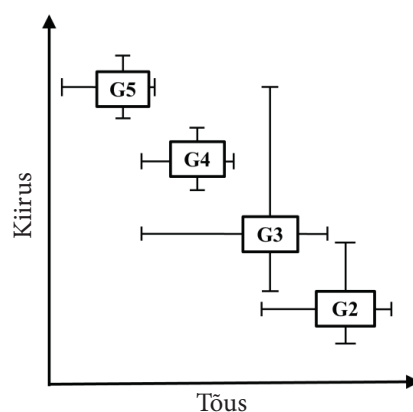
Kõik FIS-i egiidi all toimuvad murdmaasuusavõistlused, sealhulgas kahevõistluse 10 km murdmaasuusavõistlus, korraldatakse võistlusrajal, mis peab koosnema umbes ühe kolmandiku ulatuses tõusudest, ühe kolmandiku ulatuses lauskmaast ja ühe kolmandiku ulatuses laskumistest (FIS 2018a). Pidevalt muutuv rajakalle nõuab suusatajatelt korduvat suusasammu muutmist, kus sammutehnika valik sõltub kaldest ja kiirusest (vt joonis 8). Võistlustingimuste mitmekesisuse tõttu on teaduslik huvi murdmaasuusatamise vastu kasvanud vähem kui 80 publikatsioonilt 1980. aastatel rohkem kui 200-ni vahemikus 2010–2018.

Murdmaasuusatamise füsioloogilised nõudmised

Murdmaasuusatamise eri distantside aeroobselt tuletatud osakaal (st 70–75%-lt sprindisuusatamises kuni 85–95%-ni pikematel distantsidel) on võrreldav muude sama võistluskestusega vastupidavustegevustega (Sandbakk ja Holmberg 2014). Kuid vahelduval murdmaasuusarajal võisteldes muutub murdmaasuusataja töökoormus sageli tohutult ulatuses, kasutades ülesmäge maastikul tunduvalt suuremat töökoormust, kui on vaja VO_{2max} esilekutsumiseks, ja allamäge jäävaid löike taastumiseks (Sandbakk ja Holmberg 2014). Seega peavad murdmaasuusatajad saama hakkama laia valiku kiiruste ja maastikega.

Kahevõistlejate kasutatava vabatehnika puhul saadakse iga alamtehnika suurimad kiirused kas tsükli pikkuse või tsükli sageduse suurendamisega. Üks oluline tsükli pikkuse suurendamise strateegia on tõhusam paaristõuge (Sandbakk jt 2013a; Sandbakk ja Holmberg 2014). Ülakeha jõu tähtsust murdmaasuusatamise soorituseks on korduvalt kajastatud värskes kirjanduses (Grasaas jt 2014; Hegge jt 2015; Stoggl jt 2010) ning seda keerulisem on kahevõistlejatel tasakaalustada murdmaasuusatamise sooritusele kasulikku ülakeha lihasmassi ja jõudu ning selle võimalikku negatiivset mõju suusahüppe sooritusele.

Ehkki üks kolmandik võistlusrajast on ülesmäge, on see kõige paremini sooritus eristav maastik, sest üle 50% kogu võistlusrajast kulub ülesmäge lõikudele (Andersson jt 2010; Sandbakk jt 2011a). Seega on murdmaasuusatajate käes üks meessuusatajatel mõõdetud kõigi aegade kõrgeim VO_{2max} väärtus 80...90 ml·kg⁻¹·min⁻¹ (Holmberg 2015; Sandbakk ja Holmberg 2014; Tønnessen jt 2015a). Kuigi see märkimisväärselt suur aeroobne võimekus pole alates 1960. aastatest palju muutunud (Saltin ja Astrand 1967), siis klassikatehnikas suusatamise kiirus on suurenenud alates 1968. aasta Grenoble'i olümpiast kuni 2014. aasta Sotši olümpiani 20% (OlyMADMen 2018). Olgugi et me ei tea, kui suur osa tulemuste paranemisest tuleneb sportlaste treeningutest, võrreldes tehnika ja varustusega, siis teevad suusatajad tänapäeval rohkem eesmärgile orienteeritud treeninguid kui varem, näiteks suvel spetsiaalseid rullsuusatreeninguid ja kasutavad keerukamaid treeningperioodide mudelid (Sandbakk 2017).



Joonis 8. Murdmaasuusatamise vabatehnikas kasutatakse sõltuvalt tõusust ja kiirusest nelja peamist alamtehnikat

Uued võistlusformaadid on suurendanud ka nõudeid võistlejatele, nt anaeroobse võimekuse, ülakeha võimsuse ja kiirtehnika osas (Sandbakk ja Holmberg 2014), ning paremad suusatajad suusatavad tõhusamalt ja suudavad arendada pikemaid tsükli pikkusi kui madalama asetusega võistlejad (Bilodeau jt 1996; Sandbakk jt 2013b; Sandbakk jt 2010).

Vastupidavustreening on loogiliselt suurim osa murdmaasuusatajate treeningust ja moodustab nende iga-aastasest 800 treeningutunnist ~95%, jõu ja kiiruse treeningute arvele jääb ülejäänud 5% (Sandbakk jt 2011b; Tønnessen jt 2014). Nagu muude vastupidavusalade puhul, on ka maailmatasemel murdmaasuusatajate puhul kirjeldatud, et nad ajastavad oma iga-aastase treeningu erineva intensiivsuse mudeli põhjal suure mahu (75...90%) ja madala intensiivsusega (LIT) ning väikese mahu (10...25%) ja suure intensiivsusega treeninguks (HIT) (Sandbakk ja Holmberg 2014; Sandbakk jt 2011b; Seiler ja Kjerland 2006; Seiler 2010; Solli jt 2017; Tønnessen jt 2014). Suusapõhised treeningviisid (s.o suusatamine ja rullsuusatamine) moodustavad umbes 60% aastasest vastupidavustreeningust, kus alates üldettevalmistusperioodist kuni hooaja võistlusperioodini rõhutatakse järjest enam spordialapõhiseid vastupidavusviise (Tønnessen jt 2014).

Erinevalt murdmaasuusatajatest võistlevad kahevõistlejad jälitussõidus. Kuigi kahevõistlejate 10 km võistluse ~25-minutine võistluskestus eeldab murdmaasuusatajate sooritusel jaoks sarnaseid tähtsaid võimeid (st aeroobne võimekus, suusatamise tõhusus ja finišipurdi võimekus (Sandbakk ja Holmberg 2014)), võib jälitussõidu vahelduva maastiku keerukus näidata, et erisugused võimed annavad eelise kahevõistluse murdmaasuusavõistluse eri aspektide jaoks. Näiteks võib sooritus eri maastikel sõltuda erinevatest füüsilistest võimetest ja erinev tempostrateegia olla vajalik olenevalt sportlaste paigutusest murdmaasuusatamise jälitussõidu võistluses pärast suusahüppevõistlust, samuti võib sooritus oleneda sportlaste anaeroobse ja aeroobse energiavarustuse ja -kasutuse piirangutest. Kahevõistluse üldsoorituse puhul tähtsaks peetavate suusahüppe- ja murdmaasuusavõistluse erisuguste füsioloogiliste võimete optimaalne koostis on praktikas huvipakkuv, kuid seda on teaduslikult raske hinnata. Maailma parimate sportlaste analüüs võib olla seega mudel, et näha olulisimate parameetrite praeguseid võrdlusandmeid.

Kahevõistlejate eri spordialade samaaegne treening

Et kahevõistlus edukalt sooritada, peavad sportlased tegema tehniliselt üliskeeruka suusahüppe, mille põhiomadused on äratõuke vertikaalne netojõuimpulss ja väike kehamass, ning sellele järgneva kiire 10 km murdmaasuusavõistluse, mis nõuab suurt aeroobset ja ülakeha võimsust. Suusahüppe soorituseks vajalik füüsilise jõu ja võimsuse treening hõlmab suurima harjutusintensiivsusega lühikese kestusega tegevusi, mille eesmärk on arendada võimet teha lühikese aja jooksul suurima võimsusega ühekordseid lihasekontraktsioone. Seevastu murdmaasuusatamise edendamiseks mõeldud vastupidavustreening hõlmab pikema aja jooksul sadade submaksimaalse võimsusega lihasekontraktsioonide tegemist erisuguse harjutusintensiivsusega. See korduv pikaajaline tegevus arendab südame ja veresoonkonna (Jones ja Carter 2000), lihaste (Abernethy jt 1990; Hawley 2002) ja ainevahetuse (Baar 2014; Coffey ja Hawley 2007) talitlust, et suurendada keha võimet sooritada sarnaseid tulevasi harjutusseeriaid. Kummagi treeningviisi pikaajaline eraldiseisvana rakendamine loob lõppkokkuvõttes erilise treeningust tuleneva fenotüübi, mis on olemuselt mõlemast erinev (Abernethy jt 1994; Abernethy jt 1990; Coffey ja Hawley 2007; Coffey ja Hawley 2017; Coffey jt 2006). Sellest johtuvalt määratletakse jõulist tugevuse ja aeroobse vastupidavuse treenimist kui treeninguga kohanemise vastaspoolusi (Nader 2006) ning mõlema samaaegne treenimine on treenerite ja sportlaste jaoks keeruline proovikivi (vt tabel 2).

Kui Robert Hickson avaldas 1980. aastal esimese teadusliku uuringu samaaegse jõu- ja vastupidavustreeningu kohta, näitas ta üksnes jõutreeninguga võrreldes vähenenud jõu arengut (Hickson 1980). Hickson nimetas seda vähenenud jõu arengut kui vastumõju (ingl *interference effect*). Pärast seda on korraldatud mitu samaaegse treeningu uuringut, kasutades erisuguseid treeningprotokolle ja kestusi (ülevaate saamiseks vt nt Leveritt jt 1999), samuti rakuradadele keskendunud loomkatseid (Atherton jt 2005). Kuigi püsib üldine arvamus, et samaaegsed jõu- ja vastupidavustreeningud võivad vähendada jõutreeningu mõju lihasejõule (Hickson 1980), massile (Kraemer jt 1995) ja võimsusele (Wilson jt 2012), on suurenevas hulgas uuringutes järeldatud, et vastumõju universaalsus inimestele on küsitav (Ellefsen ja Baar 2019). Selle olemasolu ja ulatust on pigem seostatud isikute treenituse, treenitavate lihaste tüübi ning kasutatud vastupidavustreeningu viiside ja protokollidega.

Wilson ja kolleegid püüdsid saada 2012. aastal inimuuringutest metanalüüsi abil kindla järelduse vastumõju kohta. Nad leidsid, et samaaegsete jõu- ja vastupidavustreeningute mõjutatud põhimuutuja ei ole mitte jõud või hüpertroofia, vaid lihasevõimsus. Varasemad uuringud on samuti näidanud, et suurte kiiruste jõud on rohkem mõjutatud kui väikeste kiiruste jõud (Dudley ja Djamil 1985), ning Wilson jt spekuleerisid, et lihasevõimsuse vähenemine tuleneb kas suurel kiirusel jõu tekitamise häiretest või jõu tekkekiirusest. Mõlemad nähakse kui edukate suusahüppajate ja kahevõistlejate määravaid omadusi (Pääsuke jt 2001; Rønnestad 2013). Lisaks näitasid Wilson jt ka vastupidavustreeningu mahuga kaasneva vastumõju taset, kus nii jõud, hüpertroofia kui ka võimsus näitasid negatiivset seost vastupidavustreeningu sageduse ja keskmise kestusega.

Kuigi on arvukalt spordialasid, kus edukaks soorituseks on vaja nii jõudu/võimsust kui ka vastupidavust, pole ükski neist nii äärmuslik kui kahevõistlus. Kahevõistlejate suusahüppe- ja murdmaasuusatamisvõimete samaaegne arendamine on treeneritele ja sportlastele ülim katsumus ning nende äärmuste koosmõju on vähe uuritud. Mõistmine, millised on võistlustel kahevõistlejate eesseisvad nõudmised ja maailmatasemel kahevõistlejate võimed neid nõudmisi täita ning see, kuidas nad koostavad oma lühi- ja pikaajalise treeningu nende võimete omandamiseks, võivad anda meile esmase ülevaate sellest, kuidas saab kasutada suuri jõu-/võimsus- ja vastupidavustreeningu mahtusid samaaegselt arendamiseks. See oleks väga tähtis ka muude samaaegsete võimsusspordialade jaoks ja võib olla lähtepunkt selleteemaliste tulevaste uuringute jaoks.

Tabel 2. Jõu-/vastupidavustreeninguga kohanemise diagramm

| | JÕUD/VÕIMSUS | ↔ | VASTUPIDAVUS |
|---------------------------|--|---|--|
| Lihasekontraktsioon: | Lühike kestus Maksimaalne kokkutõmbeaktiivsus | | Pikendatud kestus Submaksimaalne kokkutõmbeaktiivsus |
| Peamine ATP allikas: | Anaeroobne Fosfokreatiin | | Aeroobne Glükolüüs ja lipolüüs |
| Molekulaarsed kohandused: | Rakusisene signalisatsioon kontraktiilsetes valkudes | | Rakusisene signalisatsioon mitokondrite valkudes |
| Struktuursed kohandused: | Lihaskiudude hüpertroofia | | Mitokondrite tihedus |
| Talitluse kohandused: | ↑ 1 RM ↑ Netojõuimpulss ↑ Tippvõimsus | | ↑ VO_{2max} ↑ VO_{2max} kasutus (laktaadilävi) ↑ Liikumise tõhusus |

VÄITEKIRJA EESMÄRK

Selle doktoriväitekirja põhieesmärk oli uurida kahevõistlejate sooritusnõudeid, st võimeid, mida kahevõistlejad vajavad maailmataseme saavutamiseks, ja seda, kuidas kahevõistlejad optimeerivad edu saavutamiseks samal ajal vajalikku jõu/võimsuse ja vastupidavuse treeningut. Seda uuriti nelja võrdleva uuringu abil, mis keskendusid järgmisele neljale uurimisküsimusele.

- 1) Millised spordialapõhised laboratoorsed võimed on suusahüpete, murdmaasuusatamise ja kahevõistluse üldsooritusega sõltuvuses ja sobivad kõige paremini prognoosimiseks? (I uuring)

Käsitlusviis. Kaksteist rahvusvahelist kahevõistlejat tegid üks päev enne kahevõistluse maailmakarikavõistlustel osalemist laboris spordialapõhiseid suusahüppe ja murdmaasuusatamise katseid. Laboratoorseid võimeid ja antropomeetrilisi andmeid võrreldi suusahüppe, murdmaasuusatamise ja kahevõistluse üldsooritusega ning tehti lineaarse regressiooni analüüs sooritusele tähtsaimate tegurite väljaselgitamiseks.

- 2) Kuidas erinevad maailmatasemel kahevõistlejate laboratoorsed võimed ja nende hooaja treeningu ülesehitus üksnes suusahüppajate ja murdmaasuusatajate näitajatest? (II uuring)

Käsitlusviis. Viie maailmatasemel kahevõistleja spordialapõhiseid võimeid ning antropomeetrilisi ja treeninguandmeid võrreldi maailmatasemel suusahüppajate ja murdmaasuusatajate näitajatega.

- 3) Kuidas maailmatasemel kahevõistlejad ajastavad edukal hooajal oma samaaegsed jõu/võimsuse ja vastupidavuse treeningud? (III uuring)

Käsitlusviis. Kuue maailmatasemel kahevõistleja treeninguandmeid analüüsiti nende edukaimal hooajal, et selgitada välja nende samaaegsete jõu/võimsuse ja vastupidavuse treeningute ajastus kogu hooaja treeningperioodide vältel.

- 4) Kuidas kahevõistluse olümpiavõitja ajastas oma treeningud, et arendada kahe olümpiakulla võitmisele eelnenud nelja-aastase perioodi jooksul oma tehnilisi ja füsioloogilisi omadusi? (IV uuring)

Käsitlusviis. Analüüsiti kahevõistluses kahe olümpiakulla võitnud sportlase olümpiamängudele eelnenud nelja hooaja treeningute ja laborikatsete andmeid.

MEETODID

Siinkirjeldatud meetodid annavad kokkuvõtte ja meetodite üksikasjalikuma kirjelduse võib lugeja leida algartiklitest.

Katseisikud

Neljas uuringus osales kokku 17 kahevõistlejat (NC), 5 murdmaasuusatajat (XC) ja 5 suusahüppajat (SJ) (tabel 3). Kõiki loeti maailmatasemel sportlasteks. Uuringus osalenud kahevõistlejate hulgas oli osaline kattuvus: üks sportlane osales *II–IV uuringus*, neli sportlast osalesid *II–III uuringus* ja üks sportlane osales *I ja III uuringus*.

Tabel 3. Neljas uuringus osalenud suusatajate omadused. Üle 3 osalejaga rühmade väärtused esitati kui keskmine \pm standardhälve (SD)

| | Sportlaste rühm | Katseisikute arv | Kasv (m) | Kehamass (kg) | VO _{2peak} ^a | Vertikaalkiirus ^b |
|------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|
| I uuring | NC | 12 | 1,78 \pm 0,06 | 65,8 \pm 6,3 | 73,5 \pm 4,3 | 2,41 \pm 0,16 |
| II uuring | NC | 5 | 1,82 \pm 0,04 | 71,4 \pm 3,5 | 70,1 \pm 3,8 | 2,51 \pm 0,15 |
| | XC | 5 | 1,85 \pm 0,03 | 81,0 \pm 2,9 | 78,2 \pm 3,1 | |
| | SJ | 5 | 1,80 \pm 0,02 | 65,7 \pm 5,5 | | 2,99 \pm 0,17 |
| III uuring | NC | 6 | 1,84 \pm 0,03 | 72,5 \pm 4,5 | 77,2 \pm 2,8 ^a | 2,98 \pm 0,11 ^b |
| IV uuring | NC | 1 | 1,85 | 75,3 | 72,1 | 2,45 |

NC: kahevõistlejad, XC: murdmaasuusatajad, SJ: suusahüppajad, VO_{2peak}: maksimaalne hapnikutarbimine

^a VO_{2peak} mõõdeti III uuringus jooksmise ning I–II ja IV uuringus rullsuusatamise korral

^b Vertikaalkiirus mõõdeti III uuringus kükkhüpete ning I–II ja IV uuringus spordialapõhiste imitatsioonhüpete korral

Kõik *II–IV uuringus* osalejad olid jõudnud maailmakarikavõistlustel poodiumile ja enamik olid võitnud ka olümpia- ja/või maailmameistrimedaleid. *I uuringu* valim hõlmas maailmakarikavõistluste sportlasi eri riikidest ja eri tulemustega.

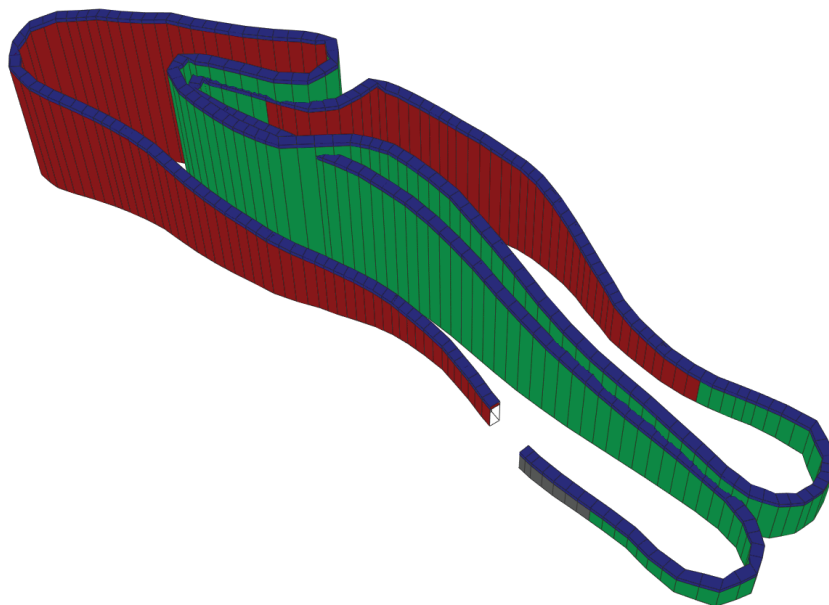
Kahevõistlejate võrdlemiseks üksnes suusahüppajatega igat tüüpi vertikaalhüpete osas lisati sellesse väitekirja ka *II uuringus* osalejate jaoks pörke- ja kükkhüpete lisaandmed.

Võistluse analüüsid

Kõiki individuaalse Gunderseni meetodil 10 km võistlusena (st 2008/09. kuni 2017/18. hooaeg) korraldatud maailmakarikavõistlusi analüüsiti siinse väitekirja lisaandmetena Rahvusvahelise Suusaliidu (FIS) veebis avalikult kättesaadavate kahevõistluse võistlusprotokollide alusel (FIS 2018c). Kõigil võistlustel võrreldi 10 parima tulemusega (G1...10) võistlejaid 21.–30. (G21...30)

tulemusega sportlastega, et analüüsida suusahüppe soorituse suhtelist panust (st stardiintervalli võrreldes parima hüppajaga) ja murdmaasuusatamise sooritust (st murdmaasõidu võistlustulemust) rühma erinevusega kogu võistlustulemusest. G1...10 ja G21...30 valiku põhjus oli peamiselt asjaolu, et need rühmad on sooritusrühmadena selgelt erinevad, samas kui madalama asetusega rühm on endiselt motiveeritud murdmaavõistlusel täielikult pingutama, sest 30 parima tulemuse eest antakse väärtuslikke maailmakarikasarja punkte. Samuti analüüsiti vastavalt suusahüppe, murdmaasuusatamise ja kogu kahevõistluse 1.–3. koha sooritust kahel teisel võistlusel.

I uuringu jaoks koguti ka iga maailmakarikavõistluse ametlikud võistlustulemused ja võrreldi neid võistluseelset päeval mõõdetud laboratoorsete võimete ja antropomeetriliste andmetega. Kehtivad murdmaasuusaraja ja kõrguse profiilid standardiseeriti Polar V800 GPS-iga, mis kogus asukoha andmeid 1 Hz proovivõtu sagedusega ja sisseehitatud baromeetri abil, mis kogus täpsed kõrguse andmeid. Seejärel jagati rada profiili alusel tõusudeks, lauskmaaks ja laskumisteks, mis moodustasid 2 km ringist vastavalt 40%, 5% ja 55% (vt joonis 9). *I uuringu* murdmaasuusavõistluse ajal kandsid kõik osalejad spordikella Polar V800, mis salvestas 1 Hz proovivõtu sagedusega nende asukoha.



Joonis 9. *I uuringu* 2 km rajaprofiil, mida maailmakarikasarja 10 km võistlusel läbiti 5 korda. Raja tõusu, lauskmaa ja laskumise osad on kujutatud vastavalt punase, halli ja rohelise värvusega

Mõõteriistad ja materjalid

I–II ja *IV uuringus* mõõdeti spordialapõhiseid imitatsioonhüppeid (IMIT) Kistleri jõuplatvormide abil (Kistler 9286AA, Kistler Instrument Corp, Winterthur, Šveits) ja analüüsi programmiga MATLAB, aga *III–IV uuringu* pörkehüppeid (CMJ) ja kükkhüppeid (SQJ), ning *II uuringu* lisaandmeid mõõdeti SPSport jõuplaadiga ja analüüsi tarkvaraga Muskel-Leistungs-Diagnose 5.2 (SPSport diagnosegerate, GmbH, Austria).

III uuringu jooksukatsed tehti Woodway jooksulindil, mille kiirust ja kallet kalibreeriti regulaarselt. Kõik *I–II* ja *IV uuringu* rullsuusakatsed korraldati suurel mootoriajamiga jooksulindil (vt joonis 10), mille libisemiskindel kummipind võimaldas suusatajatel kasutada enda karbiidotsakuga suusakeppe. Rullide veeretakistuste erinevuse vältimiseks kasutasid osalejad igal uuringul sama paari standardratastega rullsuuski. Enne iga katset soojendati rullsuuski 20 minutit jooksulindil rullsuusatamisega ja katsetati vedamiskatsetega veeretakistuse jõudu.

Kõigi jooksulindikatsete ajal kasutati hingamis-muutujate mõõtmiseks avatud ringlusega kaudset kalori-meetrit (Oxycon Pro, Jaeger GmbH, Hoechbeg, Saksamaa). Enne iga katsepäeva algust kalibreeriti mõõteriistad ümbritseva õhu ja kaubandusliku gaasi suhtes teadaolevate O_2 (16,00%) ja CO_2 (5,85%) kontsentratsioonidega ning vooluhulgaandur kalibreeriti kolmeliitrise ülitäpse kalibreerimissüstlaga (Calibration syringe D, SensorMedics, Yorba Linda, CA, USA). Pulssi (HR) mõõdeti pidevalt pulsmonitoriga ja iga suusataja sõrmest võeti vere laktaadisisalduse ($[La^-]_v$) analüüsid ja mõõdeti verelaktaadi analüsaatori abil.

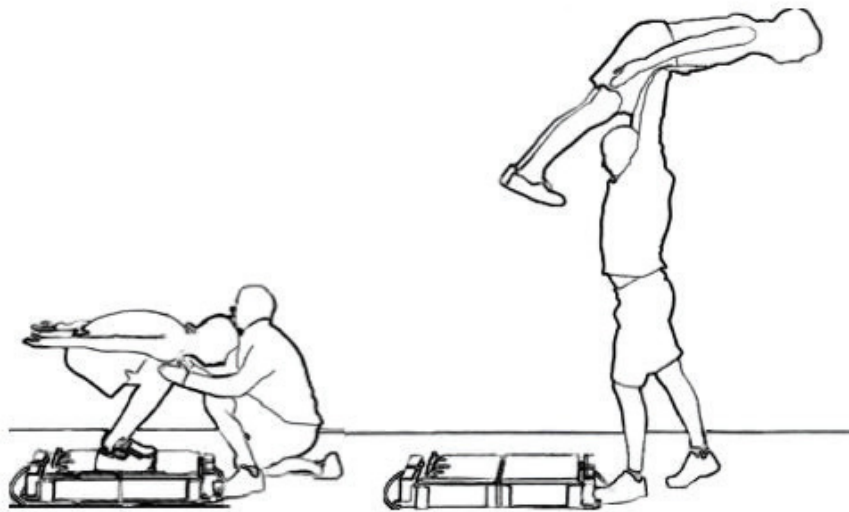


Joonis 10. Osaleja rullsuusatamas suurel mootoriamiga jooksulindil

Katseprotokollid ja mõõtmised

Vertikaalhüppe katsed

Kõik hüpped tehti kasutades sisetreeningjalatseid, v.a *I uuring*, kus osalejad kasutasid enda suusahüppesaapaid. Kõik hüpped tehti suurima pingutusega ja 2...5-minutilise puhkeajaga iga hüppe vahel. Kui pörkehüppe (SQJ) ja kükkhüppe (CMJ) eesmärk on lihtsalt suurendada vertikaalkiirust, siis imitatsioonhüppe (IMIT) eesmärk on saavutada samal ajal piisav kallutusmoment, et lõpetada lennufaasiasendiga oma treeneri kätel (vt joonis 11).



Joonis 11. Näide sportlasest, kes sooritab kolmemõõtmelisel jõuplaadil suusahüppepõhise imitatsioonhüppe (koopia II uuringust)

Pörke- ja kükkhüpete ajal pidid käed olema kogu hüpete ajal asetatud niudeluuharjale. Nii kükkhüpe kui ka imitatsioonhüpe alustati osalejate individuaalselt valitud suusahüppeasendist pärast selle asendi säilitamist vähemalt ühe sekundi jooksul.

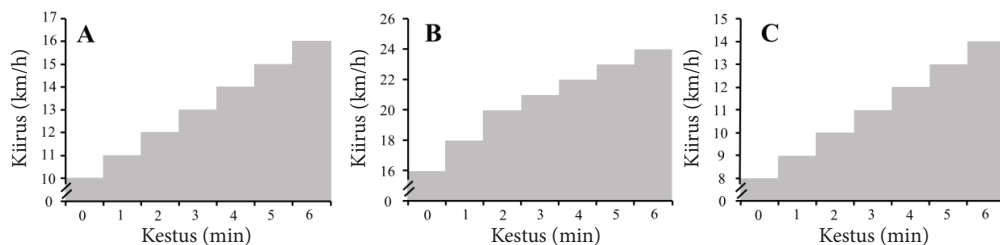
Kõigi hüpete kontsentriline äratõukefaas määratleti kui ülesliikumise ajavahemik enne jõuplaadilt lahkumist. Selle faasi kestel määratleti massikeskme vertikaalkiirus kiirenduse integratsiooni aja jooksul, mis omakorda arvutati aluspinna vertikaalsete reaktsioonijõudude põhjal. Vertikaalkiirus (v_v) arvutati suurima saavutatud vertikaalkiiruse hetkel.

Vastupidavuskatsed

Füsioloogiliste reaktsioonide ja kinemaatika mõõtmiseks tehti I-II ja IV uuringus püsival kiirusel 5-minutilised submaksimaalsed etapid. Vahetult pärast igat etappi mõõdeti $[La^-]_b$. Igal etapil määrati viimase minuti keskmine gaasivahetus (st VO_2 ja VCO_2), pulss, tsüklipikkus ja tsükklisagedus. Ülalnimetatud väärtuste põhjal arvutati ainevahetuse kiirus ja kogutõhusus (vt arvutusi allpool), et võrrelda liigutuste tõhusust samade submaksimaalsete kiirustega.

Suurimat aeroobset võimekust (VO_{2peak}) hinnati astmelistes katsetes, suurendades kiirust iga minutiga (vt joonis 12). Katseid arvestati suurimateks pingutuseks, kui olid täidetud järgmised kolm mõõdikut: (1) VO_2 platoo suureneva harjutusintensiivsusega, (2) hingamise gaasivahetuse suhe (RER) üle 1,10 ja (3) $[La^-]_b$ üle 8 mM. Pidevalt mõõdeti VO_2 väärtust ja kolme kõrgeima

10-sekundilise järjestikuse mõõtmise keskmine väärtus määratleti kui VO_{2peak} . Katsete kiireimad pulsiväärtused määratleti kui kiireim pulss (HR_{peak}).



Joonis 12. Jooksmisel 10,5% tõusul (A), G3 vabatehnikas rullsuusatamisel 5% tõusul (B) ja G2 vabatehnikas suusatamisel 12% tõusul (C) kasutati maksimaalse happikutarbimise mõõtmisel erinevad katseprotokolle

Kogutõhususe ja võimsuse arvutused

Kogutõhusus (GE) arvutati töökoormus jagatuna kogu ainevahetuse koormusega püsiseisundis 5-minutiliste jooksulindi submaksimaalsete etappide jooksul. Töökoormus arvutati võimsuse summamana gravitatsiooni (P_g) ja hõõrdejõu (P_f) suhtes. Aeroobne ainevahetuse kiirus määrati VO_2 ja VCO_2 põhjal, kasutades RER väärtust ja standardseid teisendustabeleid (Peronnet ja Massicotte 1991).

$$Kogutõhusus = \frac{Töökoormus}{Ainevahetuse kiirus} \cdot 100\%$$

$$\begin{aligned} Töökoormus &= P_g + P_f \\ &= [m \cdot g \cdot v \cdot \sin(\alpha)] + [m \cdot g \cdot v \cdot \mu \cdot \cos(\alpha)] \\ &= m \cdot g \cdot v \cdot (\sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha)) \end{aligned}$$

Kus m on suusataja kehamass koos varustusega, g on gravitatsioonikonstant, v on jooksulindi kiirus, α on jooksulindi tõus ja μ on hõõrdetegur.

Treeningpäevikute analüüsid

Osalejad logisid enda igapäevatreeningud selleks Norra olümpiaspordikeskuse loodud veebipäevikusse (olt-dagbok.nif.no) (vt joonis 13). Sportlased salvestasid nendesse päevikutesse iga treeningukorra ja võistluse üksikasjad, sh eri kujul treeningutel kulutatud aeg, vastupidavustreeningu intensiivsus ja eri kujul suusahüpete korduste arv. Vastupidavustreeningu intensiivsust seirati pulsi järgi ja toetati perioodiliselt treeningu $[La^-]_b$ mõõtmistega ning liigitati Norra olümpiasüsteemi intensiivsusskaala modifikatsiooni põhjal kolme intensiivsustsooni (vt tabel 4). Mittevastupidavustreeningud, nagu suusahüpped, jõu/võimsuse harjutused, venitamine ja tasakaaluharjutused salvestati alates treeningukorra vastava osa algusest kuni lõpuni, kaasa arvatud sarjadevahelised taastumisperiodid. Treeninguandmed eksporditi ja süstematiseeriti edasiseks analüüsiks rakendusega Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA).

Olenedes sellest, kui täpselt eri spordialade sportlased oma treeninguid *II uuringus* logisid ja lähtudes vestlustest rahvuskoondiste treeneritega, otsustasime analüüsida uuringu jaoks iga spordiala ühe esindava suusataja treeningut. Need suusatajad valiti, kuna nende treenerid ja uurijad pidasid neid rühma keskmiste treeningväärtuste esindajateks ja kuna nende treeningute salvestisi loeti täpseks.

Kirjanduses ilmunud põhiliste treeningu ajakavamudelite alusel ning pärast sportlaste ja treeneritega isiklikku suhtlemist jagati treeningaasta viieks perioodiks: siirdeperiood (TP; mai), üldettevalmistusperiood (GP; juuni–oktoober), eriettevalmistusperiood (SP; november–detsember), võistlusperiood (CP; jaanuar–märts) ja taastumisperiood (RP; aprill). *IV uuringus* jagati üldettevalmistusperiood (GP) omakorda perioodideks GP1 (juuni–august) ja GP2 (september–oktoober) (vt treeningperioodide ülevaadet tabelist 5).

Tabel 4. II–IV uuringus kasutatud kolm intensiivsustsooni

| | Laktaadisaldus veres | Pulsitsoonid (%HR _{max}) | RPE (6...20) |
|---|----------------------|------------------------------------|--------------|
| LIT Madala intensiivsusega treening | < 2 mM | 60...81% | < 14 |
| MIT Mõõduka intensiivsusega treening | 2...4 mM | 82...87% | 14...16 |
| HIT Kõrge intensiivsusega treening | > 4 mM | > 88% | 17...20 |

RPE: tajutav pingutuse hinnang; HR: pulss

Tabel 5. Treeningaasta 6 perioodi koos peamiste treeningnäitajatega põhiperioodides

| Mai | Juuni | Juuli | Aug | Sept | Okt | Nov | Dets | Jaan | Veebr | Märts | Apr |
|-----|----------------------------------|-------|-----|---------------|-----|-------------------------|------|-------------------------|-------|-------|-----|
| TP | GP1 | | | GP2 | | SP | | CP | | | RP |
| | Suur vastupidavus-treeningu maht | | | ↑ SJ eelistus | | SJ/XC vabatehnika lumel | | Reisimine ja võistlused | | | |

TP: siirdeperiood; GP: üldettevalmistusperiood; SP: eriettevalmistusperiood; CP: võistlusperiood; RP: taastumisperiood; SJ: suusahüpe; XC: murdmaa

OLYMPIATOPPEN
TEKNOLOGIEN

Logged in as [redacted] Logout

Diary for [redacted]

Diary Import Plan Statistics Contacts Settings

Export Copy Reset Save

Choose Week Wed 3rd August 1st - August 20

Nordic Combined Training Plan

| Training Plan | Endurance | | | | Strength | | | | Power | | | | Forms of Movement | | | | Technique | | | | Total Technique Reps | Jumps Time | Kilometers on Ski | Received Exertion 1-10 | Restion | Form 1-10 | Competition Time | Total Duration | Comments | | | | | | | |
|----------------|-----------|-------------|---------|---------|-----------|---------|---------------------------|-----------|---------|---------------|-------|--------------|-------------------|----------------|----------|-------|-----------|-------------------------|--------------|--------------------|----------------------|------------|-------------------|------------------------|---------|-----------|------------------|----------------|----------|---------|-------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| | 11 Easy | 12 Moderate | 13 L-AT | 14 H-AT | 15 Max O2 | Purpose | Base Training - Stability | Explosive | Maximum | Squats Series | Speed | Reduced Load | Body Weight | Increased Load | Mobility | Other | Running | Classic Ski / Rollerski | Starting Ski | Starting Rollerski | | | | | | | | | | Cycling | Other | Jumps K05 - K40 | Jumps K45 - K75 | Jumps K80 - K95 | Jumps K100 - K185 | Intractions (Fixed) |
| 11 | 0:15 | | | | | | | | | | | 3 | 0:10 | 0:25 | | | | | | | | 0:25 | | | | | | 5 | 7 | 1:10 | | | | 6 | 2:00 | programm e&c On |
| 12 | 1:05 | 0:10 | 0:20 | 0:05 | | | | | | | | | 0:05 | | | | | | 1:40 | | | | | | | | | | | | | | 1:50 | maksimaalset p&v | | |
| 13 | 0:40 | | | | | | | | | | | | 0:15 | | | | | | 0:40 | | | | | | | | | | | | | | 0:55 | lett peavarid p&v | | |
| 14 | 1:35 | | | | | | | | | | | | 0:05 | 1:35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1:40 | hõlgu spurti tase | | |
| 15 | 0:15 | 0:05 | | | | | | | | | 9 | 0:15 | 0:20 | | | | | | 0:20 | 0:20 | | | | | | | | | | | | | 2:00 | basarise p&v t&v | | |
| 16 | 1:25 | 0:05 | 0:45 | | | | | | | | | | 0:05 | 2:15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2:20 | interval p&v t&v | | |
| 17 | 0:40 | 0:15 | | | | | | | | | | | 0:05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1:00 | hõlgu spurti tase | | |
| 18 | 2:30 | | | | | | | | | | | | 0:15 | 0:40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1:40 | basarise p&v t&v | | |
| 19 | 0:45 | | | | | | | | | | | | 0:05 | 2:10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2:35 | basarise p&v t&v | | |
| 20 | 1:00 | | | | | | | | | | | 18 | 0:20 | 0:20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1:40 | basarise p&v t&v | | |
| 21 | 1:05 | 0:10 | 0:05 | 0:25 | | | | | | | | | 0:20 | | | | | | 1:20 | | | | | | | | | | | | | | 1:20 | hõlgu spurti tase | | |
| 22 | 0:45 | | | | | | | | | | | | 0:15 | 0:10 | | | | | 1:35 | | | | | | | | | | | | | | 1:40 | basarise p&v t&v | | |
| Total values | 11:15 | 0:45 | 0:15 | 0:45 | 0:05 | 0:25 | | | | | | 0:20 | 0:0 | 2:00 | 1:05 | 4:10 | | 4:40 | 1:20 | 2:10 | | | | | | | | | | | | | 21:50 | | | |
| Total workouts | 11 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 12 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | | | | | | | | | | | | | 11 | | | |

Abile comment [redacted] (2 ->)

Coach comment

Joonis 13. Elektroonilise treeningpäeviku illustatsioon

Statistilised analüüsid

Kõigi andmete puhul kontrolliti normaaljaotust, kasutades nii Shapiro-Wilki testi kui ka visuaalset vaatlust. *II uuringus* osalenud sportlaste rühmade G1...10 ja G21...30 omavahelise soorituse täiendavate võistlusandmete ning eri laboriparameetrite võrdlemiseks tehti parameetriline sõltumatu t-test ja mitteparameetriline Wilcoxon'i test. *I uuringus* tehti laboratoorse ja välisoorituse vahelise korrelatsiooni analüüs kasutades parameetrilist Pearsoni korrelatsioonikordajat r või mitteparameetrilist Spearmani kordajat ρ . Suusahüppe, murdmaasuusatamise ja kahevõistluse üldsoorituse ennustamiseks rakendati mitmest regressioonanalüüsi, kasutades plokkidega 1–2 sõltumatute muutujate sisestusmeetodit. *III uuringus* sisalduva 5 treeningperioodi vahelise statistiliselt oluliste erinevuste ja/või *I–IV uuringus* kasutatud 4 tüüpi hüppe vaheliste erinevuste kindlaks tegemiseks kasutati ühesuunalist kordusmõõtmiste dispersioonanalüüsi (ANOVA). Kui ANOVA näitas olulist mõju, kasutati dispersiooni asukoha määramiseks *post hoc*-testi Bonferroni korrigeerimisega mitme võrdluse jaoks. Muutujaid, mille puhul leiti, et nende kohta ei kehti statistiliselt oluliselt normaaljaotus, analüüsiti seotud valimite Friedmani testi abil. Kõigis uuringutes tehti statistilised analüüsid tarkvara SPSS abil (SPSS Inc, Chicago, IL), kasutades statistilise olulisuse tasemena alfa väärtust 0,05.

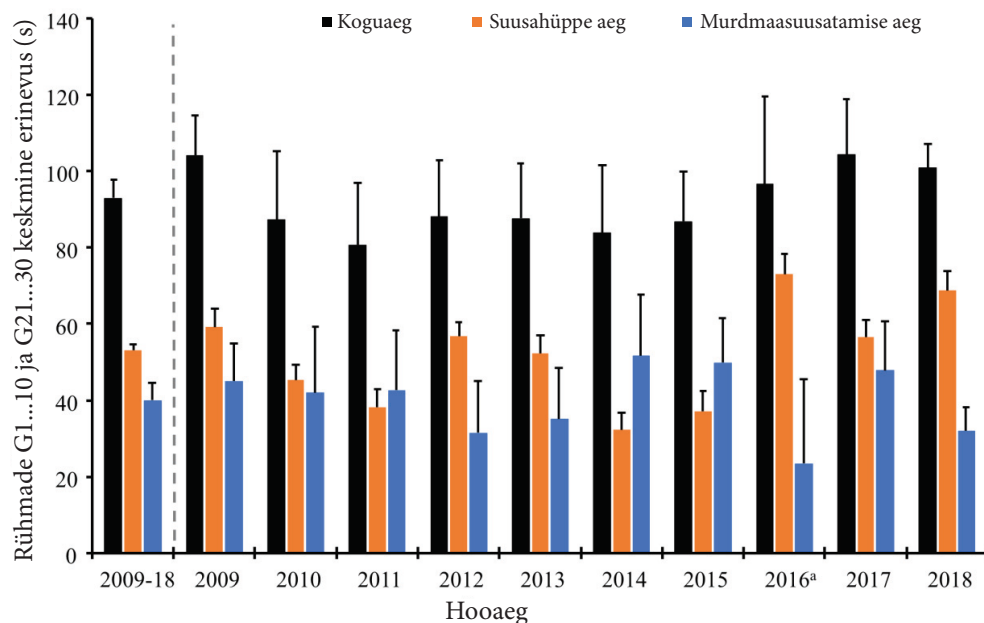
TULEMUSTE KOKKUVÕTE

Nõuded sooritusele

Analüüsi hooaegadel 2008/09 kuni 2017/18 peetud 167 individuaalset 10 km maailmakarikavõistlust, kus rakendati Gunderseni meetodit. Kõigi võistluste keskmiselt kaotas rühm G21...30 rühmale G1...10 kogu võistlusajast 6,0%. Suusahüppe ja murdmaasuusatamise soorituse keskmine erinevus ilmnis vastavalt 57% ja 43% kogu võistlusaja erinevusest (s.o 53 s ja 40 s rühma üldisest erinevusest 93 s). Kaks rühma erinesid kõigil hooaegadel kõigis sooritusnäitajates oluliselt (kõik $p < 0,01$), välja arvatud murdmaasuusatamise sooritus hooajal 2015/16 ($p = 0,205$) (joonis 14).

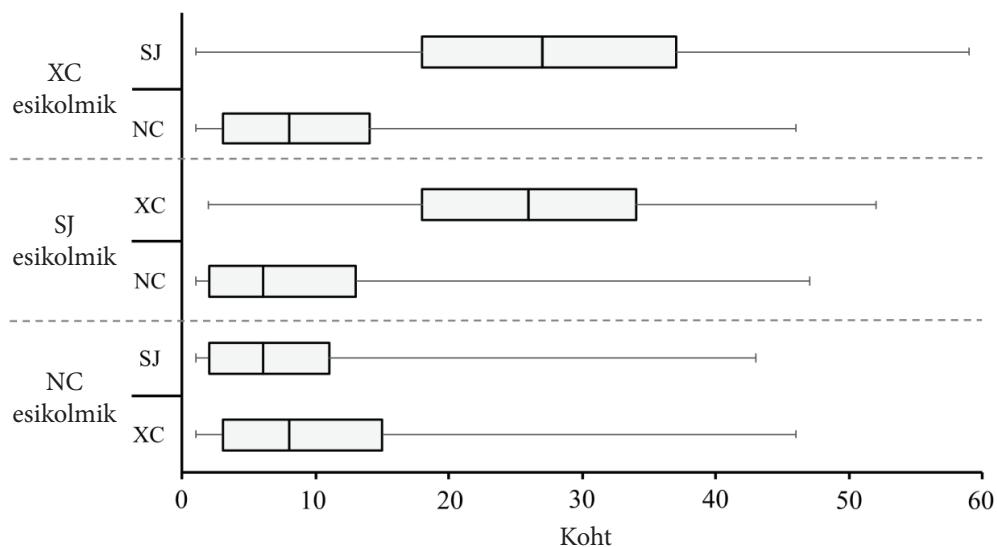
Kahevõistluse üldsoorituse 501-st paremusjärjestuse esikolmikust 36% oli ka suusahüppe soorituse esikolmikus ja 26% murdmaasuusatamise esikolmikus. Suusahüpete või murdmaasuusatamise soorituse esikolmikust oli teise võistlusala esikolmikus ainult 5% (joonis 15).

I uuringu maailmakarikavõistluse 10 km murdmaasuusarajast oli $60,8 \pm 0,9\%$ tõusul, $4,1 \pm 0,2\%$ lauskmaal ja $33,8 \pm 0,8\%$ laskumistel. Kogu võistluse keskmine suusatamiskiirus oli $6,7 \pm 0,3$ m/s, kusjuures kiirematel suusatajatel oli võrreldes parimate suusahüppajatega kõikides osades suurem keskmine kiirus (joonis 16).

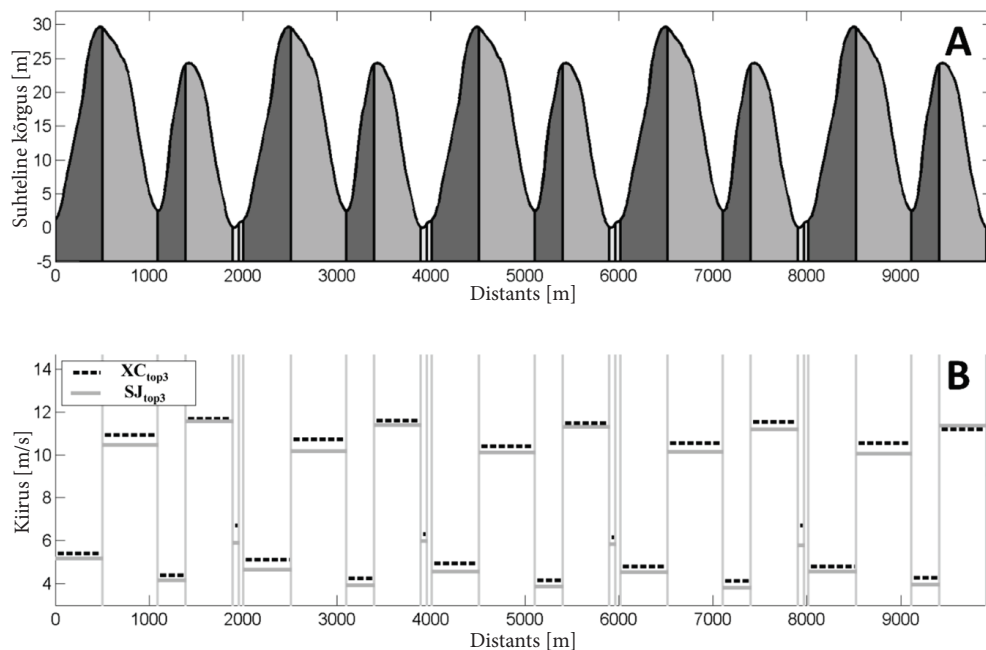


Joonis 14. Hooaegade 2008/09 kuni 2017/18 kümne parima soorituse (G1...10) ja 21. kuni 30. koha (G21...30) vaheline koguvõistlusaja ning suusahüpete (SJ) ja murdmaasuusatamise (XC) võistlusajas kaotatud aja keskmine erinevus (\pm standardviga)

^a Hooajal 2015/16 tõsteti suure hüppemäe võistlustel hüpatud ühe meetri eest saadud punktide arv 1,5-lt 1,8-le



Joonis 15. Hooaegade 2008/09 kuni 2017/18 iga kategooria 3 parima võistleja mediaankoht (koos vähima, suurima ja kvartiilidevahelise vahemikuga, mis hõlmab 50% kohtadest) suusahüpetes (SJ), murdmaasuusatamises (XC) ja kahevõistluse koondvõistluses (NC) kõigil 10 km kahevõistluse maailmakarikavõistlustel



Joonis 16. *I uuringu* 10 km võistlusaraja profiil koos iga osa keskmiste kiirustega. Ülemisel graafikul (A) on esitatud 10 km murdmaasuusaraja profiil suhtelise kõrguse nullkõrguse (start) suhtes koos tõusude, lauskmaa ja laskumiste lõikudega eri tooni halli värvusega. Alumisel graafikul (B) on esitatud (m/s) kolme parima murdmaasuusataja (XC_{top3} mustade punktiirjoontega) ja kolme parima suusahüppaja (SJ_{top3} hallide pidevjoontega) keskmine kiirus nimetatud lõikudes (koopia *I uuringust*)

Laboratoorsed võimed

Laboratoorsete võimete tõendamine (I uuring)

Kahevõistluse maailmakarikavõistluse 12 sportlase mitmesuguste laboratoorse võimete ja antropomeetriliste näitajate regressioonanalüüsid sõltumatute muutujatena andsid järgmised kolm võrrandit vastavalt SJ (1a, b), XC (2) ja üldise NC (3) jõudluse parimateks ennustusteks:

$$(1a) \text{ SJ sooritus (punktid)} = 8,51 + 35,90 \cdot v_{v\text{IMIT}} - 0,58 \cdot \text{kehamass}$$

$V_{v\text{IMIT}}$ – m/s, kehamass – kg, $F_{(2,9)} = 10,41$, $p < 0,01$. Kõik hõlmatud tegurid toetasid oluliselt mudelit 1a (kõik $p < 0,05$), mis selgitas 70% suusahüppe (SJ) soorituse dispersioonist.

Suusahüppe soorituse väljendamine pigem ajana kui distantsi ja kompensatsioonipunktide summana, nagu esitleti I uuringus, ei mõjutanud statistilist tulemust:

$$(1b) \text{ SJ sooritus (min)} = 5,26 + 2,92 \cdot v_{v\text{IMIT}} + 0,05 \cdot \text{kehamass}$$

$V_{v\text{IMIT}}$ – m/s, kehamass – kg, $F_{(2,9)} = 10,08$, $p < 0,01$. Kõik hõlmatud tegurid toetasid oluliselt mudelit 1b (kõik $p < 0,05$), mis selgitas 71% suusahüppe (SJ) soorituse dispersioonist.

$$(2) \text{ XC sooritus (min)} = 40,29 - 0,12 \cdot VO_{2\text{peak}} - 0,64 \cdot \text{paaristõugete võimsus}$$

$VO_{2\text{peak}}$ – $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, paaristõugete võimsus – W-ülakeha-lihasmass⁻¹, $F_{(2,8)} = 8,63$, $p = 0,01$. $VO_{2\text{peak}}$ toetas oluliselt mudelit 2 ($p < 0,05$), sama paaristõugete võimsus näitas tendentsi ($p = 0,07$). Mudel 2 selgitas 68% murdmaasuusatamise (XC) soorituse dispersioonist.

$$(3) \text{ NC sooritus (koht)} = 156,45 - 1,75 \cdot VO_{2\text{peak}}$$

$VO_{2\text{peak}}$ – $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $F_{(1,10)} = 7,47$, $p = 0,02$. Mudel 3 selgitas 43% üldsoorituse dispersioonist.

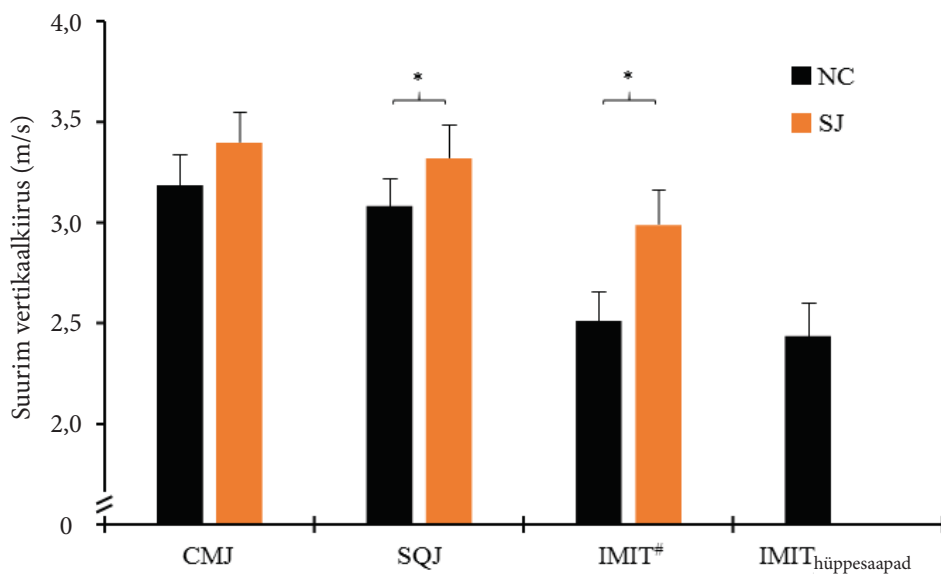
Võrdlus üksnes suusahüppajate ja murdmaasuusatajatega (II uuring)

Kahevõistlejatel oli võrreldes üksnes suusahüppajatega SQJ- ja IMIT-katsetes vastavalt 7% ja 16% väiksem vertikaalkiirus v_v ($p < 0,05$, joonis 17) ning 9% suurem kehamass ja 4% suurem kehamassiindeks (KMI) ($p < 0,05$, joonis 18A). Suusahüppajad ja kahevõistlejad vähendasid oma vertikaalkiirust v_v SQJ-st IMIT-ni vastavalt 10% ja 18% ($p < 0,05$).

Kahevõistlejatel oli 12% väiksem kehamass ja 11% väiksem KMI kui murdmaasuusatajatel ($p < 0,05$, joonis 18A), samuti 10% väiksem jooksulindi tippkiirus ning 22% madalam absoluutne ja 12% madalam kehamassile taandatud VO_{2peak} (kõik $p < 0,05$).

Samal absoluutsel submaksimaalsel kiirusel oli kahevõistlejatel kiirem pulss, 1,8 mM suurem $[La^-]_b$ ja suurem RER (kõik $p < 0,05$) kui murdmaasuusatajatel, samas kehamassile taandatud VO_2 ega GE rühmade vahel ei erinenud.

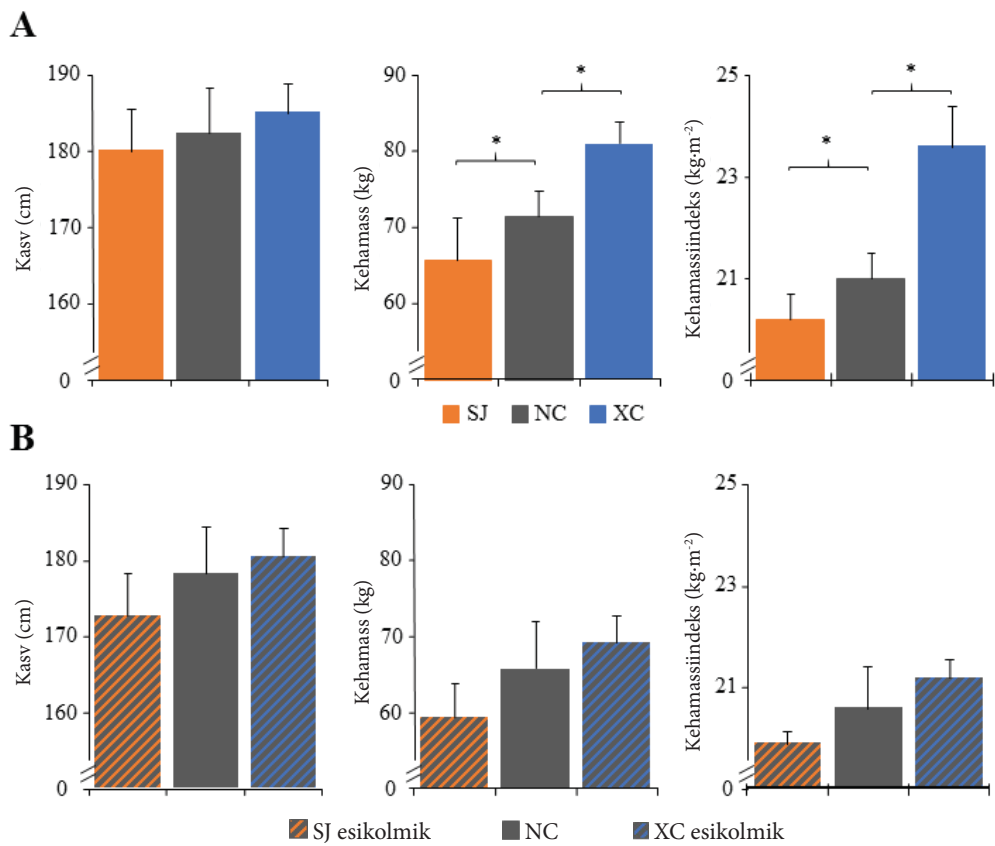
Kiirusel 14 km/h ei leitud rühmade tsükli pikkuse ega -sageduse vahel olulisi erinevusi. Suurima kiiruse katsel kasutasid kahevõistlejad kiirusel 20 km/h 7% lühemaid tsükli pikkusi ja vastavalt 7% suuremat tsükli sagedust, samas kui tippkiirusel olid tsükli pikkused 11% lühemad kui murdmaasuusatajatel (kõik $p < 0,05$), kusjuures tsükli sagedused olid rühmade vahel lähedased (joonis 19).



Joonis 17. Maailmatasemel suusahüppajate (SJ) ja kahevõistlejate (NC) saavutatud suurimad vertikaalkiirused põrkehüpetes (CMJ), kükkhüpetes (SQJ) ja spordialapõhistes imitatsioonhüpetes (IMIT)

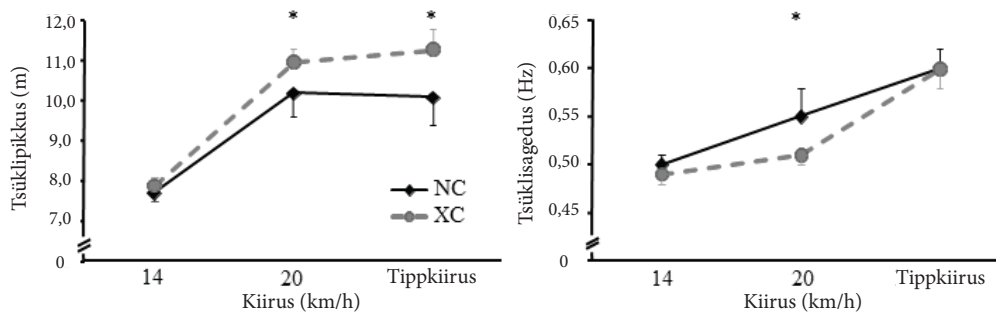
* Oluline erinevus SJ ja NC vahel ($p < 0,05$)

Oluline erinevus SJ ja NC hüpete CMJ ja SQJ puhul ($p < 0,05$)



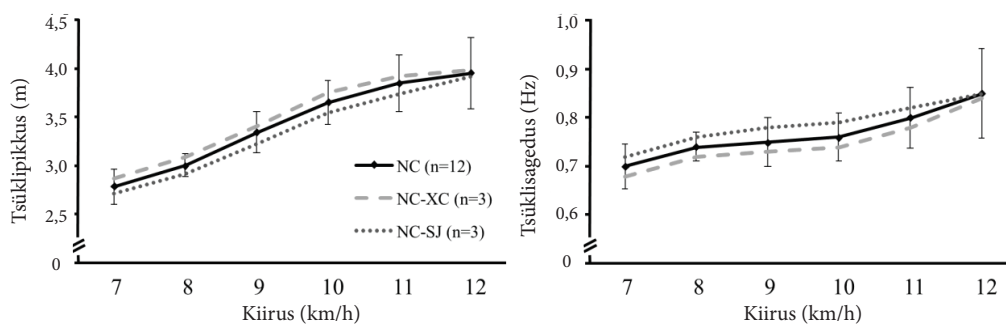
Joonis 18. Maailmatasemel kahevõistlejate (NC), suusahüppajate (SJ) ja murdmaasuusatajate (XC) antropomeetrilised andmed. Üleval 5 sportlast iga rühma kohta *II uuringust* (A), all 12 kahevõistlejat *I uuringust* (B) võrreldes kahevõistlejate rühma 3 parima suusahüppaja ja murdmaasuusatajaga

* Oluline erinevus rühmade vahel ($p < 0,05$)



Joonis 19. Maailmatasemel kahevõistlejate (NC) ja murdmaasuusatajate (XC) submaksimaalsel ning individuaalsel tippkiirusel kindlaks määratud tsükliomadused 5% tõusul G3 vabatehnikaga rullsuusatamisel

* Oluline erinevus kahe rühma vahel ($p < 0,05$)

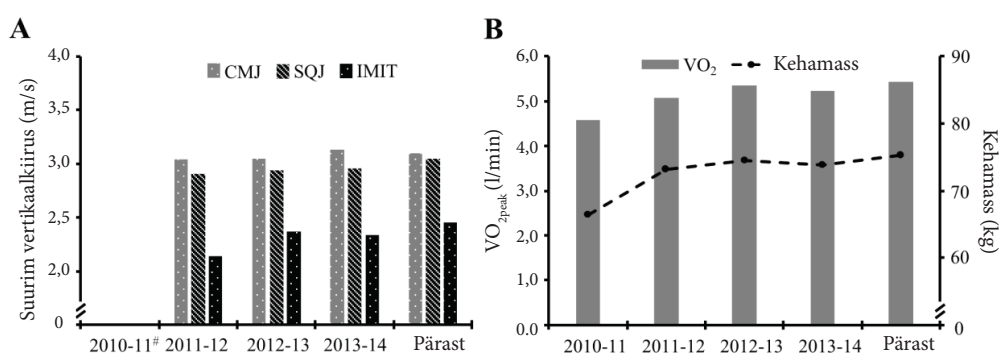


Joonis 20. Kaheteistkümne maailmatasemel kahevõistleja (NC) ning rühma kolme parima murdmaasuusataja (XC) ja suusahüppaja (SJ) astmelise kiiruse protokolli alusel kindlaks määratud tsükliomadused 12% tõusul G2 vabatehnikaga rullsuusatamisel

Pikaajaline füüsiline areng (IV uuring)

IV uuringu olümpiavõitja hüpete (SQJ ja CMJ) vertikaalkiirus v_v muutus nelja-aastase tsükli jooksul alla 5%, samal ajal kui hüppe IMIT v_v suurenes samal perioodil 14%, 2,14 kuni 2,45 m/s (joonis 21A).

Osaleja suurendas enda aeroobset võimet 0,78 l/min alates hooajast 2010/11 kuni hooajani 2012/13 (joonis 21B), aga tema kehamassile taandatud VO_{2peak} oli kõigi uuritud hooegade jooksul $\sim 70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.



Joonis 21. Kahevõistluse olümpiavõitja hooegade 2010/11 kuni 2013/14 üldettevalmistusperioodi ajal ja pärast olümpiamänge (Pärast) kindlaks määratud laboratoorsed võimed. Vasakul näidatud vertikaalhüpete katsete kiirused (A) ning paremal astmeliste rullsusakatsete hapnikutarbimine ja kehamass (B)

Hooajal 2010/11 ei teinud osaleja ühtegi vertikaalhüppe katset

CMJ: pörkehüpe; SQJ: kükkhüpe; IMIT: spordialapõhine imitatsioonhüpe; VO_{2peak} : maksimaalne hapnikutarbimine

Treeningu sisu

Maailmatasemel kahevõistleja iga-aastase treeningu sisu võrreldi kirjeldavalt maailmatasemel suusahüppaja ja murdmaasuusatajaga *II uuringus*, maailmatasemel kahevõistlejate rühma iga-aastaste treeningute ajastamist uuriti *III uuringus* ja kahevõistluse olümpiavõitja nelja-aastast treeningu ajastamise tsükli uuriti *IV uuringus*.

Tabel 6. *II–IV uuringus* uuritud kümne hooaja kahevõistluse treeninguandmete kokkuvõte pärast uuringute kattuvuse kohendamist

| | | Keskmine | Vahemik |
|----------------------------------|------------|----------|------------|
| Treeningumaht | (h/hooaeg) | 863 | 723...1008 |
| Vastupidavus | (h/hooaeg) | 545 | 462...635 |
| Murdmaa vabatehnika | (h/hooaeg) | 252 | 193...294 |
| Murdmaa vabatehnika ^a | (%) | 46 | 36...52 |
| LIT/MIT/HIT ^a | (%) | 89/6/5 | |
| Mittevastupidavus | (h/hooaeg) | 306 | 219...376 |
| Suusahüppe treening | (h/hooaeg) | 183 | 105...276 |
| Venitamine | (h/hooaeg) | 47 | 19...87 |
| Muud | (h/hooaeg) | 15 | 3...61 |

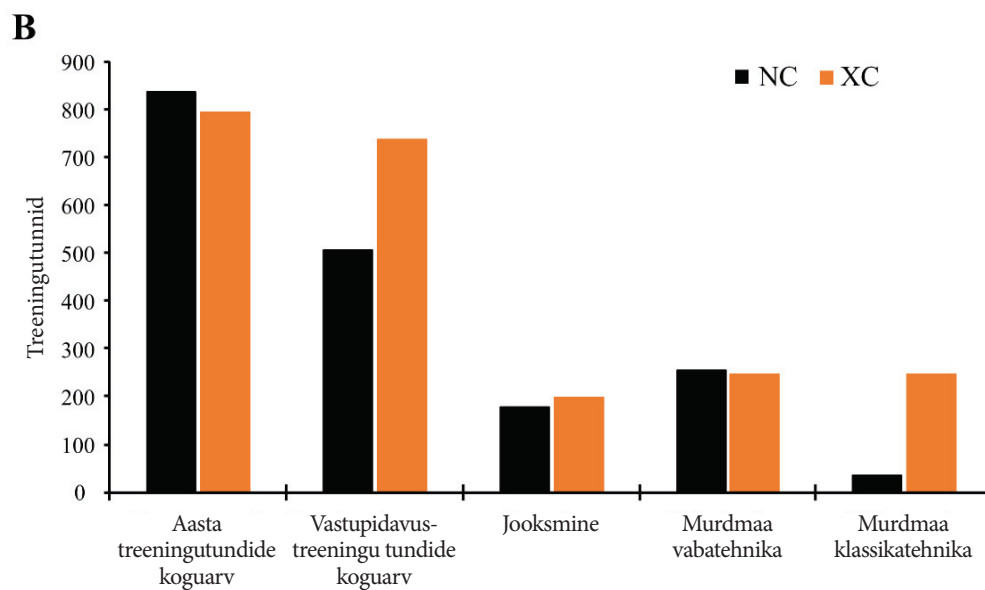
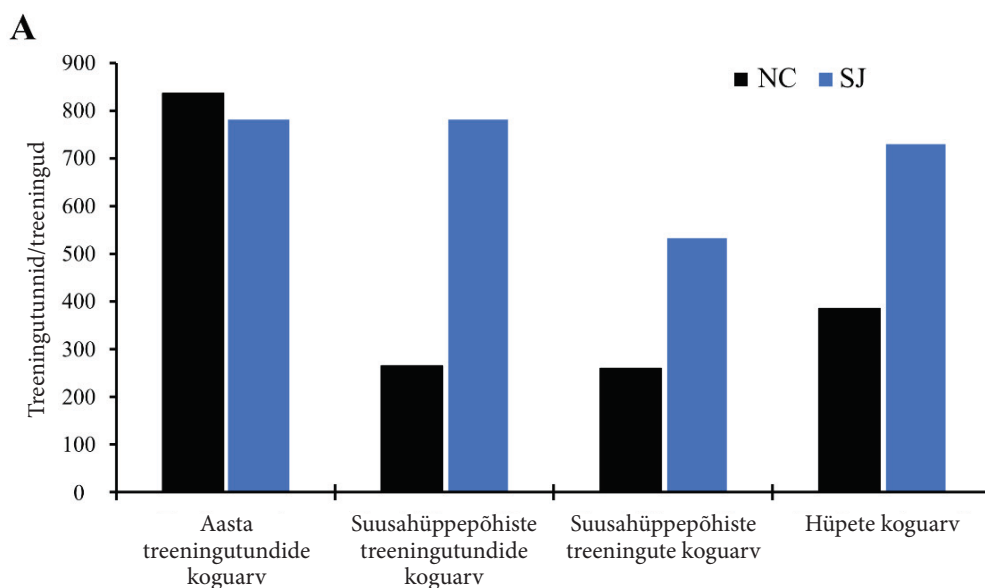
XC: murdmaasuusatamine; LIT: madala intensiivsusega treening; MIT: mõõduka intensiivsusega treening;

HIT: kõrge intensiivsusega treening; SJ: suusahüpped

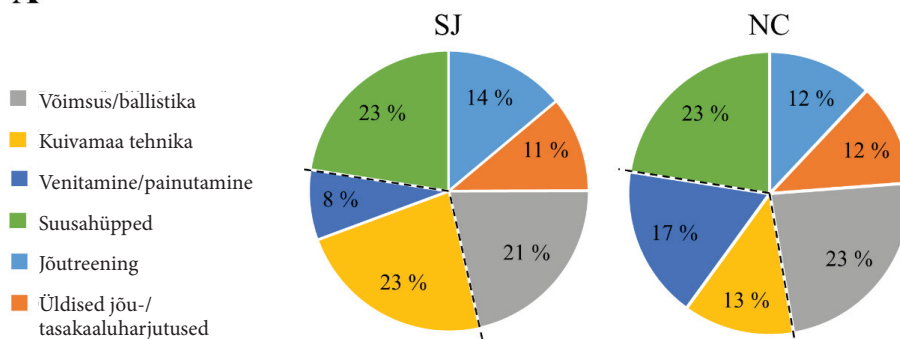
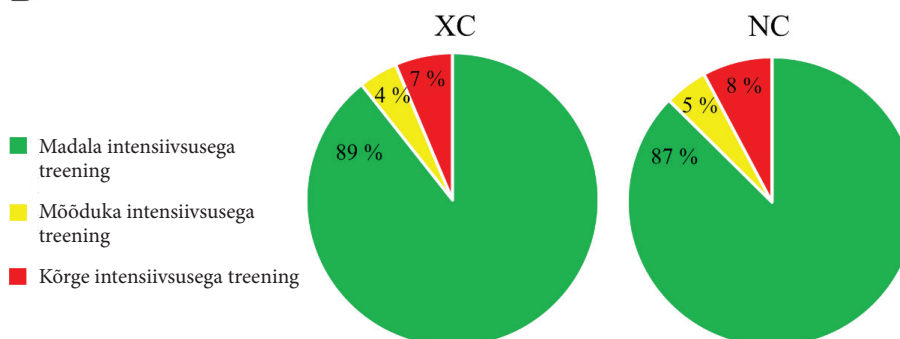
^a Protsentuaalne sisaldus kogu vastupidavustreeningu mahust

Iga-aastase treeningu erinevused üksnes suusahüppajate ja murdmaasuusatajatega (I uuring)

Kahevõistlejad, suusahüppajad ja murdmaasuusatajad treenisid kõik ligikaudu 800...900 tundi aastas, kusjuures kahevõistlejad erinesid ühe ala sportlastest mittevastupidavus- ja vastupidavustreeningu poolest (joonis 22). Kahevõistlejad harjutasid võrreldes üksnes suusahüppajatega ligikaudu pool suusahüppepõhistest treeningukordadest ja suusahüpetest (joonis 22A), kuid lühema keskmise treeningu kestuse ja ajaga suusahüppe kohta. Võrreldes üksnes murdmaasuusatajatega tegid kahevõistlejad kaks kolmandikku aastastest vastupidavustreeningu tundidest, kusjuures treeningumahu erinevus ilmnis peamiselt madala (LIT) ja mõõduka (MIT) intensiivsusega klassikatehnika osas (joonis 22B). Kahevõistleja tegi oma mittevastupidavus- ja vastupidavustreeningu sarnase treeningujaotusmudeli järgi nagu erialaspordlased (joonis 23).



Joonis 22. Maailmatasemel suusahüppaja (■ SJ) ja kahevõistleja (■ NC) aastane treeningutundide, treeningute ja hüpete arv (A) ning maailmatasemel murdmaasuusataja (■ XC) ja kahevõistleja (NC) aastane treeningutundide arv (B)

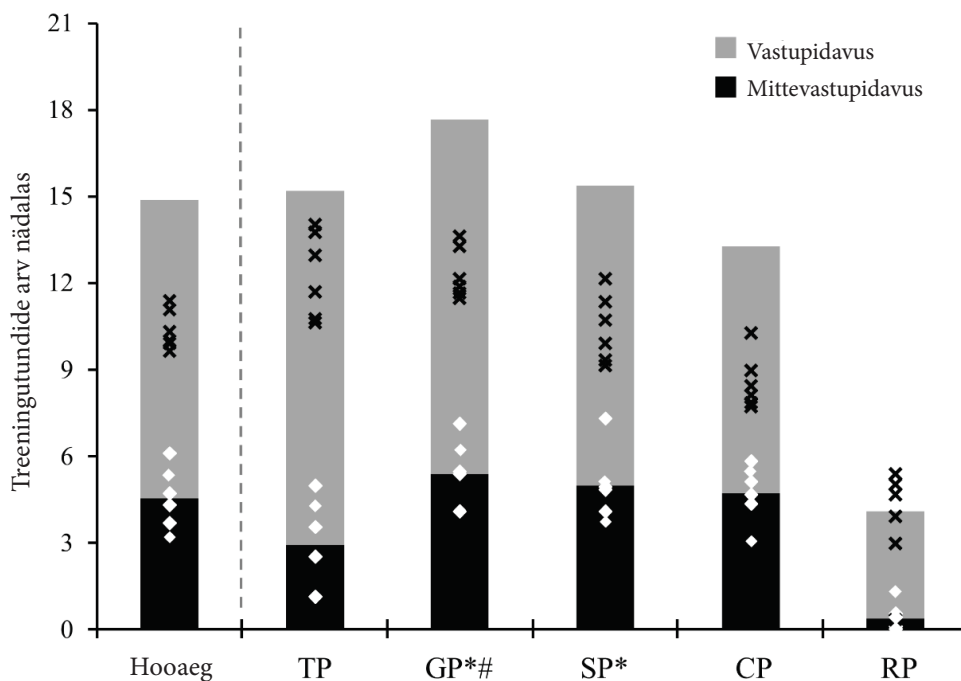
A**B**

Joonis 23. Maailmatasemel suusahüppaja (SJ) ja kahevõistleja (NC) mittevastupidavustreeningu tundide jaotus (A) ning maailmatasemel murdmaasuusataja (XC) ja kahevõistleja (NC) aastase vastupidavustreeningu intensiivsuse jaotus (B)

Aastane treeningu ajastus (III uuring)

Maailmatasemel kahevõistlejate rühma hooaja treeninguandmete võrdlemisel leiti, et hooaja taastumisperiod (RP) oli peamine mahalaadimisperiod ja oluliselt erinev ülejäänud periodidest kogu treeningumahu ($p < 0,01$), treeningusageduse ($p < 0,01$) ning suusahüpeteks ja jõu/võimsuse treeninguteks kulutatud aja poolest ($p < 0,05$).

Kogu treeningumaht vähenes progresseeruvalt üldettevalmistusperiodist (GP) võistlusperiodini (CP) – oluliselt suurem GP-periodil kui SP- ja CP-periodil ($p < 0,05$) ning oluliselt suurem SP-periodil kui CP-periodil ($p < 0,01$) (joonis 24) –, kuid ühegi periodi vahel ei olnud treeningusageduse erinevust. Mittevastupidavustreeningu osakaal treeningu kogumahust oli GP-periodil oluliselt väiksem kui CP-periodil ($p < 0,05$).



Joonis 24. Kuue maailmatasemel kahevõistleja hooaja keskmine nädalane vastupidavus- ja mittevastupidavustreeningute (st kõik jõu, võimsuse ja suusahüpete treeningud) tundide arv hooaja kui terviku, siirdeperioodi (TP), üldettevalmistusperioodi (GP), eriettevalmistusperioodi (SP), võistlusperioodi (CP) ja taastumisperioodi (RP) kohta. Tulbad kujutavad rühma keskmist jaotust. Mustad ristid kujutavad isikute vastupidavustreeningute väärtusi, valged rombid kujutavad isikute mittevastupidavustreeningute väärtusi

* CP-st oluliselt erinev; # SP-st oluliselt erinev

LIT-treeningumaht oli TP- ja GP-perioodil oluliselt suurem kui ülejäänud perioodidel ning MIT-treeningumaht oli GP-perioodil oluliselt suurem kui CP-perioodil ($p < 0,05$). HIT-treeningumahu ega sageduse osas ei olnud viie perioodi vahel olulisi erinevusi. Murdmaa-treeningu (s.o vastupidavustreeningu, kus ei kasutata vabatehnikat) maht oli TP- ja GP-perioodil oluliselt suurem kui kõigil teistel perioodidel ($p < 0,05$).

Tabelis 7 kirjeldatakse tüüpilise ühe nädala igapäevatreeninguid kolmes eri treening-laagris, kus GP-perioodil olid erineva osakaaluga SJ- ja XC-treeningud, ning samuti ühe CP-perioodi treeningnädala jooksul. See kujutab kahevõistlejate kasutatud treeningu ajastamise tüüpi, aga ka nende treeningute järjestust nende eri perioodide jooksul.

Pikaajaline treeningu ajastus (IV uuring)

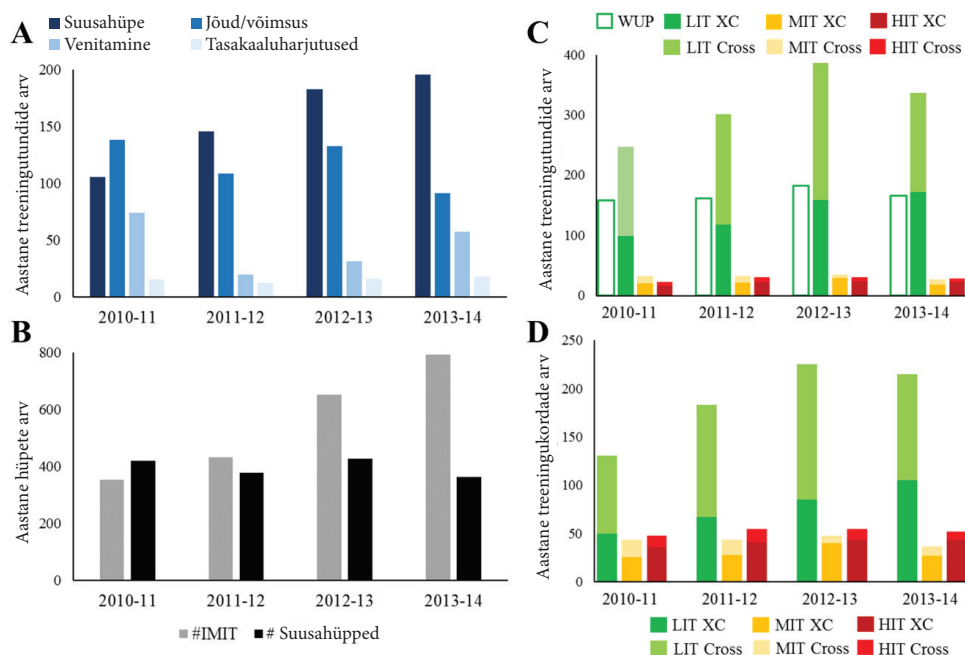
IV uuringus osalenud sportlane registreeris enne kahe olümpiakulla võitmist olümpiatsükli 804, 824, 1008 ja 950 treeningutundi hooaja kohta, mis jagunesid 472, 519, 582 ja 585 treeningukorradele. Kui üldise jõu/võimsuse treeningu maht varieerus siinulainena vahemikus 90...140 tundi hooaja kohta, siis suusahüppe eritreeningu maht ja imitatsioonhüpete (IMIT) arv kasvas igal hooajal pidevalt (joonis 25).

Sportlane teatas, et jõu/võimsuse treeningute sisu tsükli alguses oli keskendunud alakeha lihasmassi ja maksimaaljõu suurendamisele (st suure koormuse ja väikese kiirusega), samas kui olümpiamängudele lähenemisel pöörati suusahüppepõhise liikumise muustrites järk-järgult rohkem rõhku suure kiirusega harjutustele. Osaleja keskendus tsükli alguses ka suusahüppepõhise liikumise hüppeliigete painduvuse ning puusa- ja süvalihaste kontrolli parandamisele ning samal ajal püüdis tehniliselt (1) vähendada hoovõtu ajal massikeskme kõikumisi rõhu keskpunkti suhtes ja (2) asetada massikese suusahüppemäelt äratõukefaasi ajal vertikaalselt rõhu keskpunkti kohale (st vähendada jõuõlga).

Sportlane treenis kõikidel hooaegadel polaarse vastupidavuse jaotusega, muutes vastupidavustreeningu mahtu peamiselt madala intensiivsusega treeningu (LIT) arvelt. Mõõduka (MIT) ja kõrge (HIT) intensiivsuse maht oli kõigil neljal hooajal peaaegu samasugune, v.a MIT-mahu vähenemine 22% võrra alates 3. aastast kuni olümpiahooajani.

Osaleja lisis peaaegu igasse LIT-i rullsuusa- ja suusatreeningusse spurdiharjutused, samal ajal kui mõne MIT-/HIT-treeningu lõpus tehtud spurdid keskendusid väsinuna hea tehnilise teostuse säilitamise võimele.

Erialaste ja mitteerialaste treeningviiside vastupidavustreeningu maht oli sarnane (st hooaegadel 2010/11 kuni 2013/14 murdmaa vabatehnikas vastavalt 45, 44, 47 ja 54%). Enam kui kaks kolmandikku MIT- ja HIT-treeningust tehti kõikidel aastaegadel suuskadel või rullsuuskadel, aga LIT-treeningust tehti murdmaa vabatehnikas 40...50%.



Joonis 25. Kahevõistluse olümpiavõitja 2010/11. kuni 2013/14. hooaja aastaste mittevastupidavustreeningu tundide (A) hüpete arv (B) ning aastaste vastupidavustreeningu tundide (C) ja treeningute arv (D) (koopia IV uuringust)

IMIT: suusahüpete imitatsioonhüpped; WUP: soojendus-, lõdvestus- ja taastumisaeg; LIT: madala intensiivsusega treening; MIT: mõõduka intensiivsusega treening; HIT: kõrge intensiivsusega treening; XC: murdmaatreening vabatehnikas; Cross: murdmaa vabatehnika kasutamisetä vastupidavustreening

Tabel 7. Üldettevalmistusperioodil (juuni-oktoober) ning võistlusperioodil (jaanuar-märts) treeninglaagrite ajal treeningnädala kestel erineva osakaaluga tehtud suusahüppe (SJ) ja murdmaasuusatamise (XC) treeningute näited

| Nädalapäev | Murdmaa eelistus | Suusahüppe eelistus | Segaeelistus | Võistlusnädal |
|------------|---|--|--|--|
| E | 2 h SJ (HS105) 1,5 h LIT XC | 2,5 h SJ (HS105) Võimsustreening | Võimsustreening 1 h LIT-jooks | Taastumine / 2 h LIT XC (sõltuvalt eelnenud koormusest) |
| T | 6 × 8 min MIT XC 1,5 h LIT-jooks | 2 h SJ (HS105) 1,5h SJ (HS140) + 1 h LIT-jooks | 2 h SJ (HS105) 1,5 h LIT XC | Võimsustreening 1,5 h LIT XC |
| K | 2,5h LIT XC 1,5h LIT XC + 12 × 8 s spurdid | Tehnikatreening 6 × 5 min HIT-jooks | 4 × 5 min HIT XC Jõutreening | 2 h SJ (HS105) 5 × 8 min MIT XC |
| N | 6 × 5 min HIT XC Tehnikatreening | 2,5 h SJ (HS105) 1,5 h SJ (HS140) + 1 h LIT-jooks | 2,5 h SJ (HS140) 5 × 8 min MIT-jooks | Reisimine 1 h LIT-jooks + lühike võimsus |
| R | 4 × 6 min HIT XC 1 h LIT-jooks + võimsus | Võimsustreening 1 h LIT XC (paaristõuked) | Võimsus-/tehnikatreening 2 h LIT XC | 4 h SJ (võistlusmägi) 1 h LIT XC |
| L | 2 h LIT XC Jõutreening | 1 h SJ (HS140) Jõud + 1 h tehnikatreening | 2 h SJ (HS105) 1,5 h LIT-jooks | Suusahüppevõistlus Murdmaavõistlus |
| P | 6 × 8 min MIT XC 1,5 h LIT-jooks | 2,5 h SJ (HS140) 1,5 h LIT-jooks | 2 × 10 min MIT + 3 × 5 min HIT XC 2 h LIT-jooks | Suusahüppevõistlus Murdmaavõistlus |

Lühendid. LIT: madala intensiivsusega treening; MIT: mõõduka intensiivsusega treening; HIT: kõrge intensiivsusega treening
Märkus. XC (murdmaasuusatamine) teostatud vabatehnika rullsuusatamisega. SJ (suusahüpete) kestus sisaldab 45 min soojendust, venitust ja varustuse ettevalmistust enne hüppeid ja ligikaudu 4..6 hüpet treeningu kohta. MIT- ja HIT-treeningud sisaldasid lisaks nimetatud tegevusele alati ~40...60 min LIT-i, mis tehti soojenduse ja lõdvestusena. HS105 ja HS140 tähendavad suusahüppemäge, mille profiil on projekteeritud vastavalt suurima hüppepikkuse 105 ja 140 m jaoks. Jõutreening sisaldab harilikult 15 min LIT-soojendust (jooks/rattasõit), millele järgneb 45 min süva- ja stabiiliseerimishaste harjutusi. Võimsustreening sisaldab 10...20 min LIT-soojendust (jooks/rattasõit), 10 min jalgade kõverdumist/ sirutamist 6...10 min, seejärel 30...60 suurima pingutuse ja väikese korduste arvuga (< 4) suusahüppe liikumispõhist jõuharjutust, koos lisaraskuste ja ballistiliste elementidega ning ilma nendeta. Tehnikatreeningud koosnesid suusahüppe imitatsioonihüpetest, kus sportlane püüab matkida sama tüüpi liikumist nagu suusahüppemäel hoovõtu ajal.

ARUTELU

See doktoritöö valgustas uudsel viisil kahevõistlejate sooritusnõudeid, st võimeid, mida kahevõistlejad vajavad maailmataseme saavutamiseks, ja seda, kuidas kahevõistlejad optimeerivad edu saavutamiseks samal ajal vajalikku äärmusliku jõu/võimsuse ja vastupidavuse treeningut. Põhijäreldused olid järgmised.

1. Suusahüpete (SJ) sooritust ennustasid kõige paremini imitatsioonhüpetel (IMIT) saavutatud vertikaalkiirus (v_v) ja kehamass, aga murdmaasuusatamise (XC) sooritust ennustasid kõige paremini rullsuusatamisel ja paaristõugetel kehamassile taandatud VO_{2peak} .
2. Maailmatasemel kahevõistlejad erinesid mitmete laboratoorsete võimete poolest üksnes suusahüppajatest ja murdmaasuusatajatest 10–17% ning nad tegid vastavalt pool suusahüppetreeningutest ja kaks kolmandikku vastupidavustreeningu tundidest.
3. Maailmatasemel kahevõistlejad harjutasid aastas ~850 treeningutundi, millest üle 60% oli vastupidavustreening. Kuigi treeningute sagedus oli kogu hooaja vältel suhteliselt püsiv, siis treeningute kogumaht vähenes astmeliselt üldettevalmistusperioodist (GP) võistlusperioodi (CP) siirdumisel, mille peamine muutuja oli madala intensiivsusega (LIT) vastupidavustreening. Nii vastupidavustreeningute kui ka suusahüppe eritreeningute puhul järgisid treeningumustrid loogiliselt erialakesksuse põhimõtet, algtreeningperioodide üldtreeningutele järgneb rohkem võistluspõhise võistlusperioodi (CP) koormus.
4. Kahevõistluse olümpiavõitja suurendas oma vastupidavustreeninguid nelja-aastase tsükli esimese kolme hooaja jooksul järk-järgult, kuni vastupidavustreeningu 12% vähendamiseni olümpiahooajal. Osaleja säilitas neljahooajalise tsükli jooksul iga-aastaste imitatsioonhüpete (IMIT) peaaegu kahekordse suurenemise ja aastase vastupidavustreeningu ~200-tunnise kasvu ja kehamassi 7 kg suurenemise korral põrkehüppe (CMJ) vertikaalkiiruse ~3 m/s ning parandas samal ajal imitatsioonhüpete vertikaalkiirust 0,31 m/s võrra ja rullsuusatamise väärtust VO_{2peak} ~0,8 l/min võrra. Murdmaasuusatamises pöörati kõikidel hooaegadel tähelepanu otsustavale tegurile ehk finišivõimekuse parandamisele, sest mõlemad olümpia kuldmedalid võideti finišiheitluses.

Nõuded sooritusele

Et saavutada kahevõistluses edu, peavad sportlased olema saavutusrikkad nii suusahüpetes kui ka murdmaasuusatamises. Kõikidel individuaalsetel 10 km suusatamisega kahevõistluse maailmakarikavõistlustel alates 2008/09. hooajast olid 75% kahevõistluse esikolmiku sportlastest nii suusahüpetes kui ka murdmaasuusatamises 15 parima hulgas. Kahe paremusrühma, G1...10 ja G21...30, võrdlemine näitas, et alates 10 km võistluse juurutamisest on suusahüpete ja murdmaasuusatamise suhteline panus kahevõistluse üldsooritustasemesse jäänud samaväärseks (suusahüpete ja murdmaasuusatamise panus vastavalt ~55% ja ~45%). Murdmaasuusatamise panus oli suhteliselt suurem vaid 2013/14. ja 2014/15. hooajal. 2015/16. hooajal tõstis FIS suure hüppemäe võistlustel hüpatud ühe meetri eest saadud punktide arvu 1,5-lt 1,8-le, mis suurendas suusahüpete panust üldisesse kahevõistluse sooritusse. 2015/16. hooajal oli kogu Euroopas üldiselt kõrgemad temperatuurid ja vähe lund, mistõttu võisteldi murdmaasuusatamises lühematel soolatatud ja harilikult jäise tehislumega (st vähemate tõusulõikudega) radadel. See võis mõjutada murdmaasuusatamise võistlusaegu ja sportlaste vahelisi erinevusi, mistõttu oli murdmaasuusatamisel kahevõistluse üldsooritusele ebaharilikult väike mõju. See võib omakorda selgitada kahe paremusrühma murdmaasuusatamise soorituse mitteolulist erinevust sellel hooajal.

Kõigi kahevõistluse maailmakarikavõistluste kolmest parimast suusahüppajast oli ainult 5% ka murdmaasuusavõistluse kolme kiirema hulgas. See võis tingitud olla fenotüübi erinevustest, aga võis olla ka suusahüppejärgsest kohast tulenenud erineva rakendatud taktika tõttu. *I uuringu* ühel võistlusel suusatasid koguvalimi kolm kiiremat murdmaasuusatajat kõigis murdmaasuusatamise lõikudes kiiremini kui kolm paremat suusahüppajat. Kuid nad alustasid murdmaasuusavõistlust kohtadelt 39...44, aga koguvalimi parimad suusahüppajad alustasid kohtadelt 5...18 ja nad võisid kasutada sama üldsoorituse saavutamiseks erinevat tempostrateegiat. Jälitussõidu eri taktikate tõttu on sooritusnõuete väljaselgitamine keeruline ülesanne. Pigem võivad maailma parimate kahevõistlejate mitmesugused võimed toimida mudelina, et näha tähtsamate parameetrite praeguseid võrdlusandmeid.

Soorituse laboratoorsed näitajad

Suusahüpped

Kuigi kõik suusahüppefaasid on olulised ja sõltuvad eelneva edukusest, arvatakse üldise edukuse puhul tähtsaimaks äratõuget (Schwameder 2008). Äratõukel püüab sportlane saavutada aerodünaamiliselt mugavast kükkasendist ~0,3 s jooksul suurima vertikaalkiiruse (v_v) ja tekitada samal ajal piisava kallutusmomenti, et saavutada nii vara kui võimalik optimaalne lennuasend. Nagu oletati, oli see suusahüppe sooritus olulises korrelatsioonis *I uuringu* vertikaalkiirusega ja

imitatsioonhüppe (IMIT) äratõukeajaga, kuid suusahüppe soorituse ennustamiseks sobis kõige paremini v_v koos kehamassiga. Need leiud on kooskõlas edukate suusahüppajate kindlakstehtud sooritusomadustega (Müller ja Schwameder 2003; Müller 2009), aga ka *II uuringus* leitud maailmatasemel kahevõistlejate ja üksnes suusahüppajate rühmade vahelise erinevusega.

Kui kõik muu on võrdne, võimaldab väike kehamass sportlasel äratõuke vertikaalkiirust v_v optimeerida (st netojõuimpulss muudab väärtust $m \cdot v_v$ ja eeldatakse kehamassi erinevusega proportsionaalset v_v muutust) ja lisaks vähendada lennufaasi kestel gravitatsioonijõudu, mis omakorda suurendab hüppepikkust. *II uuringus* leitud asjaolu, et kahevõistlejate kehamass ja KMI olid suuremad kui üksnes suusahüppajatel, polnud üllatav, sest erinevalt suusahüppajatest peavad kahevõistlejad paaristõugetega murdmaasuusatamiseks arendama ülakeha lihasmassi. Kuid kahevõistlejatel leitud 9% suurem kehamass ei langenud täielikult kokku *II uuringus* leitud kahe rühma IMIT-katsete v_v 17% erinevusega, mis näitas, et kahevõistlejad on mitte üksnes raskemad kui suusahüppajad, aga neil on ka väiksem alakeha jõuimpulssi võime.

Kehamass üksinda ei näidanud *I uuringus* kahevõistlejate hulgas tugevat korrelatsioonikordajat suusahüppe sooritusega ($r_s = -0,511$, $p = 0,089$), nagu oleks võinud eeldada. Väiksem kehamass mitte ainult ei vähenda gravitatsioonijõudu lennufaasis, vaid see vähendab ka äratõuke horisontaalset momenti, mis omakorda võib hüppepikkust vähendada. On leitud, et hoovõtukiirusel on hüppevõistlustel tugev korrelatsioon nii hüppepikkuse (Virmavirta jt 2009) kui ka sama distantsi hüppavate kahevõistlejate ja üksnes suusahüppajate eristamisega (Janura jt 2011). Simulatsiooniuuringutes on siiski leitud, et väikesel kehamassil on üldine positiivne mõju suusahüppe sooritusele (Schmolzer ja Müller 2002) ning lisaks on see kasulik äratõuke vertikaalkiiruse v_v suurendamisele. Kui seega eeldada, et kehamassi vähendamine samadel muudel tingimustel on individuaalsel tasemel suusahüppe sooritusele kasulik, siis on tõenäoline, et eliitkahevõistlejate seas, kus kehamass on sooritust soodustav tegur, on IMIT-katsetes v_v tekitamisel määravaimad tegurid isikutevahelised erinevused.

Suusahüppe tehniliselt keerukas liikumine on oskus, mille optimeerimiseks kulub aastaid ja tuhandeid kordusi, ning väga vähesed hüppajad suudavad säilitada tipptasemel sooritusvõime mitme hooaja jooksul, sest teostuse veapiirid on väga väikesed ja võivad lihtsasti käest minna. Järelikult pole üllatav, et *I uuringus* oli suusahüppe sooritusega olulises korrelatsioonis mitte kükkhüppe-, vaid imitatsioonhüppekatse vertikaalkiirus v_v . Kuigi suusahüppe eliittaseme eelduseks võib pidada hästi väljaarendatud vertikaalset hüppevõimet, on määrav eelkõige see, kui suurt vertikaalkiirust suudab sportlane spordialapõhise liikumisega tekitada. Seda toetavad ka andmed, et maailmatasemel kahevõistlejad tekitavad kükkhüppel ainult 7% väiksema v_v kui üksnes suusahüppajad, kuigi imitatsioonhüppe erinevus suurenes 16%-ni (*II uuringu lisaandmed*). Seetõttu oli *IV uuringus* vaadeldud olümpiavõitja väga pühendunud vaimsele treeningule, et suunata oma vertikaalne hüppevõime imitatsioonhüppe spordialapõhisele

liikumisele ja sellega ka hüppemäele. Kuigi jõuplaate on kasutatud simulatsioonhüpete uurimiseks juba üle 50 aasta (Müller ja Schwameder 2003), puuduvad senini mõõdetavate muutujate juhised, et kirjeldada simulatsioonhüpete edukaid liikumisstrateegiaid. Kuigi imitatsioonhüppe vertikaalkiirus võib olla määrav lõppmõdik, peaksid tulevased uuringud püüdma välja selgitada meetodid eriti kallutusmomendi tekitamise koosmõju kirjeldamiseks.

Murdmaasuusatamine

Võisteldes 10 km võistlustel võistluskestusega ~25 min, millest ~60% ajast möödus tõusudel (*I uuring*), oli kahevõistlejatel väga suur aeroobne energiatarve (Gastin 2001). Leidis kinnitust hüpotees, et murdmaasuusatamise soorituse ennustamiseks sobis kõige paremini *I uuringus* rullsuusatamise ja paaristõugete kehamassile taandatud VO_{2peak} . Suure aeroobse võimekuse tähtsust on hästi tõestatud mitmetel vastupidavusaladel (Jones ja Carter 2000), sh murdmaasuusatamises, kuid *I uuring* on esimene uuring, millega kinnitatakse seost eliitkahevõistlejate võistlussooritusega. Kui *II uuringus* võrreldi maailmatasemel kahevõistlejaid üksnes murdmaasuusatajatega, oli kahevõistlejate saavutatud VO_{2peak} väärtus 10% madalam, mis vastas 9% väiksemale tippkiirusele. See väärtuse VO_{2peak} erinevus oli samuti sarnane hiljutisel uuringul leituga, kus võrreldi olümpia kahevõistlejate ja murdmaasuusatajate jooksu VO_{2max} väärtusi (Tønnessen jt 2015a). Sellega võimaldas kõrgem VO_{2peak} väärtus suusatada *II uuringus* osalenud murdmaasuusatajatel sama absoluutse submaksimaalse kiirusega väiksema füsioloogilise koormusega. Kahevõistlejate saavutatud väiksem tippkiirus tähendas lühemaid tsüklipikkusi kui murdmaasuusatajatel, aga mitte tsükliageduse erinevusi. Kui võrrelda vabatehnikat kasutavate murdmaasuusatajate sooritustaseme erinevusi, on need kõik tüüpilised mustrid (Sandbakk jt 2011a; Sandbakk ja Holmberg 2014; Sandbakk jt 2010; Sandbakk jt 2011b) ning need näivad kehtivat ka kahevõistlejate ja murdmaasuusatajate vaheliste erinevuste puhul. Kuigi *I uuringu* ühe ala sportlaste rühma suurus on järeltuste tegemiseks liiga väike, näivad need sooritusmustrid kehtivat ka erineva murdmaasuusatamise sooritustasemega eliitkahevõistlejate võrdlemisel.

Kahel viimasel aastakümnel on saanud märkimisväärselt suurt tähelepanu ülakeha võimsuse tähtsus murdmaasuusatamise sooritusele, sest seda on seostatud suusatajate võimega kasutada samadel kiirustel pikemaid tsüklipikkusi ja saavutada kergetel kuni mõõdukatel tõusudel suurem tippkiirus (Grasaas jt 2014; Millet jt 1998; Sandbakk jt 2013a). Seetõttu polnud üllatav *I uuringu* leid, et paaristõugete võimsus oli olulises korrelatsioonis murdmaasuusatamise sooritusega. Ehkki *I uuringu* astmelises harjutuses ei olnud ülakeha võimsuse ja tsüklipikkuse ega tippkiiruse vahel ilmset seost, tehti rullsuusatamine selles uuringus G2 vabatehnikaga, kus ülakeha võime on vähem domineeriv võrreldes *II uuringus* kasutatud G3 vabatehnikaga (Millet jt 1998). Sellegipoolest näitas ühe ala sportlaste võrdlemine eliitkahevõistlejate seas

kogu kiirusevahemikus tsükli pikkuse rühma erinevusi, samamoodi nagu *II uuringus* ilmnenuid maailmatasemel kahevõistlejate ja murdmaasuusatajate vahelised erinevused. Kuna *I uuringu* tulemusrühmad koosnesid igaüks vaid kolmest sportlasest ja *II uuringusse* ei hõlmatud ühtegi ülakeha võimsuse mõõtmist, siis saame nendes uuringutes ülakeha võimsuse ja tsükli pikkuse vahelise seose üle üksnes spekuloida.

Paremini arendatud tehnika ja suurema liigutuste tõhususega suusatajad tekitavad sama ainevahetuskiiruse korral suuremaid töökoormusi. See, et *I uuringus* ei leitud kogutõhususe (GE) ja murdmaasuusatamise soorituse vahel olulist korrelatsiooni, oli vastupidine sellele, mida võis eeldada varasemate murdmaasuusatajate kohta tehtud uuringute põhjal (Sandbakk jt 2013b; Sandbakk ja Holmberg 2014; Sandbakk jt 2010). Kuigi Sandbakk jt leidsid, et GE erineb erisuguste sooritustasemetega meessoost (2010 ja 2013) ja naissoost (2013) murdmaasuusatajate vahel, ei leitud sama sooritusega meeste ja naiste (2013) võrdlemisel GE osas mingit erinevust. Viimane on kooskõlas *II uuringu* leidudega, kus maailmatasemel kahevõistlejad ei erinenud samal submaksimaalsel kiirusel GE ega O_2 -cost osas üksnes murdmaasuusatajatest. Samuti ei erinenud *I uuringus* osalenud eliitkahevõistlejate ühe spordiala sportlaste kirjeldavad võrdlused GE ega O_2 -cost osas, sõltumata murdmaasuusatamise sooritustaseme olulisest erinevusest. Kuid ühe ala sportlased erinesid oluliselt kehamassi ja ülakeha lihasmassi poolest vastavalt 10 ja 5 kg. Ühendades need leiud naisratturitel võrreldes meestega leitud suurema GE-ga (Hopker jt 2010) vastupidavusrežiimis, kus ülakeha ainevahetustöö on piiratud, saame spekuloida, et antropomeetria andmete ja eriti ülakeha erinevused võivad olla GE rühma erinevuste hindamisel tähtsad tegurid. Seda võimalikku seost tuleks tulevastes uuringutes üksikasjalikumalt uurida.

Aastase treeningu võrdlus üksnes suusahüppajate ja murdmaasuusatajatega

Kahevõistlejad püüavad pidevalt optimeerida kahe põhimõtteliselt erineva võime samaaegset arengut: suusahüpete edukaks soorituseks vajaliku jõu kiiruse ja netoimpulsi ning järgneva murdmaasuusatamise jälitussõidu kiireks läbimiseks vajaliku vastupidavusvõime arenemist. Nende nõuete täitmiseks peavad maailmatasemel kahevõistlejad harjutama aastas samuti ~850 tundi nagu üksnes suusahüppajad või murdmaasuusatajad, kuid erinedes nendest loomulikult mittevastupidavus- ja vastupidavustreeningute mahu poolest (*II uuring*). Täpsemalt öeldes harjutasid kahevõistlejad ligikaudu pool üksnes suusahüppajate treeningukordadest, kuid lühema keskmise treeningukestusega, ja kaks kolmandikku üksnes murdmaasuusatajate vastupidavustreeningu tundidest. Seega on tähelepanuväärne, et maailmatasemel kahevõistlejate laboratoorsed võimed erinesid ühe ala sportlaste omadest ainult 10...17%, mis viitab asjaolule, et kahevõistlejate treening võib olla edukas samaaegse jõu/võimsuse ja vastupidavuse treeningukava koostamise mudel.

Suusahüppesoorituseks harjutamine

Suusahüppe soorituse elutähtis tegur on suusahüppemäelt äratõuke ajal jõu kiire tekitamine ja suur netojõu impulss. Seega hõlmab suusahüppe soorituse treenimine jõutreeningut eri kiirustel ja takistuskoormustel, mis mõjutab ennekõike lihasejõudu ja võimsust vähese mõjuga väärtusele $V_{0_{2max}}$ (Nader 2006). Lisaks nõuab suusahüpe keerulise ülesandena suurt keha ja koordineerimise teadlikkust, hüppe- ja puusaliigete paindlikkust, et saavutada aerodünaamiline hoovõtuasend, ning korduvaid tehnilisi teostusi liikumiste automatiseerimiseks. Selle saavutamiseks koostasid *II uuringus* osalenud maailmatasemel kahevõistlejad oma treeningukava samamoodi nagu üksnes suusahüppajad, kuid lühema treeningu keskmise kestusega treeninguliikide arvestuses. Kahevõistlejad erinesid see-eest, kui panid suhteliselt suuremat rõhku venitustele ja vähem rõhku tehnika imitatsiooni treeningule. Kahevõistlejate suurem rõhuasetus venitustele tuleneb tõenäoliselt vajadusest vähendada vastupidavustreeningu kahjulikku mõju puusade liikuvusele. Spetsiifilisuse põhimõtet järgides eelistavad kahevõistlejad igal võimalusel esmalt suusahüppe treeninguid mäel (st kui mägi on hüppamiseks avatud, treener on olemas ja ilmastikuolud seda võimaldavad). Teiseks tuleb tõenäoliselt saavutada vertikaalse hüppevõime arendamiseks või säilitamiseks vajalik korduste ja jõu/võimsuse treeningu alampiir (Rønnestad 2013), mida tuleb täita olenevalt hooaja ajakavaperioodist. Seega kui koostada treeningukava kahevõistlejatele, kelle treening hõlmab ka vastupidavustreeningu suuri mahtusid, hakkab tehnikatreeninguks kasutadaolev aeg kiiresti lühenema.

Hoolimata sellest, et kahevõistlejad tegid *II uuringus* ligikaudu pool üksnes suusahüppajate jõu/võimsuse treeningukordadest, erines nende üldine hüppevõime ainult 6...7% (vt CMJ ja SQJ käigus mõõdetud v_v ja *lisaandmed*). See näitab, et kui vastupidavustreeningul on hüppesooritusele mingi vastumõju, on maailmatasemel kahevõistlejad optimeerinud oma treeningud selle negatiivse mõju ületamiseks. Järelikult on spordialapõhiste imitatsioonihüpete puhul täheldatud suurem rühmaerinevus tõenäoliselt seotud üksnes suusahüppajate enama tehnikatreeningu ja suusahüpetega, mis võimaldab neil tehnilist äratõukeliikumist tõhusamalt hallata.

Murdmaasuusatamise soorituseks treenimine

Kahevõistlejate murdmaasoorituse parendamisel on põhitähelepanu loogiliselt vastupidavustreeningul. Nagu eespool nimetatud, harjutavad maailmatasemel murdmaasuusatajad 800...950 treeningutundi aastas, kasutades polaarset intensiivsuse jaotust, kus on suured LIT-mahud ja väikesed kuni mõõdukad HIT-mahud (Sandbakk 2017; Sandbakk ja Holmberg 2014; Solli jt 2017; Tønnessen jt 2014). *II-IV uuringus* vaadeldud maailmatasemel kahevõistlejad pühendasid kaks kolmandikku oma aastast treeningust vastupidavustreeningule ja kasutasid sama polaarset mudelit nagu eelnimetatud uuringutes. Seega kulutasid *II uuringu* kahevõistlejad

igas intensiivsustsoonis vähem aega kui üksnes murdmaasuusatajad, kuid põhierinevus oli vähem madala intensiivsusega treeninguid klassikatehnikas.

II uuringus vaadeldud kahevõistlejad ja üksnes murdmaasuusatajad kulutasid vabatehnikale sarnase koguse HIT-treeningukordi ja aega. Mitme lühiajalise uuringu põhjal on jõutud järeldusele, et HIT kutsub esile sooritusele kasulikke füsioloogilisi muutusi (Laursen 2010) ja kahe tulemusrühma võrreldaval HIT-kogusel on tõenäoliselt oluline mõju *I-IV uuringus* maailmatasemel kahevõistlejatel leitud kõrgetele VO_{2peak} väärtustele (st rullsuusatamises ja jooksmises vastavalt ~ 72 ja ~ 77 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), vaatamata võrreldes teiste vastupidavusaladega mõõdukale kogusele üldisele vastupidavustreeningule. *II uuringus* leitud kahevõistlejate 10% madalam VO_{2peak} koos ~ 200 võrra vähemate LIT-tundidega, võrreldes üksnes murdmaasuusatajatega, on kooskõlas ka mitme teise uuringuga, mis on näidanud, et seda tüüpi ulatuslikud treeningud aitavad kaasa vastupidavusalade eliitsportlaste parema aeroobse võimekuse ja soorituse saavutamisele (Sandbakk ja Holmberg 2014; Sandbakk jt 2011b; Solli jt 2017; Tønnessen jt 2015a).

Aastane treeningu ajastus

Varasemates uuringutes on uuritud maailmatasemel edukate vastupidavusalade sportlaste, nagu orienteerujate (Tønnessen jt 2015b), sõudjate (Guellich jt 2009), jooksjate (Esteve-Lanao jt 2005), aga ka murdmaasuusatajate (Solli jt 2017; Tønnessen jt 2014) aastast treeningu ajastust. *III uuringus* kasutati samasugust käsitlust ja analüüsi edukate maailmatasemel kahevõistlejate treeningut erinevates hooaja treeningperioodides. Eelnimetatud uuringute kohaselt vähendasid kahevõistlejad oma vastupidavustreeningut üldettevalmistusperioodist (GP) võistlusperioodi (CP) siirdumisel põhiliselt LIT- ja MIT-mahu vähendamisega, säilitades samas HIT-mahu. See koos kõigis treeningperioodides säilitatud harjutussagedusega järgib tüüpilist teiperi (treeningumahu vähendamise) mustrit, mida on varem kirjeldatud muude vastupidavusspordialade puhul (Bosquet jt 2007; Mujika ja Padilla 2003), kus HIT-mahu säilitamist peetakse piisavaks vastupidavusvõime arendamiseks ja väiksem üldmaht hõlbustab tiptasemel sooritust.

III uuringu uudsus oli aga see, kuidas edukad kahevõistlejad ajastasid vastupidavustreeninguid oma mittevastupidavustreeningutega. Siin osutus üldise treeningumahu põhi-muudetavaks vastupidavustreeningu maht, samas kui mittevastupidavustreeninguteks kulutatud aeg püsis üldettevalmistusperioodist (GP) kuni võistlusperioodini (CP) suhteliselt püsiv. Seega mittevastupidavustreeningu osatähtsus üldises treeningumahus suurenes alates GP-st kuni CP-ni koos vastupidavustreeningu mahu vähenemisega. Kahevõistluse puhul võib see vastupidavustreeningu teiperi mudel olla kasulik mitte üksnes murdmaasuusatamise tippsoritusele, vaid võimaldada samal ajal mittevastupidavustreeningu suuremat lisand-väärtust ja kvaliteeti.

Treeningute tähelepanu nihe üldettevalmistusperioodist võistlusperioodi leiti nii vastupidavus- kui mittevastupidavustreeningu osas. Vastupidavustreeningu puhul toimus risttreeningu astmeline mahu vähenemine siirdeperioodist (TP) eriettevalmistusperioodi (SP) koos vastava murdmaasuusatreeningu suurenemisega. See on kooskõlas varasemate murdmaasuusatamise (Tønnessen jt 2014) ja orienteerumise (Tønnessen jt 2015b) uuringutega, kus pakuti, et hooaja varasema osa risttreeningu eesmärk on suurendada treenitavust ja parandada üldist aeroobset võimekust, vähendades samal ajal treeningu üksluisust. Meie andmed näitavad, et see kehtib ka kahevõistlejate puhul.

Mittevastupidavustreeningu puhul täheldati siirdeperioodi kuni võistlusperioodi jooksul nihet hüpete absoluutse arvu ja suure mäe osakaalu puhul (st osakaal hüpete koguarvust GP-perioodil 10% vs. CP-perioodil 18%). Üldjoontes on väikese ja normaalmäe äratõukel tekitatud vertikaalkiirusel hüppepikkusele suhteliselt suurem mõju võrreldes suure mäega, kus pikem lennufaas teeb aerodünaamika suhteliselt tähtsamaks (Virmavirta jt 2009). Seega pärast üldettevalmistusperioodis esmaste faaside (st hoovõtt ja äratõuge) arendamist püüab sportlane eriettevalmistus- ja võistlusperioodil arendada suurel määral lennufaasi siirdumist ning lennufaasi.

Kuigi maailmatasemel kahevõistlejate rühma puhul ilmnes *III uuringus* ühtne treeningute aastase ajastuse muster, täheldasime igal treeningperioodil ka selgeid individuaalseid erinevusi üldistest treeningumustritest. Edasist uurimist vajab, mil määral mõjutavad seda näiteks füüsilise profiili, treeninguajaloo või kehakaalu piiramise erinevused.

Pikaajaline treeningu ajastus

Põhimõtteliselt hõlmab sporditulemusteks treenimine kehale homöostaasi (ehk tasakaalu) häiriva füüsilise koormuse rakendamist. Kui koormus on õigesti tasakaalus, suurendab kasulik treeninguga kohanemine keha sarnase koormuse taluvust järgnevatel treeningutel. Kuid liiga palju koormust ilma piisava taastumiseta suurendab ülekoormuse ja lõpuks ületreenimise riski. Edukate maailmatasemel sportlaste treeningukoormuse (s.o ~850 treeningutundi aastas) saavutamiseks on vaja treeningumahtu järk-järgult suurendada alates varasest noorukieast. *IV uuringus* vaadeldud olümpiavõitja harjutas juba 19-aastasena ~800 tundi aastas, kus treeningukorrad jaotusid mittevastupidavus- ja vastupidavustreeningute vahel võrdselt (st 245 mittevastupidavus- vs. 223 vastupidavustreeningut). Mittevastupidavustreeningute arv püsis kogu nelja-aastase tsükli jooksul, kuid osaleja suurendas kasvavalt vastupidavustreeningute mahtu, jõudes treeningute kogumahuni 1008 tundi ja 582 treeningukorda 2012/13. hooajal kuni vastupidavustreeningute vähendamiseni olümpiahooajal 58 tunni võrra.

IV uuringus vaadeldud osaleja jõudis juba 20-aastasena CMJ- ja SQJ-hüpete maailmatasemel vertikaalse hüppekiiruseni ~3,0 m/s. Osaleja säilitas oma CMJ-hüppe

vertikaalkiiruse hoolimata kehamassi suurenemisest 7 kg võrra, suurendades samas oma spordialapõhise imitatsioonhüppe (IMIT) vertikaalkiirust 0,31 m/s võrra. See paranemine kaasnes IMIT-hüpete peaaegu kahekordse aastase suurenemisega ja tähelepanu nihkumisega jõu/võimsuse harjutustele. Osaleja teatas 2010/11. hooajal, et tema jõu/võimsuse treeningud olid koostatud lihaste hüpertroofia ja alakeha suurima jõu (tugevuse) parandamiseks. Seejärel keskenduti treeningutel rohkem suusahüppepõhise liikumismustriga suure kiirusega harjutustele. See treeningu sisu nihutamine suurema erialalisuse poole, kui jõutase oli piisav, võis aidata kaasa tema vertikaalse hüppevõime säilitamisele samal ajal vastupidavustreeningu suure kasvuga, mis võib jõu arengut piirata (Wilson jt 2012). Imitatsioonhüpete vertikaalkiiruse ~15% suurenemine näitab muu hulgas, et samaaegne vastupidavustreening ei halvendanud selle tehnilise oskuse teostamist. Enamasti võib kahevõistlejatele olla kasulik arendada üldist jõudu ja vertikaalset netojõuimpulssi karjääri varajases järgus, kui vastupidavustreeningu koormus on väike, ning seejärel keskenduda samal ajal vastupidavuskoormuse suurendamisega suure kiirusega suusahüppepõhise liikumismustriga harjutustele.

Suusahüppemäel edu saavutamiseks toetuvad suusahüppajad ja kahevõistlejad hoovõtukiirusel 23...26 m/s automatiseeritud ja tehniliselt optimeeritud äratõukemustrile. Paranenud hüppeliigese paindumus ja puusa/torso juhtimine võimaldasid *IV uuringus* osalenul äratõukeliikumise juba olümpiatsükli alguses imitatsioonhüpete ja testimise ajal hästi lahendada, kuid selle oskuse suusahüppemäele ülekandmiseks oli vaja pikemat aega. Süsteemne oskuste omandamist soodustav vaimne treenimine toetas siin tehnikatreeningut, mis oli tõenäoliselt otsustav tegur osaleja õnnestumisel olümpiamängudel.

Polaarne intensiivsuse mudel ja üldine vastupidavustreeningu maht ~560 tundi olümpiahooaja kohta oli sarnane teiste *II-III uuringus* uuritud maailmatasemel kahevõistlejatega. Siiski *IV uuringus* suurendati vastupidavustreeningu mahtu kolme esimese hooaja jooksul keskmiselt 87 tunni võrra hooaja kohta kuni 635 tunnini hooaja kohta, millele järgnes olümpiahooajaks vähendamine. Vastupidavustreeningu mahtu kohandati peamiselt LIT-koormuse arvelt, säilitades kõikidele hooegadele sarnased HIT-koormuse mahud. Pikaajalise ajastuse muster oli sarnane nagu Solli jt (2017) hiljuti uuritud maailma parimal naissoost murdmaasuusatajal. *IV uuringus* täheldatud hapnikutarbimise VO_{2peak} paranemine ~0,8 l/min koos aastase vastupidavustreeningu suurenemisega ~200 tundi toetab veelgi Solli jt väidet, et selline treeningukoormuse järkjärguline suurendamine võib olla vajalik nii pikaajaliseks arenguks kui ka treeningutaluvuse järguviisi suurendamiseks, et taluda maailmatasemel soorituseks vajalikke suuri treeningukoormusi.

Olümpiahooajal täheldatud suhteliselt väiksem vastupidavuskoormus koos eelmiste hooegadega võrdse treeningusageduse ja HIT-koormuse tasemega võib näidata, et sama

teiperi strateegia, mida täheldati *III uuringus* iga-aastase treeningu puhul, võib olla kasulik ka pikaajaliseks mahtude vähendamiseks. Eriti kahevõistluse puhul, sest olümpiahooaja vähendatud vastupidavustreening võis vähendada üldväsimust ja parandada nii suusahüppe kui ka jõu/võimsuse treeningute kvaliteeti, võimaldades vertikaalse hüppekiiruse edasist arenemist olümpiahooajal (mõõdetud pärast 2013/14. hooaega). See võib anda üldise vihje, et vastupidavustreeningu koormuse vähendamine oli lisaks murdmaasoorituse võimalikule teiperi mõjule kasulik ka suusahüppesoorituse arendamiseks ning seega ka üldise kahevõistluse soorituse parandamiseks.

Metoodilised kaalutlused

Senini pole üheski uuringus tõendatud mudeleid, mis kirjeldaksid siinses doktoritöös salvestatud erisuguste mittevastupidavustreeningute koormust. Üldjuhul võib vastupidavus- ja jõutreeningute mahu (TM) arvutada järgmisel viisil.

$$\begin{aligned}
 TM_{\text{VASTUPIDAVUS}} &= \text{INTENSIIVSUS} \cdot \text{KESTUS} && \bullet \text{ SAGEDUS} \\
 TM_{\text{TUGEVUS}} &= \text{INTENSIIVSUS} \cdot \text{KORDUSTE ARV} && \bullet \text{ SAGEDUS}
 \end{aligned}$$

Kus intensiivsust võib mõõta tippväärtuste suhtes (nt jooksu puhul HR_{peak} , tugevuse puhul 1 RM) või absoluutsena (nt jooksu puhul $[La^-]_b$, tugevuse puhul liigutuse keskmine kiirus). Treeningumahtu võib hinnata samuti treeningviisist sõltuvalt, sest erinevad treeningviisid koormavad lihaseid eri viisil (nt murdmaasuusatamise paaristõuked vs. jooksmine või kükkhüpped vs. jõutõmme). Seevastu suusahüpe on väga keerukas tehniline spordiala, mis nõuab vaimset ettevalmistust ja ülimat keskendumist, mis tekitab raskesti mõõdetava, loendatava või muud tüüpi treeningutega võrreldava koormuse. Jõu, võimsuse ja tehniliste treeningute analüüsi piiratud tõendus põhise tõttu ei ole teaduskirjanduses hästi kirjeldatud nende spordialade edukaid treeningumustreid, kus need komponendid on esmased soorituse jaoks määravad. Tasub tähele panna, et need plahvatuslikud sportlased võivad vastupidavustreeninguid veidi teist moodi taluda ja nendega kohanduda kui eelmistes uuringutes käsitletud tüüpilised vastupidavussportlased ning võivad kogeda jõu/võimsuse treeningute ajal suuremaid lihasekoormusi. Need asjaolud esindavad probleemkohti, mida tuleks meie andmete tõlgendamisel arvestada.

Loomulikult hõlmavad *I uuringus* tehtud laborikatsed piiranguid otseseks võrdluseks välistingimustega. Ilmsete erinevustena sise- ja mäehüpete vahel on hoovõtukiirus, õhutakistus ja hõõrdejõud. Samuti on murdmaasuusatamise puhul rullsuusad suuskadest lühemad ning ratastel on erinev veeretakistus ja äratõukemehaanika kui suuskadega lumel sõitmisel. Sellegipoolest oli *I uuringu* eesmärk tegelikult selgitada laboratoorsete võimete seost spordialapõhiste liikumistehnikatega.

JÄRELDUSED

See doktoritöö näitas, kuidas maailmatasemel kahevõistlejad saavutavad jõu/võimsuse ja vastupidavuse samaaegsete treeningutega inimvõimete piirile lähedased füüsilised võimed, et parendada oma kahevõistluse sooritust. Täpsemalt on maailmatasemel kahevõistlejate vertikaalne hüppekiirus 3 m/s koos VO_{2max} väärtusega 77 ml/kg/min. Laboris saadud spordialapõhistest võimetest sobisid kahevõistluse maailmakarikavõistluste suusahüppe soorituse ennustamiseks kõige paremini imitatsioonhüppe vertikaalkiirus ja kehamass, aga sama võistluse murdmaasuusatamise sooritust ennustasid kõige paremini rullsuusatamise VO_{2peak} ja ülakeha võimsus. Need spordialapõhised võimed sobisid samuti kahevõistlejate ning üksnes suusahüpetele ja murdmaasuusatamisele pühendunud sportlaste eristamiseks. Maailmatasemel kahevõistlejad erinesid nende võimete poolest üksnes suusahüppajatest ja murdmaasuusatajatest vaid 10...17%, kuigi viimaste tehnikatreeningute ja madala intensiivsusega treeningute maht oli vastavalt ligi kaks korda suurem kui kahevõistlejatel.

Maailmatasemel kahevõistlejad harjutavad jõu-vastupidavuse mõlemat äärmust, jagades oma iga-aastasest 800...1000 treeningutunnist kaks kolmandikku vastupidavusele ja ühe kolmandiku suusahüpete eritreeningutele (st suusahüpped, hüpeteta tehnikatreening, jõud/võimsus, tasakaaluharjutused ja venitamine). Treening jaotatakse sarnase mudeli järgi nagu üksnes ühe ala sportlaste puhul, kuid kahevõistlejad kasutavad keskmiselt lühemaid treeningukestusi ja vähem aega klassikatehnikale. Erialalisuse põhimõtet järgides pööravad kahevõistlejad rohkem tähelepanu suusahüppetreeningutele ja kõrge intensiivsusega rullsuusatamise või vabatehnikas suusatamise vastupidavustreeningutele. Kogu aastase tsükli jooksul pööratakse alates algtreeningperioodist kuni võistlusperioodini võrdlemisi suuremat rõhku erialatreeningutele.

Nii kahevõistlejate rühma iga-aastase kui ka kahevõistluse olümpiavõitja pikaajalise treeningu ajastuse puhul leiti, et üldise treeningumahu põhimuutuja oli vähese intensiivsusega vastupidavustreening, aga suusahüppe eritreeningu ja kõrge intensiivsusega vastupidavustreeningu maht hoiti üsna ühtlane. Kahevõistluse mitmekordse olümpiavõitja andmed viitavad, et pikaajaliseks ajastamiseks noorusest kuni noorukieani, kui vastupidavustreeningu maht on väike kuni mõõdukas, on soovitatav keskenduda alakeha lihasejõu ja vertikaalse hüppeimpulsi arendamisele. Seejärel tuleks pöörata tähelepanu omandatud võimekuse kasutamisele äratõukeliikumise tehnilisemaks teostamiseks ning suurendada järk-järgult vastupidavustreeningu mahtu murdmaasuusatamise soorituse parendamiseks peamiselt madala intensiivsusega treeningu arvelt.

VIITED

- Abernethy PJ, Jurimae J, Logan PA, Taylor AW, Thayer RE (1994) Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Med*;17(1):22-38.
- Abernethy PJ, Thayer RE, Taylor AW (1990) Acute and chronic responses of skeletal muscle to endurance and sprint exercise. A review. *Sports Med*;10(6):365-389.
- Andersson E, Supej M, Sandbakk O, Sperlich B, Stoggl T, Holmberg HC (2010) Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system. *Eur J Appl Physiol*;110(3):585-595.
- Angermann M, Hoppeler H, Wittwer M, Dapp C, Howald H, Vogt M (2006) Effect of acute hypoxia on maximal oxygen uptake and maximal performance during leg and upperbody exercise in Nordic combined skiers. *Int J Sports Med*;27(4):301-306
- Arndt A, Bruggemann G-P, Virnavirta M, Komi P (1995) Techniques used by Olympic ski jumpers in the transition from takeoff to early flight. *J Appl Biomech*, 11 (2):224-237.
- Atherton PJ, Babraj J, Smith K, Singh J, Rennie MJ, Wackerhage H (2005) Selective activation of AMPK-PGC-lalpha or PKB-TSC2-mTOR signaling can explain specific adaptive responses to endurance or resistance training-like electrical muscle stimulation. *FASEB J*;19(7):786-788.
- Baar K (2014) Using molecular biology to maximize concurrent training. *Sports Med*; 44- Suppl 2:S117-125.
- Bilodeau B, Rundell KW, Roy B, Boulay MR (1996) Kinematics of cross-country ski racing. *Med Sci Sports Exerc*;28(1):128-138.
- Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I (2007) Effects of tapering on performance: a metaanalysis. *Med Sci Sports Exerc*;39(8):1358-1365.
- Bosl P, Schwirtz A, Rott F, Grossgebauer J (2007) Comparison of lower limbs strength abilities between athletes in ski jumping and nordic combined. *Science and Nordic Skiing*,
- Coffey VG, Hawley JA (2007) The molecular bases of training adaptation. *Sports Med*;37(9):737-763.
- Coffey VG, Hawley JA (2017) Concurrent exercise training: do opposites distract? *J Physiol*;595(9):2883-2896.
- Coffey VG, Shield A, Canny BJ, Carey KA, Cameron-Smith D, Hawley JA (2006) Interaction of contractile activity and training history on mRNA abundance in skeletal muscle from trained athletes. *Am J Physiol Endocrinol Metab*;290(5):E849-855.
- Dudley GA, Djamil R (1985) Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol (1985)*;59(5):1446-1451.

- Ellefsen S, Baar K (2019) Proposed Mechanisms Underlying the Interference Effect. In: Concurrent Aerobic and Strength Training. Springer, pp 89-97
- Esteve-Lanao J, San Juan AF, Earnest CP, Foster C, Lucia A (2005) How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med Sci Sports Exerc*;37(3):496-504.
- Ettema G, Bråten S, Bobbert MF (2005) Dynamics of the in-run in ski jumping: a simulation study. *J Appl Biomech*; 21(3):247-259.
- Ettema G, Hooiveld J, Bråten S, Bobbert M (2016) How do elite ski jumpers handle the dynamic conditions in imitation jumps? *J Sports Sci*;34(11):1081-1087.
- FIS (2018a) International Competition Rules (ICR) Cross-Country, www.fis-ski.com. 2018
- FIS (2018b) International Competition Rules (ICR) Ski Jumping, www.fis-ski.com. 2018
- FIS (2018c) International Ski Federation World Cup Results [Online], www.fis-ski.com. 2018
- Gastin PB (2001) Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*;31(10):725-741.
- Gotaas T (2011) Skisportens vugge (1. ed.). Font Forlag,
- Grasaas E, Hegge AM, Ettema G, Sandbakk Ø (2014) The effects of poling on physiological, kinematic and kinetic responses in roller ski skating. *Eur J Appl Physiol*;114(9):1933-1942.
- Guellich A, Seiler S, Emrich E (2009) Training methods and intensity distribution of young world-class rowers. *Int J Sports Physiol Perform*,4(4):448-460.
- Hawley JA (2002) Adaptations of skeletal muscle to prolonged, intense endurance training. *Clin Exp Pharmacol Physiol*;29(3):218-222.
- Hegge AM, Bucher E, Ettema G, Faude O, Holmberg H, Sandbakk Ø (2015) Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite cross-country skiers during whole-body, upper-body, and arm poling. *Eur J Appl Physiol*;116(2):291- 300.
- Hickson RC (1980) Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*;45(2-3):255-263.
- Holmberg HC (2015) The elite cross-country skier provides unique insights into human exercise physiology. *Scand J Med Sci Sports*;25 Suppl 4:100-109.
- Hopker J, Jobson S, Carter H, Passfield L (2010) Cycling efficiency in trained male and female competitive cyclists. *J Sports Sci Med*;9(2):332-337.
- Janura M, Cabell L, Svoboda Z, Elfmark M (2016) Evaluation of Explosive Power Performance in Ski Jumpers and Nordic Combined Competitive Athletes: A 19-Year Study. *J Strength Cond Res*;30(1):71-80.

- Janura M, Cabell L, Svoboda Z, Elfmark M, Zahalka F (2011) Kinematic Analysis of the TakeOff and Start of the Early Flight Phase on a Large Hill (HS-134 m) during the 2009 Nordic World Ski Championships. *J Hum Kinet*;27:5-16.
- Janura M, Elfmark M, Cabell L, Svoboda Z (2015) Ski-jumpers' performance in a laboratory setting: a 29-year longitudinal study. *J Sport Sci*;33(7):687-695.
- Jones AM, Carter H (2000) The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med*;29(6):373-386.
- Jung A, Staat M, Müller W (2014) Flight style optimization in ski jumping on normal, large, and ski flying hills. *J Biomech*;47(3):716-222.
- Kraemer WJ et al. (1995) Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* (1985);78(3):976-989.
- Laursen PB (2010) Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports*;20 Suppl 2:1-10.
- Lee KD, Park MJ, Kim KY (2012) Optimization of ski jumper's posture considering lift-to-drag ratio and stability. *J Biomech*;45(12):2125-2132.
- Leveritt M, Abernethy PJ, Barry BK, Logan PA (1999) Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Med*. 28(6):413-427
- Millet GY, Hoffman MD, Candau RB, Clifford PS (1998) Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. *Med Sci Sports Exerc*;30 (11):1645-1653.
- Mujika I, Padilla S (2003) Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc*;35(7):1182-U87.
- Müller E, Schwameder H (2003) Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping. *J Sports Sci*;21(9):679-692.
- Müller W (2009) Determinants of ski-jump performance and implications for health, safety and fairness. *Sports Med*;39(2):85-106.
- Müller W, Gröschl W, Müller R, Sudi K (2006) Underweight in ski jumping: The solution of the problem. *Int J Sports Med*;27(11):926-934.
- Nader GA (2006) Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc*;38(11):1965-1970.
- OlyMADMen (2018) Olympic Winter Games [Online], Sports Reference LLC. www.sports-reference.com. 2018
- Peronnet F, Massicotte D (1991) Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci*;16(1):23-29.
- Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H (2001) Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes. *J Sports Med Phys Fitness*;41(3):354-361.

- Rønnestad BR (2013) Seasonal changes in leg strength and vertical jump ability in internationally competing ski jumpers. *Eur J Appl Physiol*;113(7):1833-1838.
- Rønnestad BR, Kojedal O, Losnegard T, Kvamme B, Raastad T (2012) Effect of heavy strength training on muscle thickness, strength, jump performance, and endurance performance in well-trained Nordic Combined athletes. *Eur J Appl Physiol*; 112(6):2341-2352.
- Saltin B, Astrand PO (1967) Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol*,23(3'):353-358.
- Sandbakk Ø (2017) The Evolution of Champion Cross-Country-Skier Training: From Lumberjacks to Professional Athletes. *Int J Sports Physiol Perform*;12(2):254-259.
- Sandbakk Ø, Ettema G, Holmberg HC (2013a) The physiological and biomechanical contributions of poling to roller ski skating. *Eur J Appl Physiol*;113(8):1979-1987.
- Sandbakk Ø, Ettema G, Leirdal S, Jakobsen V, Holmberg HC (2011a) Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance. *Eur J Appl Physiol*;111(6):947-957.
- Sandbakk Ø, Hegge AM, Ettema G (2013b) The role of incline, performance level, and gender on the gross mechanical efficiency of roller ski skating. *Front Physiol*; 4:293.
- Sandbakk Ø, Holmberg HC (2014) A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing. *Int J Sports Physiol Perform*;9(1):117-121.
- 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. *Eur J Appl Physiol*;109(3):473-481.
- Sandbakk Ø, Holmberg HC, Leirdal S, Ettema G (2011b) The physiology of world-class sprint skiers. *Scand J Med Sci Sports*;21(6):e9-16.
- Schmitt L, Willis SJ, Coulmy N, Millet GP (2018) Effects of Different Training Intensity Distributions Between Elite Cross-Country Skiers and Nordic-Combined Athletes During Live High-Train Low. *Front Physiol*; 9:932.
- Scholzer B, Müller W (2002) The importance of being light: aerodynamic forces and weight in ski jumping. *J Biomech*;35(8):1059-1069.
- Schwameder H (2008) Biomechanics research in ski jumping, 1991-2006. *Sports Biomech*;7(1):114-136.
- Schwameder H, Müller E, Raschner C, Brunner F (1997) Aspects of technique-specific strength training in ski-jumping. In: Komexl E, Müller E, Raschner C, Schwameder H (eds) *Science and Skiing*. E & FN Spon, London.
- Seiler KS, Kjerland GØ (2006) Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? *Scand J Med Sci Sports*;16(1):49-56.
- Seiler S (2010) What is Best Practice for Training Intensity and Duration Distribution in Endurance Athletes? *Int J Sports Physiol Perform*;5(3):276-291.

- Solli GS, Tønnessen E, Sandbakk O (2017) The Training Characteristics of the World's Most Successful Female Cross-Country Skier. *Front Physiol*;8:1069.
- Stoggl T, Enqvist J, Müller E, Holmberg HC (2010) Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing. *J Sports Sci*;28(2):161-169.
- Tønnessen E, Haugen TA, Hem E, Leirstein S, Seiler S (2015a) Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: Olympic-medal benchmarks for the time period 1990-2013. *Int J Sports Physiol Perform*;10(7):835-839.
- Tønnessen E, Svendsen IS, Rønnestad BR, Hisdal J, Haugen TA, Seiler S (2015b) The annual training periodization of 8 world champions in orienteering. *Int J Sports Physiol Perform*;10(1):29-38.
- Tønnessen E, Sylta O, Haugen TA, Hem E, Svendsen IS, Seiler S (2014) The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One*;9(7):e101796.
- Virmavirta M, Isolehto J, Komi P, Schwameder H, Pigozzi F, Massazza G (2009) Take-off analysis of the Olympic ski jumping competition (HS-106m). *J Biomech*;42(8):1095-1101.
- Virmavirta M, Komi P (2001) Ski jumping boots limit effective take-off in ski jumping. *J Sports Sci*; 19(12):961-968.
- Vodcar J, Jost B (2017) Reliability and Validity of the Skijumping Technique Factors. Verlag Dr. Kovac, Hamburg
- Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SM, Loenneke JP, Anderson JC (2012) Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J Strength Cond Res*;26(8):2293-2307.

I uuring

I uuring

TEADUSARTIKKEL

Kahevõistluse laboratoorsete võimete ja maailmakarikavõistluste soorituse vaheline seos

Vegard Rasdal¹*, Ronny Fudel², Jan Kocbach¹, Frode Moen^{1,3}, Gertjan Ettema¹, Øyvind Sandbakk¹

1 Centre for Elite Sports Research, Department of Neuromedicine and Movement Science, Faculty of Medicine and Health Science, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norra;
2 Institute of Movement and Training Science in Sports, Faculty of Sport Science, Leipzig University, Leipzig, Saksamaa; 3 Department of Education, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norra

* vegard.rasdal@ntnu.no



VABA LIGIPÄÄS

Osund: Rasdal V., Fudel R., Kocbach J., Moen F., Ettema G., Sandbakk O. (2017). Association between laboratory capacities and world-cup performance in Nordic combined. (Kahevõistluse laboratoorsete võimete ja maailmakarikavõistluste tasemel soorituse vaheline seos) PLoS ONE 12(6): e0180388. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180388>

Toimetaja: Laszlo Csernoch, University of Debrecen, UNGARI

Vastu võetud: 10. märts 2017

Kinnitatud: 14. juuni 2017

Välja antud: 29. juuni 2017

Autoriõigused: © 2017 Rasdal jt. See on vaba juurdepääsuga artikkel, mida levitatakse Creative Commonsi omistamislicentsi tingimuste järgi, mis lubab piiranguteta kasutamist, levitamist ja paljundamist mis tahes kandjal, tingimusel, et on viidatud autorile ja allikale.

Andmete kättesaadavuse avaldus:

Olulised analüüsid ja andmed on käsikirjale lisatud. Kuid me ei saanud toorandmeid lugejale avalikult kättesaadavaks teha, sest see võib kahjustada osalejate konfidentsiaalsust. Norra Andmekaitseameti heakskiidu saamiseks pidime tagama osalejate konfidentsiaalsuse. Kui teha

Kokkuvõte

Taust

Kahevõistlus (NC) on olümpia talispordiala, kus suusahüppevõistlustele (SJ) järgneb vabatehnikas peetav murdmaasuusatamise (XC) jälitussõit.

Eesmärk

Selgitada spordialapõhiste laboratoorsete võimete ning suusahüppe, murdmaasuusatamise ja kahevõistluse üldsoorituse vahelisi seoseid maailmakarikavõistlustel.

Meetodid

Kaksteist kahevõistluse maailmakarikavõistluste sportlast 8 riigist osalesid üks päev enne kahevõistluse maailmakarikavõistlusel osalemist laborikatsetel. Kükkhüpped ja suusahüppe imitatsioonid (IMIT) tehti kolmemõõtmelisel jõuplaadil, aga murdmaasuusatamise põhised füsioloogilised omadused saadi jooksulindil vabatehnikas rullsuusatamise katsetest ja täisjõuga paaristõugete (DP) katsetest. Lõpuks mõõdeti kehakoostist. Laboratoorseid võimeid võrreldi suusahüppe, 10 km murdmaasuusatamise ja kogu maailmakarikavõistluse sooritusega. Et määrata soorituse ennustamiseks sobivaimad laboratoorsed muutujad, kasutati mitmest regressioonanalüüsi.

Tulemused

Suusahüppe soorituse jaoks andsid parima ennustuse imitatsioonihüppe vertikaalkiirus koos kehamassiga ($r^2 = 0,70$, $p < 0,01$), aga murdmaasuusatamise sooritust ennustasid kõige paremini kehamassile taandatud VO_{2peak} ja paaristõugete võimsus ($r^2 = 0,68$, $p < 0,05$). Selles võistluses oli kahevõistluse üldsooritusega kõige olulisemalt korrelatsioonis ainult kehamassile taandatud VO_{2peak} ($r^2 = 0,43$, $p < 0,05$).

toorandmed lugejale avalikult kättesaadavaks, oleks saanud selle uuringu võistlusandmeid FIS-i avalikult kättesaadavate maailmakarikavõistluste tulemustega võrreldes sportlasi lihtsasti nimede järgi tuvastada ja seega rikuks see konfidentsiaalsust. Toorandmetele ligipääsuks saatke oma päring Norra Andmekaitseametile (nsd@nsd.no).

Rahastus: Seda uurimistööd rahastasid Centre for Elite Sports Research (Elitspordi Uuringute Keskus), Department of Neuroscience and Movement Science, Faculty of Medicine and Health, Norwegian University of Science and Technology (Norra Teadus- ja Tehnikaülikooli arstiteaduste ja terviseteaduskonna neuroteaduste ja liikumisteaduse osakond), ning Norwegian Olympic Sports Center (Olympiatoppen) (Norra Olümpiaspordikeskus). Rahastajatel ei olnud uuringu kujundamisele, andmete kogumisele ja analüüsimisele, kirjastamise otsustamisele ega käsikirja ettevalmistamisele mingit mõju.

Konkureerivad huvid: Autorid on deklareerinud, et igasugused konkureerivad huvid puuduvad.

Järeldused

Kahevõistlejate hooajatreeningutel tuleks kaaluda VO_{2peak} väärtuse, ülakeha jõu ja suusahüppepõhise vertikaalse hüppevõime samaaegset arendamist, vähendades samas kehamassi FIS-i kehtestatud KMI piires.

Sissejuhatus

Kahevõistlus (NC) on olümpia traditsiooniline talispordiala, kus suusahüppevõistlustele (SJ) järgneb vabatehnikas peetav 5...15 km murdmaasuusatamise (XC) jälitussõit (standardne võistluspikkus on 10 km). Mõlemad võistlused peetakse samal päeval 1...3-tunnise vahega, kusjuures iga sportlane stardib murdmaasuusatamise võistlusele suusahüppe võitjale kaotatud punktidele vastava ajavahega. Seega peavad kahevõistlejad hästi hakkama saama kahel põhimõtteliselt erineval spordialal: suusahüpetes, mis nõuab hästi arendatud plahvatuslikkust ja hüppetehnikat, ning murdmaasuusatamises, kus põhimäärarajad on aeroobse energia rakendamine ja suusatamise tõhusus [1–4].

Suusahüppe eri faasidest (st hoovõtt, äratõuge, lennufaas, maandumine) loetakse äratõuget sooritusele tähtsaimaks, sest see mõjutab lendamise algset vertikaalkiirust ning suure horisontaalkiiruse säilitamist lennu varajases faasis [1, 2, 5]. Edukate suusahüppajate puhul on hästi tõendatud omadused suur vertikaalne hüppevõime ja väike kehamass [1, 2, 6, 7]. Need omadused eristavad samuti kahevõistlejaid üksnes suusahüppajatest [8, 9]. Kuid senini pole uurimisandmeid kahevõistlejate spordialapõhiste laboratoorsete võimete ja suusahüppe soorituse vaheliste sõltuvuste kohta, kui sportlased arendavad samal ajal oma aeroobset võimekust ja ülakeha võimsust.

Murdmaasuusavõistlusi peetakse vahelduval maastikul ja üle 50% võistlusajast kulub harilikult tõusudele, mis on samuti enim sooritust eristav osa maastikust [3, 10–12]. Seetõttu on murdmaasuusatajatel mõõdetud mõned kõigi aegade kõrgeimad hapnikutarbimise (VO_{2max}) väärtused [3, 13–16]. Tänu suuremale maksimaalsele aeroobsele võimele tajuvad paremad suusatajad ka väiksemat füsioloogilist koormust, suusatavad tõhusamalt ja arendavad submaksimaalsetel kiirustel pikemaid tsükli pikkusi kui madalama tasemega suusatajad [4, 17, 18]. Lisaks on hiljutistes kirjutistes keskendunud rohkem ülakeha võimsuse tähtsusele murdmaasuusatamise sooritusel [17, 19, 20]. Nende tegurite olulisust kahevõistluse sooritusele ei ole uuritud. Kuna kahevõistlejad võivad korvata oma madalamat murdmaasuusatamist parema suusahüppe sooritusega, on nad palju ebaühtlasem vastupidavussportlaste rühm kui murdmaasuusatajad [8].

Selle uuringu eesmärk oli selgitada spordipõhiste laboratoorsete võimete ning suusahüppe, murdmaasuusatamise ja kahevõistluse üldsoorituse vahelisi seoseid kahevõistlejate hulgas. Meie peahüpoteesid olid, et kahevõistluse üldsoorituse põhilised suhtegurid on VO_{2peak} ja suusahüppe imitatsiooni ajal saavutatud vertikaalkiirus, kusjuures murdmaasuusatamise ja suusahüppe soorituse täiendavad suhtegurid olid vastavalt ülakeha võimsus ja kehamass. Uuringu teine eesmärk oli samuti pakkuda võrdlusväärtusi maailmatasemel kahevõistlejate laboratoorsete võimete hindamiseks.

Materjalid ja meetodid

Uuring on saanud Norra Andmekaitseameti heakskiidu. Kõik osalejad allkirjastasid enne katset teadliku nõusoleku ja neid teavitati, et nad võivad selgitusi andmata igal hetkel uuringust loobuda. Uuring korraldati kooskõlas Helsingi deklaratsiooniga.

Osalejad

Uuringus osalesid vabatahtlikult kaksteist kahevõistluse maailmakarikavõistluste sportlast 8 riigist. Osalejate vanus, antropomeetrilised andmed, kehakoostis ning suusahüppe ja murdmaasuusatamise sooritustase ning maailmakarika üldkoht uuringu ajal, lähtudes Rahvusvahelise Suusaliidu (FIS) (www.fis-ski.com) liigitusest, on toodud tabelis 1.

Üldine ülesehitus

Sportlased tegid üks päev enne maailmakarikavõistlust hulga laborikatseid. Tegelikult vertikaalse hüppevõime mõõtmise kükkhüpped (SQJ) ja suusahüppe imitatsioonid (IMIT) tehti kolmemõõtmelisel jõuplaadil, aga murdmaasuusatamise põhised füsioloogilised omadused saadi jooksulindil G2 vabatehnikas rullsuusatamisel submaksimaalse ja tippvõimsusega katsetest, mida on kirjeldatud täpsemalt eelmises uuringus [21]. Lisaks määrati kehakoostis ja tehti ülakeha võimsuse mõõtmiseks paaristõugete (DP) ergomeetril 30-sekundiline täisjõuga paaristõugete katse. Võrreldi laboratoorsete võimete ja valitud antropomeetriliste andmete seost järgneva maailmakarikavõistluse suusahüppe, murdmaasuusatamise ja kogu kahevõistluse sooritusega. Lisaks esitleti FIS-i järjestuse alusel rühma kolme esimese suusahüppaja (SJ_{top3}) ja murdmaasuusataja (XC_{top3}) laboratoorsete võimete ja valitud antropomeetriliste andmete võrdlusväärtuseid. Need kaks sooritusrühma ei kattunud.

Metoodika

Jõudude suuruse ja suuna mõõtmiseks SQJ- ja IMIT-hüpete ajal seati kaks Kistleri jõuplatvormi (Kistler 9286AA, Kistler Instrument Corp, Winterthur, Šveits) järjestikku, et sportlased saaksid toetada päka hüppe ajal ühele platvormile ja kanna teisele platvormile. Kuna suusa ja sportlase vaheline sidemesüsteem ja suusahüppesaapad piiravad talla paindumist (ingl *plantar flexion*) äratõuke ajal, kasutati seda seadmevast, et võimaldada soorituse mõõtmist ajal, kui kogu jalg on IMIT-tõugete ajal jõuplaadi vastas.

Tabel 1. Kaheteistkümne maailmakarika kahevõistleja antropomeetrilised andmed, kehakoostis ja FIS-i edetabeli-/maailmakarikavõistluste koht ning FIS-i kolme parema asetusega murdmaasuusataja (XC_{top3}) ja suusahüppaja (SJ_{top3}) alarühma võrdlusväärtused.

Kõik muutujad on esitatud iga rühma keskmisena \pm SD (vahemik)

| Muutuja | Kõik (n = 12) | XC_{top3} (n = 3) | SJ_{top3} (n = 3) |
|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Vanus (a) | 24,1 \pm 3,7 (18...30) | 27,3 \pm 3,1 (24...30) | 23,7 \pm 2,1 (22...26) |
| Kasv (cm) | 178,4 \pm 6,0 (170...187) | 180,5 \pm 5,41 (174,5...185) | 172,8 \pm 3,82 (169,5...177) |
| Kehamass (kg) | 65,8 \pm 6,3 (56,5...73,1) | 69,2 \pm 4,42 (64,1...72,2) | 59,4 \pm 3,67 (56,5...63,5) |
| Kehamassiindeks (kg·m ⁻²) | 20,6 \pm 0,8 (19,3...22,1) | 21,2 \pm 0,24 (21,1...21,5) | 19,9 \pm 0,36 (19,6...20,3) |
| Rasva mass (kg) | 4,2 \pm 1,2 (2,3...6,7) | 4,9 \pm 1,57 (3,8...6,7) | 3,3 \pm 1,0 (2,3...4,3) |
| Rasva mass (%) | 6,3 \pm 1,5 (4,0...9,3) | 7,0 \pm 1,9 (5,9...9,3) | 5,6 \pm 1,8 (4,0...7,6) |
| Ülakeha LM (kg) | 33,8 \pm 3,3 (27,9...38,3) | 35,0 \pm 2,24 (32,6...37,0) | 30,5 \pm 2,70 (27,9...33,3) |
| Ülakeha LM (%) | 51,4 \pm 1,2 (48,9...52,8) | 50,6 \pm 1,5 (48,9...52,0) | 51,4 \pm 1,7 (49,4...52,4) |
| Alakeha LM (kg) | 19,4 \pm 2,1 (16,4...21,9) | 20,4 \pm 1,77 (18,4...21,8) | 17,7 \pm 1,33 (16,4...19,0) |
| Alakeha LM (%) | 29,5 \pm 0,7 (28,2...30,4) | 29,4 \pm 0,8 (28,7...30,2) | 29,8 \pm 0,7 (29,0...30,4) |
| FIS-i suusahüpete koht ¹ | 6,5 \pm 1,75 (4...9) | 5,0 \pm 1,0 (4...6) | 8,7 \pm 0,58 (8...9) |
| FIS-i murdmaa koht ¹ | 6,9 \pm 2,26 (3...10) | 9,3 \pm 0,58 (9...10) | 6,0 \pm 2,0 (4...8) |
| FIS-i MK üldseis ² | 29,5 \pm 20,3 (2...66) | 15,7 \pm 9,3 (8...26) | 17,3 \pm 15,0 (2...32) |

LM = lihasmass; FIS = Rahvusvaheline Suusaliit

¹ FIS-i koht 1...10 põhineb vastavalt kahevõistluse maailmakarikavõistluste suusahüpete ja murdmaasuusatamise sooritusel, kus 10 on kõrgeim sooritustase.

² FIS-i maailmakarikasarja jooksev edetabel 2013/2014. hooajal enne uuringut. Väiksem number on parem.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180388.t001>

Kõik jooksulindi katsed tehti 5×3 m mootorajamiga jooksulindil (Forcelink B.V., Culemborg, Holland) ja suusatajad kasutasid nende enda suusakeppe ($90 \pm 1\%$ kasvust), kasutades erilisi karbiidteravikke. Kõik katseisikud turvati katse ajaks lakke kinnitatud rakmetega. Rullide veeretakistuste erinevuse vältimiseks kasutasid kõik osalejad sama paari standardratastega (IDT Sports, Lena, Norra) vabatehnika rullsuuski. Enne katseid soojendati rullsuuski 20 minutit jooksulindil rullsuusatamisega ja katsetati nende veeretakistust (F_r) eelkirjeldatud vedamiskatsega [4]. Vabatehnika kinemaatikat mõõdeti seitsme infrapunakaameraga Oqus, mis töötasid sagedusel 250 Hz, ja tarkvaraga Qualisys Track Manager (Qualisys AB, Göteborg, Rootsi), kasutades mõlema suusakepi karbiidteraviku välisküljele asetatud peegeldavat markerit.

Hingamismuutujate mõõtmiseks kasutati avatud ringlusega kaudset kalorimeetrit (Oxycon Pro, Jaeger GmbH, Höchberg, Saksamaa), kasutades eelkirjeldatud kalibreerimisprotseduure [8]. Pulssi mõõdeti pidevalt monitoriga Polar V800 (Polar Electro Oy, Kempele, Soome) ja sünkroniseeriti mõõtesüsteemiga Oxycon Pro. Iga suusataja sõrmeotsast võetud 20 μ l verest mõõdeti laktaadisisaldust analüsaatoriga Biosen C-Line (Biosen, EKF Industrial Electronics, Magdeburg, Saksamaa). Tajutava pingutuse hinnangut (RPE) hinnati Borgi skaala abil [22].

Paaristõuked tehti täiustatud ergomeetril Concept2 SkiErg (Morrisville, VT, USA), nagu on kirjeldatud [19]. Väljundvõimsust ja tsükliagedust mõõdeti pidevalt ergomeetri sisemise tarkvara abil, mis on varasemates uuringutes tõendatud [19, 23].

Kasv määrati kalibreeritud kasvu mõõtjaga (Holtain Ltd, Crosswell, UK). Kehamassi ja kehakoostist mõõdeti mitme sagedusega impedants-pletüsmograafilise kehakoostise analüsaatori abil (InBody 720, Biospace, Korea) ning need tehti ettevõtte testimisjuhiste kohaselt. Osalejad kaaluti ja mõõdeti enne soojenduse ja katsete tegemist aluspesus ja ilma kingadeta.

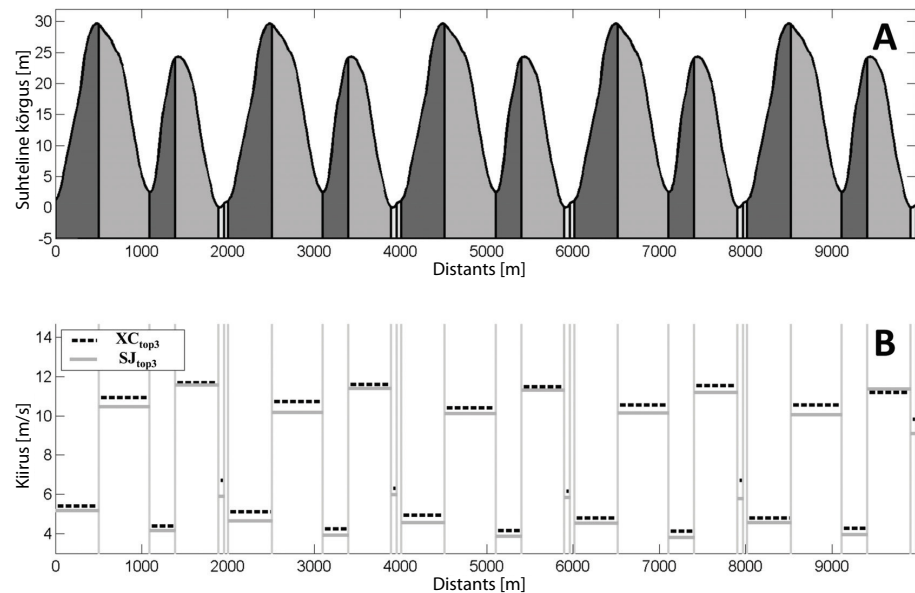
Kehtivad murdmaasuusaraja ja -kõrguse profiilid standardiseeriti Polar V800 GPS-iga, mis kogus asukoha andmeid 1 Hz proovivõtu sagedusega ja sisseehitatud baromeetri abil, mis kogus täpsed kõrguse andmeid. Seejärel jagati rada profiili alusel tõusudeks, lauskmaaks ja laskumisteks, mis moodustasid 2 km ringist vastavalt 40%, 5% ja 55% (vt joonis 1). Eri osad määratleti nii, nagu on kirjeldatud eelnevas uuringus [10].

Murdmaasuusavõistluse ajal kandsid kõik osalejad spordikella Polar V800, mis salvestas 1 Hz proovivõtu sagedusega nende asukoha. Kõik GPS-kellad lülitati sisse hiljemalt 30 minutit enne võistluse algust, et tagada õige GPS-i kinnitus ja GPS-andmete vähene ebatäpsus.

Katseprotokollid ja mõõtmised

Kükkhüpped ja suusahüppe imitatsioon. Tehti kaks kükk- ja neli imitatsioonhüpet sportlaste isiklike hüppesaabastega, mille päkaosa ja kannaoosa olid jõuplaadidel standardiseeritud asendis. Kõik hüpped tehti suurima pingutusega ja 2...5-minutilise puhkeajaga iga hüppe vahel. Sportlased said iga hüppe punkte 0...10 skaalal, kus 10 punkti esindasid täiuslikult teostatud hüpet. Edasiseks analüüsiks kasutati parima hindega hüpet. Kükkhüppe sooritati paiksest kukkasendist, kusjuures käed asetsevad kogu hüppe ajal niudeluuharjal (ingl *iliac crest*), nagu on kirjeldatud eelnevas uuringus [24]. Imitatsioonhüppe teostati sportlase isiklikult valitud suusahüppeasendist ja pärast selle asendi säilitamist vähemalt ühe sekundi jooksul püüdsid sportlased suurendada oma vertikaalset tõusu, kuid saavutada samal ajal piisav kallutusmoment, et lõpetada lennufaasis oma treeneri kätele püütuna, nagu on kirjeldatud eelmises uuringus [8].

Kontsentiline äratõukefaas määratleti kui ülesliikumise ajavahemik. Selle faasi kestel määratleti massikeskme vertikaalkiirus kiirenduse integratsiooni aja jooksul, mis arvutati vertikaalsete aluspinna reaktsioonijõudude jagamisel kehamassiga. Imitatsioonhüppe jaoks arvutati vertikaalkiirus kannal jõuplaadilt eemaldumise hetkel ($V_{v, \text{BIMIT}}$), aga ka suurim saavutatud vertikaalkiirus ($V_{v, \text{IMIT}}$), samas kui kükkhüppe puhul kasutati ainult suurimat saavutatud vertikaalkiirust ($V_{v, \text{SQ}}$). Massikeskme asukoht saadi ka kiirenduse integreerimise teel, nii horisontaalse kui ka vertikaalse. Aluspinna reaktsioonijõud ja massikeskme asukoht võimaldasid arvutada imitatsioonhüppe nurkmomendi, mis määrati nii kannal eemaldumise hetkel (L_{BIMIT}) kui ka suurima saavutatud vertikaalkiiruse hetkel (L_{IMIT}).



Joonis 1. 10 km võistlusraja profiil koos iga osa keskmiste kiirustega. Ülemisel graafikul (A) on esitatud 10 km murdmaasuusaraja profiil suhtelise kõrgusega nullkõrguse (start) suhtes koos eri tooni halli värvusega tõusude, lauskmaa ja laskumiste lõikudega. Alumisel graafikul (B) on esitatud (m/s) kolme parima murdmaasuusataja (XC_{top3} mustade punktiirjoontega) ja kolme parima suusahüppaja (SJ_{top3} hallide pidevjoontega) keskmine kiirus nimetatud lõikudes

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180388.g001>

Submaksimaalne rullsuusatamise katse. Kõik sportlased suusatasid jooksulindiga tutvumiseks kümme minutit, millele järgnes üks viieminutiline suurima võimsusega suusatamine 12% tõusuga ja 7 km/h kiirusega, et võrrelda füsioloogilist tagasisidet ja üldtõhusust. Gaasivahetus ja pulss määrati viimase minuti keskmisena ning vahetult pärast lõpetamist mõõdeti laktaadi kontsentratsioon veres. Väljundvõimsus arvutati võimsuse summana gravitatsiooni ja hõõrdejõu suhtes, nagu on eespool kirjeldatud [8]. Ainevahetuse kiirus arvutati VO_2 ja VCO_2 põhjal VO_2 ja hapniku energeetilise ekvivalendi korrutisena, kasutades seotud respiratoorse hapnikuvahetuse ja standardkonversiooni tabeleid [25]. Seejärel arvutati üldtõhusus kui väljundvõimsus jagamisel ainevahetuse kiirusega ja esitati protsentides.

Täisvõimsusega rullsuusatamise katse. Hapnikutarbimise VO_{2peak} katse 12% tõusul algiirusega 8 km/h, mida suurendati iga minuti järel 1 km/h võrra kuni kurnatuseni, ja tippkiirusena kasutati suurimat kiirust, mida hoiti vähemalt 30 sekundit. Hapnikutarbimist VO_2 mõõdeti pidevalt ning VO_{2peak} määrati kolme järjestikuse 10-sekundilise suurima mõõtetulemuse keskmisena ja varem määratletud suurima pingutuse saavutamise mөөdiku alusel [8]. Treeningujärgset vere laktaadisisaldust mõõdeti üks ja kolm minutit pärast katset ning analüüsiks kasutati suurimat väärtust.

Vabatehnika kinemaatika mөөtmised. Vabatehnika kinemaatilised andmed koguti viieminutilise submaksimaalsest ja suurimast töökoormusest, mille läbisid kõik sportlased astmelise suurendamise katse ajal, kasutades infrapunakaameraid Oqus ja mõlemal suusakepil asuvaid peegeldavaid markereid. Tsükli pikkus määrati tsükli kestuse korrutamise järel jooksulindi kiirusega, aga tsükliagedus arvutati tsükli kestuse pöördväärtusena. Kinemaatilised muutujad koguti ja leiti nende keskmised iga sportlase üle 10 järjestikuse tsükli alusel, kasutades eespool toodud selgitusi [8].

Täisjõuga paaristõugete katse. Sportlased paigutati seinale kinnitatud ergomeetrist Concept2 standardkaugusele ja katse teostati treeningjalatseid kasutades. 30-sekundiline katse algas sportlase esimese tõmbe tegemisel. Kõiki sportlasi juhendati, et nad tõmbaksid kogu 30-sekundilise katse kestel täispingutusega.

Võistlustulemused. Ametlikud võistlustulemused koguti FIS-i veebisaidilt (www.fis-ski.com). Võistlusel hüpati suusahüppemäel suurusega K-124 m, kus iga üle või alla 124 m hüpatud meeter korrutati 1,5 punktiga ja vastavalt liideti 60 punktile või lahutati sellest. Suusahüppevõistluse punktide koguarv on distantsi punktide, tuuleolude ja stardivärava hüvituspunktide ning kohtunike stiilipunktide summa. Suusahüppe sooritus määratleti pikkusepunktide ja värava/tuule hüvituspunktide summana, millega kõrvaldati kohtunike stiilipunktid, et võimaldada paremat võrdlemist laborikatsetega. Murdmaasuusatamise sooritusena määratleti kui 10 km võistluse läbimisaeg, aga kahevõistluse üldsooritusena määratleti maailmakarikavõistluse üldkoht.

Suusahüppevõistluse ajal oli ilm osaliselt pilvine, 68% õhuniiskusega, õhu- ja lumetemperatuur vastavalt 2,3 °C ja 6,5 °C ning tuuleolud 0,84 m/s pärituul kuni 0,39 m/s vastutuul. Võistluste keskmiste tuuleoludena puhus 0,23 m/s pärituul. Murdmaasuusavõistluse õhu- ja lumetemperatuur olid vastavalt 1,8 °C ja -2,1 °C koos kõvade lumeoludega.

Statistilised analüüsid

Kõiki andmeid analüüsiti normaaljaotuse seisukohast, kasutades nii Shapiro-Wilki testi kui ka visuaalset vaatlust, ning esitleti kui keskmine \pm SD (vahemik). Samuti tehti laboratoorse ja välisoorituse vahelise korrelatsiooni analüüs kasutades parameetrilist Pearsoni korrelatsioonikordajat r või mitteparameetrilist Spearmani kordajat ρ . Suusahüppe, murdmaasuusatamise ja kahevõistluse üldsoorituse ennustamiseks rakendati mitmest regressioonanalüüsi, kasutades plokkidega 1–2 sõltumatute muutujate sisestusmeetodit. Statistilise olulisuse tasemena kasutati alfa väärtust 0,05. Kõik statistilised analüüsid tehti Windowsiga ühilduva tarkvara SPSS 24.0 (SPSS Inc, Chicago, IL) abil. Uuringus osalenud 12 kõrgtasemel sportlase hulgas suusahüppe ja murdmaasuusatamise võrdlusväärtuste esitamiseks on kirjeldavalt esitatud iga sooritusrühma paremusjärjestuse 3 parimat sportlast.

Tulemused

Kehakoostis ja laboratoorsed võimed

Kõikide sportlaste ja kahe sooritusrühma antropomeetrilised andmed ja kehakoostis on esitatud [tabelis 1](#), aga suusahüppe ja murdmaasuusatamise spordialapõhised laboratoorsed võimed on esitatud tabelites [2](#) ja [3](#).

Võistlustulemused

Kõikide sportlaste ja kahe sooritusrühma võistlustulemused on esitatud [tabelis 4](#). Kõik 6 SJ_{top3} ja XC_{top3} rühma sportlast lõpetasid sellesse uuringusse värvatud 7 parema sportlase hulgas. Kuigi nende murdmaasuusatamise ja suusahüppe sooritused olid märkimisväärselt erinevad, olid kahevõistluse keskmine üldkoht ja ajaerinevus võitjaga peaaegu samasugused.

Korrelatsioon ja regressioonanalüüs

Laboratoorsete muutujate ning murdmaasuusatamise, suusahüpete ja kahevõistluse üldsoorituse korrelatsioonid on loetletud [tabelis 5](#), aga kõige kesksemad seosed on esitatud [joonisel 2](#). Teatud lõikudes oli tõusul kulunud aeg olulises korrelatsioonis kehamassile taandatud hapnikutarbimisega VO_{2peak} ($r = -0,633$, $p = 0,027$).

Mitmesuguste laboratoorse võimete ja antropomeetriliste näitajate regressioonianalüüsid sõltumatute muutujatena andsid järgmised kolm võrrandit vastavalt SJ (I), XC (II) ja üldise NC (III) soorituse parimateks ennustusteks.

$$\text{SJ sooritus} = 8,51 + 35,90 \cdot V_{V_{\text{IMIT}}} \text{ (m/s)} - 0,58 \cdot \text{kehamass (kg)} \quad (\text{I})$$

$(F_{2,9} = 10,41, p < 0,01)$

Kõik valemis (I) hõlmatud tegurid toetasid oluliselt mudelit I (kõik $p < 0,05$), mis selgitas 70% suusahüppe (SJ) soorituse dispersioonist.

$$\text{XC sooritus} = 40,29 - 0,12 \cdot \text{VO}_{2\text{peak}} \text{ (ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) - 0,64 \cdot \text{DP võimsus (W} \cdot \text{UBLM}^{-1}) \quad (\text{II})$$

$(F_{2,8} = 8,63, p = 0,01)$

$\text{VO}_{2\text{peak}}$ toetas oluliselt mudelit II ($p < 0,05$), sama paaristõugete (DP) võimsus näitas tendentsi ($p = 0,07$). Mudel II selgitas 68% murdmaasuusatamise (XC) soorituse dispersioonist.

$$\text{Üldine sooritus} = 156,45 - 1,75 \cdot \text{VO}_{2\text{peak}} \text{ (ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (\text{III})$$

$(F_{1,10} = 7,47, p = 0,02)$

Mudel III selgitas 43% üldsoorituse dispersioonist.

Arutelu

Selles uuringus vaadeldi kahevõistluse spordialapõhiste laboratoorsete võimete ja maailmakarikavõistluste soorituse vahelisi seoseid sportlastel, kes ühildavad oma väljaarendatud plahvatuslikkuse ja suusahüppetehnika aeroobse energiakasutusvõime ja murdmaasuusatamise tõhususega. Põhijäreldused olid järgmised: 1) suusahüppe sooritust ennustasid kõige paremini imitatsioonhüppel ($V_{V_{\text{IMIT}}}$) saavutatud vertikaalkiirus ja kehamass; 2) murdmaasuusatamise sooritust ennustasid kõige paremini kehamassile taandatud $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ja paaristõugete (DP) võimsus; 3) kahevõistluse üldsooritus oli olulises korrelatsioonis üksnes kehamassile taandatud $\text{VO}_{2\text{peak}}$ väärtusega. Lisaks kinnitavad kahevõistlejate hulgast parimate tulemustega suusahüppajatele ja murdmaasuusatajatele antud võrdlusväärtused nende tegurite tähtsust vastavate võistlusalade jaoks.

Tabel 2. Kahevõistluse maailmakarikavõistluste 12 sportlase ja FIS-i esikolmiku murdmaasuusatajate (XC_{top3}) ja suusahüppajate (SJ_{top3}) alarühmade spordialapõhised võimed, mis põhinevad 3D-jõuplaadil tehtud kükkhüppel (SQJ) ja suusahüppe imitatsioonhüppel (IMIT). Kõik muutujad on esitatud iga rühma keskmisena \pm SD (vahemik)

| Muutuja | Kõik (n = 12) | XC_{top3} (n = 3) | SJ_{top3} (n = 3) |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $V_{V_{\text{SQJ}}}$ (m/s) | 2,73 \pm 0,11 (2,60...2,92) | 2,70 \pm 0,05 (2,66...2,75) | 2,84 \pm 0,13 (2,69...2,92) |
| $A_{\text{eg}_{\text{IMIT}}}$ (s) | 0,41 \pm 0,04 (0,30...0,46) | 0,44 \pm 0,03 (0,41...0,46) | 0,36 \pm 0,05 (0,30...0,39) |
| $V_{V_{\text{IMIT}}}$ (m/s) | 2,41 \pm 0,16 (2,11...2,67) | 2,25 \pm 0,15 (2,11...2,40) | 2,54 \pm 0,13 (2,40...2,66) |
| $V_{V_{\text{B}_{\text{IMIT}}}}$ (m/s) | 1,84 \pm 0,63 (0,00...2,39) | 1,97 \pm 0,22 (1,72...2,14) | 2,15 \pm 0,33 (1,77...2,39) |
| L_{IMIT} (N-m-s) | 14,3 \pm 4,1 (8,7...23,3) | 15,2 \pm 7,4 (8,7...23,3) | 15,7 \pm 2,2 (13,3...17,5) |
| $L_{\text{B}_{\text{IMIT}}}$ (N-m-s) | 12,0 \pm 6,5 (-3,0...22,6) | 14,3 \pm 7,9 (6,8...22,6) | 14,6 \pm 2,1 (12,3...16,5) |

$V_{V_{\text{SQJ}}}$ = kükkhüppel suusataja saavutatud suurim vertikaalkiirus; $a_{\text{eg}_{\text{IMIT}}}$ = imitatsioonhüppe äratõuke kestus; $V_{V_{\text{IMIT}}}$ = imitatsioonhüppel suusataja saavutatud suurim vertikaalkiirus; $V_{V_{\text{B}_{\text{IMIT}}}}$ = imitatsioonhüppel kandade eraldumise hetke vertikaalkiirus; L_{IMIT} = imitatsioonhüppel suurima vertikaalkiiruse saavutamise hetke kallutusmoment; $L_{\text{B}_{\text{IMIT}}}$ = imitatsioonhüppel kandade eraldumise hetke kallutusmoment.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180388.t002>

Tabel 3. Kahevõistluse maailmakarikavõistluste 12 sportlase ja FIS-i edetabeli 3 parima murdmaasuusataja (XC_{top3}) ja suusahüppaja (SJ_{top3}) alarühma 30-sekundilise täisjõuga paaristõuete soorituse füsioloogiliste reaktsioonide, üldtõhususe ja tsükli omaduste mõõdetulemused 12% tõusul submaksimaalsel vabatehnikas rullsuusatamisel (st 7 km/h) ja intensiivsuse astmelisel suurendamisel kuni kurnatuseni (st 12 km/h ja tippkiirus). Kõik muutujad on esitatud iga rühma keskmisena ± SD (vahemik)

| Muutuja | Kõik (n = 12) | XC _{top3} (n = 3) | SJ _{top3} (n = 3) |
|---|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 7 km/h | | | |
| VO ₂ (ml/kg/min) | 50,0 ± 1,8 (47,5...53,7) | 48,9 ± 1,0 (47,8...49,7) | 49,0 ± 1,6 (57,5...50,6) |
| VO ₂ (l/min) | 3,29 ± 0,31 (2,68...3,73) | 3,38 ± 0,20 (3,16...3,54) | 2,91 ± 0,27 (2,68...3,21) |
| VO ₂ %-des VO _{2peak} -st | 68,2 ± 4,2 (61,5...75,4) | 63,9 ± 2,4 (62...66) | 67,2 ± 3,1 (65...71) |
| HR %-des HR _{peak} -st | 80,9 ± 5,2 (72...90) | 77,0 ± 5,0 (72...81) | 80,8 ± 4,5 (76...85) |
| RER | 0,90 ± 0,05 (0,82...0,98) | 0,89 ± 0,03 (0,86...0,92) | 0,93 ± 0,04 (0,89...0,97) |
| BLa (mmol·l ⁻¹) | 2,5 ± 0,6 (1,6...3,4) | 2,1 ± 0,1 (2,0...2,2) | 2,6 ± 0,3 (2,2...2,8) |
| GE (%) | 16,2 ± 0,5 (15,4...16,9) | 16,6 ± 0,3 (16,3...16,8) | 16,4 ± 0,5 (16,0...16,9) |
| RPE (6...20) | 11,9 ± 1,38 (10...14) | 13,0 ± 0,0 (13) | 11,3 ± 1,5 (10...13) |
| Tsükli pikkus (m) | 2,79 ± 0,18 (2,51...3,04) | 2,88 ± 0,14 (2,76...3,04) | 2,72 ± 0,18 (2,55...2,91) |
| Tsükli sagedus (Hz) | 0,70 ± 0,05 (0,64...0,77) | 0,68 ± 0,04 (0,64...0,71) | 0,72 ± 0,05 (0,67...0,76) |
| 12 ^a km/h | | | |
| Tsükli pikkus (m) | 3,96 ± 0,37 (3,0...4,3) | 3,99 ± 0,12 (3,87...4,11) | 3,92 ± 0,35 (3,60...4,29) |
| Tsükli sagedus (Hz) | 0,85 ± 0,09 (0,77...1,10) | 0,84 ± 0,03 (0,81...0,86) | 0,85 ± 0,07 (0,78...0,93) |
| Tippkiirus | | | |
| Tippkiirus (km/h) | 12,9 ± 0,5 (12...14) | 13,3 ± 0,6 (13...14) | 13,0 ± 0,0 (13) |
| VO _{2peak} (ml/kg/min) | 73,5 ± 4,3 (66,9...80,8) | 76,6 ± 4,4 (72,1...80,8) | 73,0 ± 1,5 (71,5...74,5) |
| VO _{2peak} (l/min) | 4,83 ± 0,50 (4,12...5,75) | 5,30 ± 0,42 (4,94...5,75) | 4,33 ± 0,21 (4,12...4,54) |
| Suurim RER | 1,17 ± 0,06 (1,03...1,25) | 1,18 ± 0,00 (1,18) | 1,18 ± 0,05 (1,15...1,23) |
| Suurim VE (l/min) | 157,0 ± 11,6 (133...172) | 157,3 ± 5,1 (153...163) | 155,3 ± 13,6 (140...166) |
| Suurim bLa (mmol/l) | 13,1 ± 1,6 (10,2...15,2) | 13,9 ± 0,8 (13,4...14,8) | 12,9 ± 0,7 (12,3...13,7) |
| 30 s täisjõuga paaristõuked | | | |
| Keskmine väljundvõimsus | | | |
| (W) | 323 ± 46 (233...379) | 344 ± 39 (316...371) | 285 ± 55 (233...343) |
| (W/kg) | 4,9 ± 0,4 (4,1...5,6) | 5,1 ± 0,2 (4,9...5,2) | 4,8 ± 0,6 (4,1...5,4) |
| (W/LM) | 5,3 ± 0,4 (4,5...6,0) | 5,4 ± 0,2 (5,2...5,5) | 5,1 ± 0,6 (4,5...5,7) |
| (W/UB LM) | 9,6 ± 0,7 (8,4...10,7) | 9,9 ± 0,2 (9,7...10,0) | 9,3 ± 1,0 (8,4...10,3) |
| Keskmine tsükli sagedus (Hz) | 1,38 ± 0,15 (1,18...1,63) | 1,33 ± 0,07 (1,28...1,38) | 1,59 ± 0,06 (1,52...1,63) |

VO₂ = hapnikutarbimine; HR = pulss; RER = respiratoorne hapnikuvahetus; BLa = vere laktaadisaldus; GE = üldtõhusus; RPE = tajutav pingutuse hinnang; VO_{2peak} = astmelise katse maksimaalne hapnikutarbimine kuni kurnatuseni; VE = hingamise minutimaht.

^a 12 km/h oli kõigi astmelise katse lõpetanud 12 sportlase suurim kiirus.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180388.t003>

Suusahüppe sooritus oli olulises korrelatsioonis imitatsioonihüppe vertikaalkiirusega Vv_{IMIT} ja äratõukeajaga aeg_{IMIT} aga suusahüppe soorituse ennustamiseks sobis kõige paremini Vv_{IMIT} koos kehamassiga. Need leiud on kooskõlas edukate suusahüppajate puhul tõestatud sooritusomadustega, kus eduka äratõuke jaoks on vajalik võime saavutada suurim vertikaalkiirus väga lühikese ajaga (< 0,35 s) [2, 5].

See on esimene uuring näitamaks, et kahevõistluse suusahüpete sooritus on seotud samade muutujatega nagu suusahüppajatel, sest neil seisavad ees samad keerukad katsumused. Suusahüppemäel äratõukeks kasutatava ajahetke tabamine võib olla kahevõistlejate jaoks suusahüppajatest raskemini hallatav, sest kahevõistlejad kulutavad kaks kolmandikku iga-

Tabel 4. Kaheteistkümne maailmakarika kahevõistleja (n = 12) ning FIS-i kolme parima murdmaasuusa (XC_{top3}) ja suusahüppe (SJ_{top3}) alarühma sportlase suusahüppe (SJ), murdmaasuusatamise (XC) ja kahevõistluste üldtulemus koos kogu XC võistlusajast tõusu-, lausmaa- ja laskumislõikudel kulutatud ajaga protsentides. Kõik muutujad on esitatud iga rühma keskmisena ± SD (vahemik)

| Muutuja | Kõik (n = 12) | XC _{top3} (n = 3) | SJ _{top3} (n = 3) |
|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| SJ tulemus | | | |
| Punktid | 57,2 ± 8,3 (46,7...70,0) | 49,2 ± 1,37 (48,0...50,7) | 67,4 ± 2,4 (65,3...70,0) |
| Koht | 29,5 ± 13,9 (5...45) | 41,7 ± 2,5 (39...44) | 11,3 ± 6,5 (5...18) |
| XC tulemus | | | |
| Minutites | 25,00 ± 1,07 (23,55...27,08) | 23,81 ± 0,30 (23,55...24,13) | 25,24 ± 0,61 (24,57...25,77) |
| Tõusude % | 60,8 ± 0,9 (59,5...62,2) | 60,1 ± 0,6 (59,5...60,6) | 60,8 ± 0,7 (59,9...61,3) |
| Lausmaa % | 4,1 ± 0,2 (3,9...4,4) | 4,1 ± 0,1 (3,9...4,2) | 4,3 ± 0,2 (4,1...4,4) |
| Laskumiste % | 33,8 ± 0,8 (32,6...35,2) | 34,6 ± 0,6 (34,0...35,2) | 33,5 ± 0,3 (33,3...33,8) |
| Koht | 23,0 ± 16,7 (1...45) | 3,3 ± 3,2 (1...7) | 28,0 ± 13,5 (13...39) |
| Üldtulemus | | | |
| Minutites | 26,39 ± 0,94 (24,96...28,54) | 25,82 ± 0,20 (25,62...26,01) | 25,74 ± 0,68 (24,96...26,20) |
| Koht | 28,0 ± 11,5 (7...45) | 19,7 ± 5,5 (14...25) | 20,0 ± 11,3 (7...27) |

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180388.t004>

aastasest treeningajast vastupidavustreeningule [8, 24]. See mitte üksnes ei jäta suusahüppe võimsuse ja eritreeningu jaoks vähem aega kui suusahüppajatel, vaid vastupidavustreening võib samuti lihasejõudu ja võimsust vähendada [26, 27]. See võib osaliselt selgitada näitajate $V_{V_{IMIT}}$ või aeg_{IMIT} korraldatiooni murdmaasuusatamise sooritusega. Lisaks näitab $V_{V_{SQJ}}$ ja suusahüppe soorituse vahelise seose puudumine, et tehniliselt keerukal imitatsioonihüppel saavutatud suurimal vertikaalkiirusel on suusahüppe sooritusele suurem tähtsus kui kükkihüppel (SQJ) saavutatud puhtal vertikaalsel hüppevõimel.

Kuigi kehamass ja $V_{V_{IMIT}}$ ennustasid suusahüppe sooritust kõige paremini, ei olnud kehamass ega KMI kumbki suusahüppe sooritusega olulises korrelatsioonis. Selle seose puudumine võib tuleneda kehamassi kahepidisest mõjust suusahüppe sooritusele. Kuigi väiksem kehamass vähendab gravitatsiooni mõju lennufaasis ja seega toetab paremat sooritust, vähendab see ka gravitatsiooni mõju hoovõtukiirusele ja äratõuke horisontaalimpulsile [5]. Simulatsiooniuuringutes on siiski leitud, et väikesel kehamassil on üldine positiivne mõju suusahüppe sooritusele [5, 28] ning lisaks on kasulik äratõuke vertikaalkiiruse suurendamisele. Üldine hinnang on seega, et väike kehamass on suusahüppe sooritust parendav mõjur. See on samuti kooskõlas leidudega, et väike kehamass on edukate suusahüppajate hulgas sooritust toetav omadus [8, 9].

Nagu eeldati, ennustasid murdmaasuusatamise sooritust kõige paremini kehamassile taandatud VO_{2peak} ja paaristõugete võimsus. Suure aeroobse võimekuse tähtsust on hästi tõestatud mitmel vastupidavusalal [3, 16], sh murdmaasuusatamises, kuid see on esimene uuring, millega kinnitatakse seost eliitkahevõistlejate võistlussooritusega. Ülakeha võimsuse tähtsust murdmaasuusatamise sooritusele on korduvalt näidatud hiljutistes murdmaasuusatamise teemal tehtud uuringutes [17, 20, 23, 29, 30]. Seetõttu polnud üllatav, et paaristõugete võimsus oli olulises korrelatsioonis murdmaasuusatamise sooritusega. Meie uuringu puhul ilmnes tugevaim korrelatsioon võimsuse jagamisel ülakeha lihasmassile. See oli eriti huvitav kahevõistlejate jaoks, sest suusahüppe soorituse optimeerimiseks peab ülakeha võimsus olema tasakaalus väikese kehamassiga.

Erinevalt eliitmurdmaasuusatajate seas kindlaks tehtud sooritusomadustest [3, 4, 17] ei ole siin leitud korrelatsiooni submaksimaalse võimsuse kogutõhususe ega tsükli pikkuse vahel murdmaasuusatamise sooritusega. Selles uuringus leitud kehamassile taandatud VO_{2peak} suur variatsioon vahemikus 66,9...80,8 ml/kg/min võib näidata, et üldtõhusus on eliitkahevõistlejate

Tabel 5. Kaheteistkümne maailmakarika kahevõistleja välisoorituse ja laboratoorsete võimete vahelised Pearsoni r või Spearmani ρ korrelatsioonid

| | XC sooritus (aeg) | SJ sooritus (punktid) | Üldsooritus (koht) |
|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| Välisooritus (n = 12) | | | |
| Tõusude aeg | 0,980[#] (p < 0,001) | | |
| Laskumiste aeg | 0,847[#] (p < 0,001) | | |
| Lauskmata aeg | 0,774[#] (p < 0,001) | | |
| XC sooritus | | 0,565 (p = 0,055) | 0,757[#] (p = 0,004) |
| SJ sooritus | 0,565 (p = 0,055) | | -0,013 (p = 0,967) |
| SJ hoovõtkiirus (km/h) | | 0,200 (p = 0,533) | 0,064 (p = 0,844) |
| SJ erimuutujad (n = 12) | | | |
| Kehamass (kg) | -0,119 ^a (p = 0,712) | -0,511 ^a (p = 0,089) | 0,270 ^a (p = 0,397) |
| Kehamassiindeks (kg·m ⁻²) | -0,481 (p = 0,113) | -0,426 (p = 0,168) | -0,052 (p = 0,872) |
| V _{V_{SQJ}} (m/s) | 0,237 (p = 0,458) | 0,528 (p = 0,078) | 0,042 (p = 0,897) |
| Aeg _{IMIT} (s) | -0,605^{**} (p = 0,037) | -0,763^{**} (p = 0,004) | -0,186 (p = 0,562) |
| V _{V_{IMIT}} (m/s) | 0,525 (p = 0,080) | 0,711[*] (p = 0,010) | 0,238 (p = 0,456) |
| V _{V_{IMIT}} (m/s) | 0,224 ^a (p = 0,484) | 0,329 ^a (p = 0,297) | -0,035 ^a (p = 0,914) |
| XC erimuutujad (n = 12) | | | |
| VO _{2peak} (l/min) | -0,511 (p = 0,090) | -0,519 (p = 0,084) | -0,164 (p = 0,611) |
| VO _{2peak} (ml/kg/min) | -0,619[*] (p = 0,032) | -0,192 (p = 0,550) | -0,654[*] (p = 0,021) |
| DP võimsus (W) | -0,389 (p = 0,237) | -0,563 (p = 0,072) | 0,074 (p = 0,829) |
| DP võimsus (W/kg) | -0,608[*] (p = 0,047) | -0,548 (p = 0,081) | -0,243 (p = 0,472) |
| DP võimsus (W/LM) | -0,607[*] (p = 0,048) | -0,617[*] (p = 0,043) | -0,178 (p = 0,602) |
| DP võimsus (W/UB LM) | -0,671[*] (p = 0,024) | -0,568 (p = 0,069) | -0,253 (p = 0,452) |
| GE 7 km/h (%) | -0,315 (p = 0,319) | -0,081 (p = 0,802) | -0,305 (p = 0,335) |
| CL 7 km/h (m) | -0,194 (p = 0,545) | -0,427 (p = 0,167) | -0,008 (p = 0,980) |
| CL 12 km/h (m) | -0,084 ^a (p = 0,795) | -0,266 ^a (p = 0,404) | 0,350 ^a (p = 0,265) |

XC = murdmaa; SJ = suusahüpe; V_{V_{SQJ}} = kükkhüppel suusataja saavutatud suurim vertikaalkiirus; aeg_{IMIT} = imitatsioonhüppe äratõuke kestus; V_{V_{IMIT}} = imitatsioonhüppel suusataja saavutatud suurim vertikaalkiirus; V_{V_{IMIT}} = imitatsioonhüppel kandade eraldumise hetke vertikaalkiirus; VO_{2peak} = suurim hapnikutarbimine astmeliselt kuni kurnatuseni; DP = paaristõuked; UB = ülakeha; LM = lihassmass; GE = üldtõhusus; CL = tsüklipikkus.

^a Spearmani ρ korrelatsioon

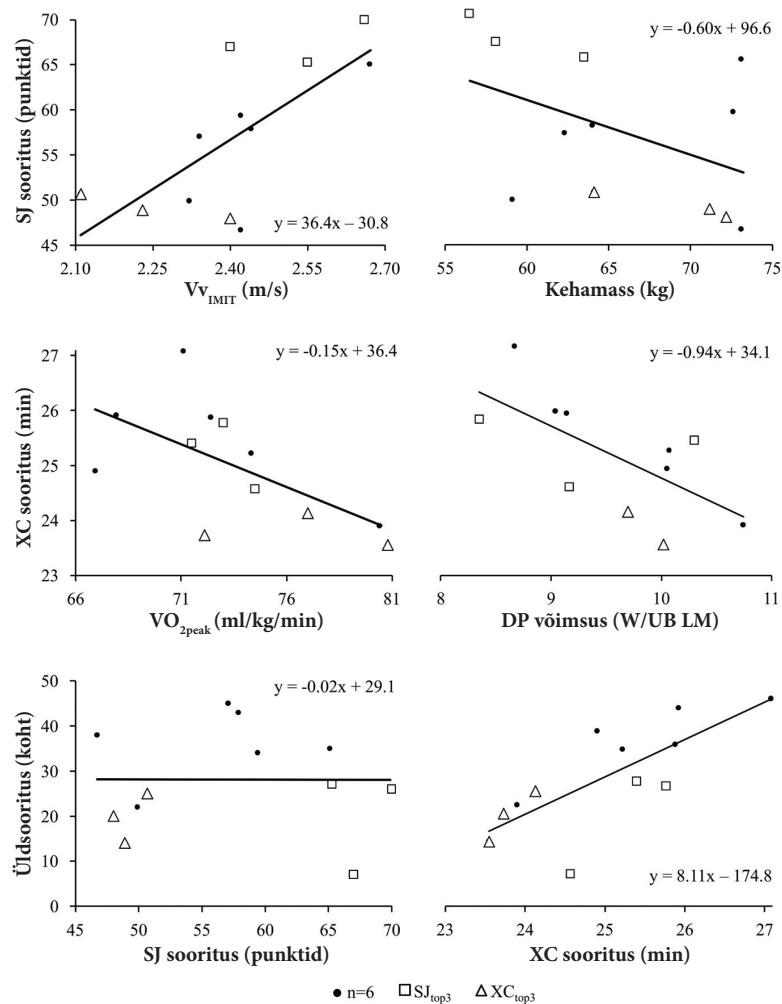
* p < 0,05

[#] p < 0,01

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180388.t005>

murdmaasuusatamise soorituse jaoks vähem tähtis kui ühtlasema VO_{2peak} tasemetega murdmaasuusatajate hulgas. Samuti võib tsüklipikkuse ja murdmaasuusatamise soorituse vahelise seose puudumine olla seotud uuringurühma heterogeensusega; näiteks jalgrattasõidu puhul on leitud, et lihaskiudude tüübi erinevus võib mõjutada energaetiliselt optimaalset kadentsi [31]. Kuna meil ei ole nende sportlaste lihaste biopsia andmeid, tuleks seda käsitleda tulevastes uuringutes.

Kuna sportlaste võimeid katsetati laboritingimustes, on mõned tingimused selgelt erinevad väljas lumel mõõdetud sooritusolukordadest. Näiteks suusahüppe hüppevõimet mõõdeti äratõukefaasis täielike hõõrdejõududega, siis tegelik suusahüpe teostati jäisel rajal libisemisel peaaegu ilma hõõrdejõududega. Seega võimaldas laborikatse rakendada suusatajal liikumisstrateegiat, mis ei ole suusahüppemäel äratõukel täielikult võimalik [32]. XC rullsuusakatse rullsuusad olid suuskadest lühemad ning ratastel on erinev veeretakistus ja äratõukemehaanika. See võib võimaldada lumel suusatamisest veidi erisugust tehnilist strateegiat, mis võib mõjutada eriti üldtõhususe mõõtetulemusi.



Joonis 2. Kahevõistluse maailmakarikasarja 12 sportlase suusahüppe (SJ) ja murdmaasuusatamise (XC) soorituse seos spordialapõhiste võimetega, mis üheskoos selgitasid kõige paremini soorituse dispersiooni, aga ka üldsoorituse seos SJ ja XC soorituse suhetega. Andmepunktid esindavad uuringu 3 parimat suusahüppajat (\square SJ_{top3}), 3 parimat murdmaasuusatajat (\triangle XC_{top3}) ja ülejäänud 6 sportlast (\bullet n = 6). Jooned saadi lineaarse regressiooni teel. Vv_{IMIT} = imitatsioonhüppel suusataja saavutatud suurim vertikaalkiirus; VO_{2peak} = suurim hapnikutarbimine astmeliselt kuni kurnatuseni; DP = paaristõuke; UB = ülakeha; LM = lihasmass

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180388.g002>

Siiski oli selle uuringu eesmärk tegelikult selgitada laboratoorsete võimete seost spordialapõhiste liikumistehnikatega, mida kasutatakse sportlaste arengu seireks treeningaasta ja välisoorituse ajal. Seepärast vajab suusahüppe ja murdmaasuusatamise süvatehniline võrdlus laboratoorsete näitajatega järeluurimusi.

Siinses uurimistöös vaadeldud spordialapõhistest laboratoorsetest mõjuritest ennustas kahevõistluse sooritust üksinda kõige paremini kehamassile taandatud VO_{2peak} . See on suuresti seletatav asjaoluga, et sellel võistlusel oli murdmaasuusatamise sooritus olulises korrelatsioonis kahevõistluse üldsooritusega, suusahüppe sooritus aga ei olnud. Lisaks mõjutasid suurt kehamassile taandatud hapnikutarbimist VO_{2peak} absoluutne VO_{2peak} ja kehamass, mis eraldi näitasid tähtsat mõju vastavalt murdmaasuusatamise ja suusahüpete sooritusele. Üldisest vaatenurgast on üsna haruldane, et inimvõimete ülempiiri lähedase plahvatuslikkusega kahevõistlejad suudavad saavutada nii kõrgeid hapnikutarbimise VO_{2peak} väärtusi nagu 80 ml/kg/min. Seda, kas suusahüpete mõju murdmaasuusatamise sooritusele ja laboratoorsete võimete seosed üldise kahevõistluse tulemusega kehtivad ka teistel üritustel ja tingimustel (st tuul, lumi jne), tuleb veel uurida. Kuigi siinses uurimistööst ei saa teha kindlaid järeldusi, on see heaks lähtepunktiks tulevastele kahevõistlust käsitlevatele uurimistöodele.

Järeldused

Suusahüppe sooritust ennustas kõige paremini imitatsioonhüppe (IMIT) vertikaalkiirus koosmõjus kehamassiga ning murdmaasuusatamise sooritust ennustasid kõige paremini kehamassile taandatud VO_{2peak} ja ülakeha võimsus. Meie uuringu 12 kahevõistleja hulgast parimate suusahüppajate ja murdmaasuusatajate katsetel saadud võimeid võib kasutada nende alade maailmatasemel soorituse võrdlusväärtustena. Täpsemalt, kolm parimat suusahüppajat saavutasid alla 60 kg juures rühma keskmise imitatsioonhüppe vertikaalkiiruse ~2,5 m/s, mis erines kolme parima murdmaasuusataja väärtustest 12...15%. Sealjuures oli kahe sooritusrühma kükkhüppe vertikaalkiiruste vaheline erinevus ainult 5%, mis näitas, et imitatsioonhüppe spordialapõhise liigutuse sooritus eristab sooritusrühmi rohkem kui üksnes vertikaalhüppe võime. Kolm parimat murdmaasuusatajat saavutasid rühma keskmise hapnikutarbimise VO_{2peak} > 76 ml/kg/min ning ülakeha võimsuse 344 W ja 5,1 W/kg, mis olid vastavalt 5%, 21% ja 6% suuremad kui kolmel parimal suusahüppajal.

Kahevõistlejate hooajatreeningutel tuleks kaaluda VO_{2peak} väärtuse, ülakeha jõu ja suusahüppepõhise vertikaalse hüppevõime samaaegset arendamist, vähendades samas kehamassi FIS-i kehtestatud KMI piires.

Tänuavaldused

Täname Steinar Bråtenit, Jørgen Danielsenit ja Veronica Bessonet katse ettevalmistuse ja andmekogumises abistamise eest. Eriiline tänu sportlastele, nende treeneritele ja FIS-i kahevõistluse ametnikele nende koostöö, entusiasmi ja eelkõige uuringu osalemise eest.

Autorite kaastööd

Ülesande püstitus: Vegard Rasdal, Ronny Fudel, Jan Kocbach, Frode Moen, Gertjan Ettema, Øyvind Sandbakk.

Andmete kureerimine: Vegard Rasdal, Jan Kocbach, Gertjan Ettema.

Vormikohased analüüsid: Vegard Rasdal, Ronny Fudel, Jan Kocbach, Gertjan Ettema, Øyvind Sandbakk.

Rahastuse korraldamine: Frode Moen, Gertjan Ettema, Øyvind Sandbakk.

Uurimistöõ: Vegard Rasdal, Ronny Fudel, Jan Kocbach, Frode Moen, Gertjan Ettema, Øyvind Sandbakk.

Metoodika: Vegard Rasdal, Ronny Fudel, Jan Kocbach, Frode Moen, Gertjan Ettema, Øyvind Sandbakk.

Projekti administreerimine: Vegard Rasdal, Ronny Fudel, Jan Kocbach, Øyvind Sandbakk.

Järelevalve: Gertjan Ettema, Øyvind Sandbakk.

Esitlus: Vegard Rasdal, Ronny Fudel, Jan Kocbach, Øyvind Sandbakk.

Kirjutamine – algne mustand: Vegard Rasdal, Øyvind Sandbakk.

Kirjutamine – ülevaatus ja toimetamine: Vegard Rasdal, Ronny Fudel, Jan Kocbach, Frode Moen, Gertjan Ettema, Øyvind Sandbakk.

Viited

1. Schwameder H. Biomechanics research in ski jumping, 1991-2006. *Sports Biomech.* 2008; 7(1):114-136. <https://doi.org/10.1080/14763140701687560> PMID: 18341140.
2. Müller W. Determinants of ski-jump performance and implications for health, safety and fairness. *Sports medicine (Auckland, NZ).* 2009; 39(2):85-106. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00001> PMID: 19203132.
3. Sandbakk Ø, Holmberg HC. A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014; 9(1):117-121. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0373> PMID: 24088346.
4. Sandbakk Ø, Holmberg HC, Leirdal S, Ettema G. Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *European journal of applied physiology.* 2010; 109 (3):473-481. Epub 2010/02/13. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1372-3> PMID: 20151149.
5. Virmavirta M, Isolehto J, Komi P, Schwameder H, Pigozzi F, Massazza G. Take-off analysis of the Olympic ski jumping competition (HS-106m). *J Biomech.* 2009; 42(8):1095-1101. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.02.026> PMID: 19349050.
6. Janura M, Elfmark M, Cabell L, Svoboda Z. Ski-jumpers' performance in a laboratory setting: a 29-year longitudinal study. *J Sport Sci.* 2015; 33(7):687-695. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.962570> PMID: 25350725
7. Rønnestad BR. Seasonal changes in leg strength and vertical jump ability in internationally competing ski jumpers. *European journal of applied physiology.* 2013; 113(7):1833-1838. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2611-1> PMID: 23430238.
8. Sandbakk Ø, Rasdal V, Braaten S, Moen F, Ettema G. How do World-Class Nordic Combined Athletes Differ From Specialized Cross-Country Skiers and Ski Jumpers in Sport-Specific Capacity and Training Characteristics? *Int J Sports Physiol Perform.* 2016; 11(7):899-906. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0285> PMID: 26791774
9. Janura M, Cabell L, Svoboda Z, Elfmark M. Evaluation of Explosive Power Performance in Ski Jumpers and Nordic Combined Competitive Athletes: A 19-Year Study. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association.* 2016; 30(1):71-80. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001046> PMID: 26691406.
10. Bolger CM, Kocbach J, Hegge AM, Sandbakk Ø. Speed and heart-rate profiles in skating and classical cross-country skiing competitions. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015; 10(7):873-880. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0335> PMID: 25671845.
11. Sandbakk Ø, Ettema G, Leirdal S, Jakobsen V, Holmberg HC. Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance. *European journal of applied physiology.* 2011; 111(6):947-957. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1719-9> PMID: 21079989; PubMed Central PMCID: PMC3092926.

12. Andersson E, Supej M, Sandbakk Ø, Sperlich B, Stoggl T, Holmberg HC. Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system. *European journal of applied physiology*. 2010; 110(3):585-595. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1535-2> PMID: [20571822](#).
13. Holmberg HC, Rosdahl H, Svendenhag J. Lung function, arterial saturation and oxygen uptake in elite cross country skiers: influence of exercise mode. *Scand J Med Sci Sports*. 2007; 17(4):437-444. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00592.x> PMID: [17040487](#).
14. Ingjer F. Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross-country skiers: a longitudinal study. *J Sports Sci*. 1992; 10(1):49-63. <https://doi.org/10.1080/02640419208729906> PMID: [1556778](#).
15. Saltin B, Astrand PO. Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol*. 1967; 23(3):353-358. PMID: [6047957](#).
16. Tønnessen E, Haugen TA, Hem E, Leirstein S, Seiler S. Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: Olympic-medal benchmarks for the time period 1990-2013. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015; 10(7):835-839. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2014-0431> PMID: [25611016](#).
17. Sandbakk Ø, Hegge AM, Ettema. The role of incline, performance level, and gender on the gross mechanical efficiency of roller ski skating. *Front Physiol*. 2013; 4:293. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00293> PMID: [24155722](#); PubMed Central PMCID: [PMC3804929](#).
18. Bilodeau B, Rundell KW, Roy B, Boulay MR. Kinematics of cross-country ski racing. *Med Sci Sports Exerc*. 1996; 28(1):128-138. PMID: [8775365](#).
19. Hegge AM, Bucher E, Ettema G, Faude O, Holmberg H-C, Sandbakk Ø. Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite cross-country skiers during whole-body, upperbody, and arm poling. *European journal of applied physiology*. 2015.
20. Sandbakk Ø, Ettema G, Holmberg HC. Gender differences in endurance performance by elite crosscountry skiers are influenced by the contribution from poling. *Scand J Med Sci Sports*. 2014; 24(1):28- 33. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01482.x> PMID: [22621157](#).
21. Sandbakk Ø, Holmberg H-C, Leirdal S, Ettema G. The physiology of world-class sprint skiers. *Scand J Med Sci Sports*. 2011; 21(6):e9-e16. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01117.x> PMID: [20500558](#)
22. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982; 14(5):377-381. PMID: [7154893](#).
23. Hegge AM, Myhre K, Welde B, Holmberg HC, Sandbakk Ø. Are gender differences in upper-body power generated by elite cross-country skiers augmented by increasing the intensity of exercise? *PloS one*. 2015; 10(5):e0127509. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127509> PMID: [26000713](#); PubMed Central PMCID: [PMC4441444](#).
24. Tønnessen E, Rasdal V, Svendsen IS, Haugen TA, Hem E, Sandbakk Ø. Concurrent Development of Endurance Capacity and Explosiveness: maailmatasemel kahevõistluse sportlaste treeningnäitajad *Int J Sports Physiol Perform*. 2016; 11(5):643-651. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2015-0309> PMID: [26561961](#).
25. Peronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci*. 1991; 16(1):23-29. PMID: [1645211](#).
26. Nader GA. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc*. 2006; 38(11):1965-1970. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233795.39282.33> PMID: [17095931](#).
27. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SM, Loenneke JP, Anderson JC. Concurrent training: a metaanalysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2012; 26(8):2293-2307. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3e2d> PMID: [22002517](#).

28. Schmolzer B, Müller W. The importance of being light: aerodynamic forces and weight in ski jumping. *Journal of Biomechanics*. 2002; 35(8):1059-1069. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(02\)00066-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00066-0) PMID: [12126665](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12126665/)
29. Millet GY, Hoffman MD, Candau RB, Clifford PS. Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. *Med Sci Sports Exerc*. 1998; 30(11):1645-1653. PMID: [9813879](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9813879/).
30. Losnegard T, Mikkelsen K, Ronnestad BR, Hallen J, Rud B, Raastad T. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports*. 2011; 21(3):389-401. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01074.x> PMID: [20136751](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20136751/).
31. Umberger BR, Gerritsen KG, Martin PE. Muscle fiber type effects on energetically optimal cadences in cycling. *J Biomech*. 2006; 39(8):1472-1479. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.03.025> PMID: [15923008](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15923008/).
32. Ettema G, Hooiveld J, Braaten S, Bobbert M. How do elite ski jumpers handle the dynamic conditions in imitation jumps? *J Sports Sci*. 2016; 34(11):1081-1087. Epub 2015/09/15. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1088660> PMID: [26368027](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26368027/).

II uuring

II uuring

Ei kuulu avaldamisele autoriõiguse tõttu.

Saadaval ajakirjas

International Journal of Sports Physiology and Performance 2016;Volum 11.(7) s. 899-906

<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0285>

III uuring

III uuring

Ei kuulu avaldamisele autoriõiguse tõttu.

Saadaval ajakirjas

International Journal of Sports Physiology and Performance

<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0309>

IV uuring

IV uuring



Kahevõistluse olümpiavõitja tehniliste, treening- ja füsioloogiliste näitajate pikaajaline arendamine

Vegard Rasdal¹, Frode Moen^{1,2} ja Øyvind Sandbakk^{1*}

¹ Centre for Elite Sports Research, Department of Neuromedicine and Movement Science, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norra, ² Department of Education, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norra

VABA LIGIPÄÄS

Toimetanud:

Gregoire P. Millet,
Université de Lausanne, Šveits

Arvustanud:

Jamie Stanley,
South Australian Sports Institute,
Australia
Urs Granacher,
Universität Potsdam, Saksamaa

* Kirjavahetus:

Øyvind Sandbakk oyvind.sandbakk@ntnu.no

Erialaosakond:

Artikkel on saadetud ajakirja
Frontiers in Physiology osakonda
Exercise Physiology

Vastu võetud: 27. aprill 2018

Kinnitatud: 25. juuni 2018

Välja antud: 13. juuli 2018

Osund:

Rasdal V., Moen F. and Sandbakk Ø. (2018). The Long-Term Development of Training, Technical, and Physiological Characteristics of an Olympic Champion in Nordic Combined. (Kahevõistluse olümpiavõitja tehniliste, treening- ja füsioloogiliste näitajate pikaajaline arendamine) *Front. Physiol.* 9:931. doi: 10.3389/fphys.2018.00931

Kahevõistlus nõuab suusahüppevõistluseks häid tehnilisi oskusi ja vertikaalset impulssi ning järgneva murdmaasuusavõistluse edukaks sooritamiseks aeroobset vastupidavust, suusatamise tõhusust ja finišipurdi võimekust. Selle uuringu põhieesmärk oli uurida kahevõistluse olümpiavõitja [~74 kg (lihasmass 63 kg)] treeningu, tehniliste ja füsioloogiliste omaduste arengut olümpiamängudele eelneva viimase nelja hooaja jooksul. Nelja-aastase treeningtsükli esimesel hooajal keskenduti alakeha lihasmassi ja vertikaalse hüppekiiruse arendamisele, millele järgneval kolmel hooajal pandi rohkem rõhku tehniliste võimete arendamisele. Osaleja säilitas hoolimata oma kehamassi 7 kg suurenemisest pörkehüppe vertikaalkiiruse ~3 m/s, parandas spordialapõhise imitatsioonihüppe vertikaalkiirust 0,31 m/s võrra, keskendudes samas tehnilisele teostusele, sealhulgas süstemaatilise vaimse treeningu kasutamisele oskuste omandamise parandamiseks, ning suurendas neljahooajalise tsükli jooksul peaaegu kaks korda iga-aastaste imitatsioonihüpete arvu. Vastupidavustreeningu maht suurenes peamiselt madala intensiivsusega treeningu arvelt 462 tunnilt esimesel hooajal kuni 635 tunnini kolmandal hooajal. Seejärel vähendati vastupidavustreeningut olümpiahooajal 12% ning keskenduti iga treeningukorra kvaliteedile ja piisavale taastumisele. Suurim hapnikutarbimine VO_{2peak} (5,36 l/min ja 72,0 ml/kg/min) mõõdeti kolmandal hooajal ja jäi seejärel püsivaks, kuigi võistlustulemused paranesid olümpiale lähenemisel veelgi. Mõõduka ($31,9 \pm 2,8$ tundi hooajal, $43,0 \pm 3,9$ treeningut hooajal) ja kõrge intensiivsusega ($28,3 \pm 3,1$ tundi hooajal, $52,3 \pm 2,7$ treeningut hooajal) vastupidavustreeningu maht oli kogu nelja-aastase perioodi jooksul püsiv, millest > 65% moodustas vabatehnikas suusatamine või rullsuusatamine. Finišipurdi võime arendamine oli kogu perioodi jooksul tähtis strateegia ja mõlemad olümpia kuldmedalid võideti finišipurdiga. See uuring andis kokkuvõttes ainulaadseid andmeid kahevõistluse kahekordse olümpiavõitja neljahooajalise tsükli kohta, kuidas suuri jõu/võimsuse ja vastupidavuse treeningu mahtusid edukalt olümpiahooaja tippvormiks kombineeritakse. Niisugune teadmine näitab, kuidas pikaajalise vastupidavuse ja jõu/võimsuse kombinatsiooni optimeerida ning tekitab uusi hüpoteese, mida tulevastel uuringutes katsetada.

Märksõnad: vastupidavustreening, kõrge intensiivsusega treening, vaimne treening, jõutreening, võimsus, ajastamine, teiper, samaaegne treening

SISSEJUHATUS

Kahevõistlus (NC) on keerukas talispordi olümpiaala, kus sportlased võistlevad samal päeval suusahüpetes ja murdmaasuusatamise jälitussõidus (Rasdall jt, 2017). Suusahüpe nõuab lisaks vaimsele teadlikkusele ja tugevusele suusahüppe eri faaside (st hoovõtt, äratõuge, üleminek lennule, lend, maandumiseks ettevalmistumine, maandumine) edukaks lahendamiseks hästi väljaarendatud tehnilisi oskusi, painduvust, suurt vertikaalset jõuimpulssi ja väikest kehamassi (Schwameder, 2008; Müller, 2009; Sandbakk jt, 2016; Rasdall jt, 2017). Tähtsaimaks peetakse siiski äratõuget (Schwameder, 2008; Virmavirta jt, 2009) ning hiljutine uuring näitas, et suusahüppe imitatsioonil saavutatud vertikaalkiirus ja kehamass koos moodustasid kahevõistluse maailmakarikavõistluse suusahüppe soorituse dispersioonist 70% (Rasdall jt, 2017).

Suusahüppe soorituse alusel antakse sportlasele järgnevas 10 km vabatehnikas murdmaasuusatamise jälitussõiduks proportsionaalne ajaline karistus (Rasdall jt, 2017). Ligikaudu 25-minutilise murdmaasuusatamise peetakse vahelduval maastikul, kus soorituse jaoks on otsustavad suur aeroobne võime, suusatamise tõhusus ja finišispurdi võimekus (Sandbakk jt, 2010; Sandbakk ja Holmberg, 2014; Tønnessen jt, 2015; Rasdall jt, 2017).

Kuigi on arvukalt spordialasid, kus edukaks soorituseks on vaja nii jõudu/võimsust kui ka vastupidavust, pole ükski neist nii äärmuslik kui kahevõistlus. Kahevõistlejate suusahüppe- ja murdmaasuusatamisvõimete samaaegne arendamine on treeneritele ja sportlastele ülim katsumus ning nende äärmuste koosmõju on vähe uuritud. Kuigi kahevõistlejad teevad ainult 50...60% suusahüpetele või murdmaasuusatamisele keskendunud sportlaste treeningutest, erinevad nende mitmesugused laboratoorsed võimed vaid 10...17% (Sandbakk jt, 2016). Lõpuks peab sportlane arendama oma vaimseid võimeid, et optimeerida tehniliselt väga keeruka suusahüppe ja füüsiliselt nõudliku murdmaasuusatamise teostust.

Selle uuringu põhieesmärk oli uurida kahevõistleja treeningu, tehniliste ja füsioloogiliste omaduste arengut enne 2014. aasta Sotši olümpiamängude kahe kuldmedali võitmisele eelneva nelja hooaja jooksul.

MATERJALID JA MEETODID

Osaleja

Osaleja (sündinud 1991. aastal) spetsialiseerus kahevõistlusele 2007. aastal ja arendas pidevalt oma sooritust nelja-aastase tsükli jooksul kuni kahe kahevõistluse kuldmedali võitmiseni 2014. aasta Sotši taliolümpiamängudel. Sportase nelja maailmakarika võistlushooaja laboratoorsed võimed on esitatud tabelis 1.

Norra sotsiaalteaduslike andmete talitus (NSD) on uuringu jaoks kiitnud ja osaleja andis kirjaliku teadliku nõusoleku uuringu osalemiseks.

Laboratoorsed katsed

Sportlase esimestel rahvuskoondise hooaegadel 2011 kuni 2012 tehti igal aastal kaks kuni kolm korda üldisi vertikaalhüppeid [st pörkehüpped (CMJ) ja kükkhüpped (SQJ)] ning spordialapõhiseid imitatsioonihüppeid (IMIT). Üldettevalmistusperioodi (GP) katsetulemusi kasutati kirjeldavaks analüüsiks. Seadmestikku ja meetodeid kirjeldati eespool (Sandbakk jt, 2016; Tønnessen jt, 2016) ning kõikide hüpete massikeskme suurimat vertikaalkiirust kasutati edasise analüüsi tegemiseks.

Igal hooajal tehti kaks kuni kolm korda rullsuuskadel füsioloogilisi katsetusi ja üldettevalmistusperioodi (GP) tulemusi kasutati kirjeldavaks analüüsiks. Samuti tehti kolm või neli 5-minutilist submaksimaalset katset füsioloogilise tagasiside võrdlemiseks vere laktaadisisalduse korral 4 mmol/l ja astmeline täisvõimsusega rullsuuskatse VO_{2peak} väärtuse määramiseks. Seadmestikku ja meetodeid kirjeldati eespool (Sandbakk jt, 2010, 2016) ja kõikidel juhtudel arutati hingamisnäitajad (sh VO_{2peak}) eelmise uuringu põhjal (Sandbakk jt, 2016).

Üks kuu pärast 2014. aasta taliolümpiamänge tegi osaleja veel DXA mõõtmise, millega määrati kindlaks keha lihassmass.

Treeningute seire ja treeninguandmete süstematiseerimine

Osaleja salvestas oma igapäevased treeninguandmed digipäevikusse¹, nagu on eespool kirjeldatud (Tønnessen jt, 2016), milles kõik treeningukorrad süstematiseeriti ja analüüsiti programmiga Microsoft Office Excel 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA). Vastupidavustreeningud registreeriti, lähtudes modifitseeritud treeningukorra eesmärgi lähenemisviisist (Sylta jt, 2014), madala intensiivsuse (LIT), mõõduka intensiivsuse (MIT) ja kõrge intensiivsusega (HIT) tsoonidena ning jaotati igas tsoonis veel eri tüüpi treeninguliikideks, nagu on eelkirjeldatud (Solli jt, 2017). Lisaks määratleti oma klass taastumiseks, soojenduseks ja lõdvestuseks (WUP).

Kui vastupidavustreeningusse ühildati kiirustreeninguid, registreeriti iga spurdi kohta 2 min kiirustreeninguna. Mittevastupidavustreeningud, nagu suusahüpped ja jõu/võimsuse harjutused, salvestati treeningukorra vastava osa algusest kuni lõpuni, kaasa arvatud sarjadevahelised taastumisperioodid. Kuivamaa tehnikatreening salvestati suusahüpete ajana ja üksnes teostatud imitatsioonihüpete (IMIT) arvuna.

Treeninguandmed esitati aastakaupa ja jaotati ajakava mudelite järgi (Issurin, 2010; Tønnessen jt, 2016) erisugusteks ajakava perioodideks, mida muudeti veidi sportlase ja tema treeneriga suhtlemise järel: üldettevalmistusperioodi 1. alaperiood (GP1, juuni–august) ja 2. alaperiood (GP2, september–oktoober), eriettevalmistusperiood (SP, november–detsember) ning võistlusperiood (CP, jaanuar–märts).

Lisaks esitleti 2013/14. olümpiahooaja süvateiperi analüüsi, sh olümpia kuldmedalile eelnenud viimase 6 nädala treeninguandmeid ja 14 päeva igapäevatreeningu sisu. Sellest 6

¹www.olt-dagbok.net

TABEL 1. Kahevõistluse olümpiavõitja hooegade 2010/11 kuni 2013/14 üldettevalmistusperioodi ajal ja vahetult pärast olümpiamänge (Pärast) kindlaks määratud laboratoorsed võimed

| | | 2010/2011 | 2011/2012 | 2012/2013 | 2013/2014 | Pärast |
|--------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| Kehamass | (kg) | 66,5 | 73,2 | 74,5 | 73,8 | 75,3 |
| Vertikaalhüppe kiirus | | | | | | |
| V_{SQJ} | (m/s) | | 2,91 | 2,94 | 2,96 | 3,05 |
| V_{CMJ} | (m/s) | | 3,04 | 3,05 | 3,13 | 3,10 |
| V_{IMIT} | (m/s) | | 2,14 | 2,37 | 2,34 | 2,45 |
| Suurim hapnikutarbimine | | | | | | |
| VO_{2peak} | (ml/kg/min) | 68,8 | 69,3 | 72,0 | 71,0 | 72,1 |
| | (l/min) | 4,58 | 5,07 | 5,36 | 5,24 | 5,43 |
| Reaktsioon 4 mmol/l BLA | | | | | | |
| VO_2 | (l/min) | 3,51 | 4,01 | 4,36 | 4,21 | 4,31 |
| | (ml/kg/min) | 52,8 | 54,8 | 58,3 | 57,0 | 57,3 |
| | (% tipp) | 77 | 79 | 81 | 80 | 79 |

* Hooegadel 2010/2011 kuni 2013/2014 valiti analüüsimiseks perioodi juuni–oktoober kõrgeima sooritustasemega katse. Olümpiamängudeks vajaliku sooritustaseme paremaks kajastamiseks valiti ka vahetult pärast 2013/2014. hooaega tehtud katse (Pärast). V_{SQJ} : kükkhüppel saavutatud suurim vertikaalkiirus; V_{CMJ} : põrkehüppel saavutatud suurim vertikaalkiirus; V_{IMIT} : imitatsioonhüppel saavutatud suurim vertikaalkiirus; VO_{2peak} : suurim hapnikutarbimine astmelisel katsel kuni kurnatuseni; BLA: vere laktaadisaldus; VO_2 : hapnikutarbimine

nädalast viimased 2 nädalat enne esimese kuldmedali võitmist määratleti kui tipufaas ja eelnevad 4 nädalat kui tipueelne faas.

Kvalitatiivne analüüs

Puuduvate andmete tuvastamiseks, treeningupäevikute kommentaaride vastavuse tagamiseks ja eri treeningukordade intensiivsuse välja selgitamiseks tehti uuringus osalejaga andmeanalüüsi faasis kaks intervjuud. Samuti korraldati osaleja peatreeneriga kaks intervjuud, et koguda osaleja edu määravate tegurite kvalitatiivne esitus. Et saada suusahüppe arengust üldarusaam, korraldasime spordialadeüleseid töötubasid selle uuringu autorite, tema suusahüppe treeneri ja vaimse ettevalmistuse treeneriga, analüüsimaks treeningulogisid, katseid ja võistlustulemusi, aga ka videoid ja keskendumist vaimsel treeningul kõigi hooegade jooksul.

TULEMUSED

Osaleja salvestas 2010/11. kuni 2013/14. hooajal 804, 824, 1008 ja 950 treeningutundi hooaja kohta, mis jaotusid 472, 519, 582 ja 585 treeningukorrale. Mitmesuguste treeninguosade üksikasjalikud muutused on esitatud **joonisel 1**. Osaleja kehamass suurenes 7 kg võrra alates 2010/11. hooaja 66,5 kg-st kuni 2011/12. hooaja 73,2 kg-ni ja jäi seejärel püsivaks 74 kg juures (**tabel 1**). Veidi pärast olümpiat mõõdeti lihassmassiks 63,0 kg.

Mittevastupidavus

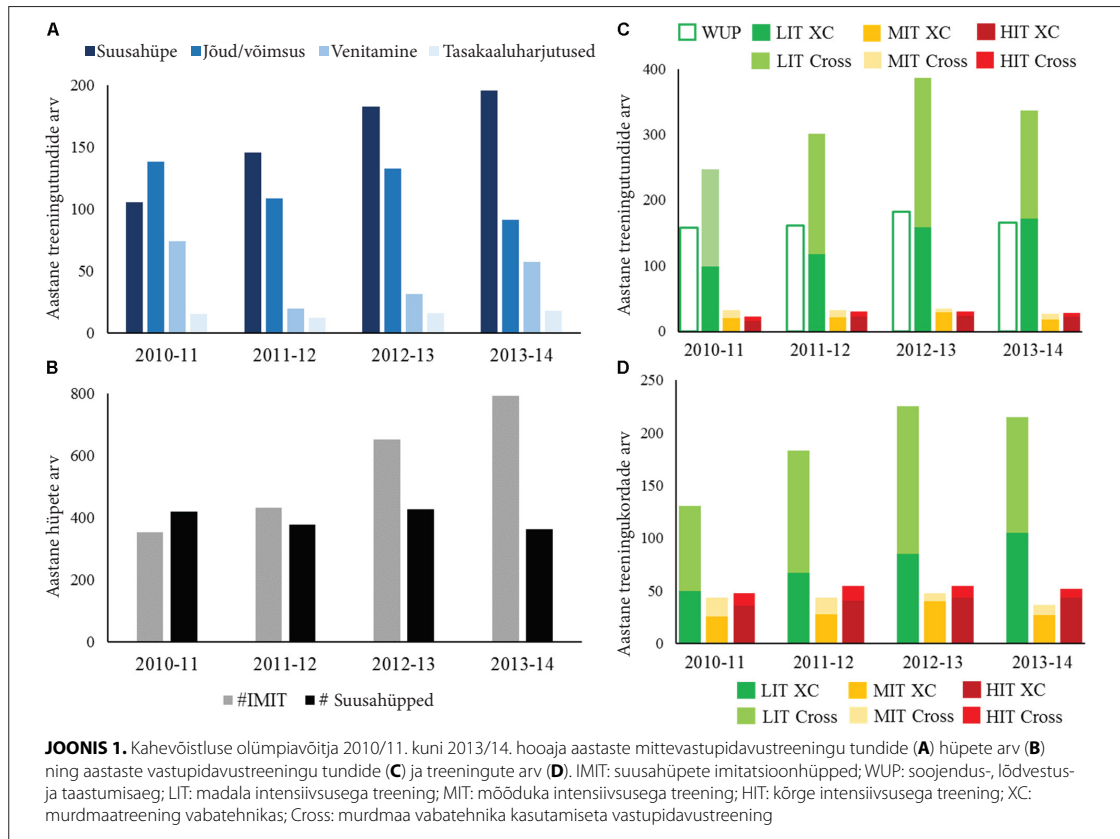
Kui üldise jõu/võimsuse treeningu maht varieerus siinuslainena vahemikus 90...140 tundi hooaja kohta, siis suusahüppepõhise jõu/võimsuse treeningu maht ja imitatsioonhüpete (IMIT) arv kasvas igal hooajal pidevalt (**joonised 1A ja 1B**). Samal ajal kui SQJ- ja CMJ-hüpete vertikaalkiirus muutus alla 5%, siis IMIT-hüpete vertikaalkiirus suurenes samal perioodil 14,5% vahemikus 2,14 kuni 2,45 m/s (**tabel 2**). Osaleja teatas, et jõu/

võimsuse treeningute sisu 2010/11. hooajal oli keskendunud alakeha lihassmassi ja maksimaaljõu suurendamisele, samas kui 2011/12. hooajal pöörati suusahüppepõhise liikumise muustrites järk-järgult rohkem tähelepanu suure kiirusega harjutustele. Palju keskenduti suusahüppepõhise liikumise hüppeliigete paindumuse ning puusa- ja süvalihaste kontrolli parandamisele ning samal ajal püüdis osaleja tehniliselt (1) vähendada hoovõtu ajal massikeskme kõikumise rõhu keskpunkti suhtes ja (2) asetada massikeske suusahüppemäel äratõuke faasi ajal vertikaalselt rõhu keskpunkti kohale (st vähendada jõuõlga).

Vastupidavus

Osaleja suurendas enda aeroobset võimekust 2010/11. kuni 2012/13. hooaja vahemikus 0,78 l/min võrra, aga tema kehamassile taandatud VO_{2peak} väärtus oli kõigi uuritud hooegade jooksul püsiv (**tabel 2**). VO_2 suurenes 2010/11. hooajal vere laktaadisalduse korral 4 mmol/l 77%-lt kuni > 80%-ni hapnikutarbimisest VO_{2peak} (**tabel 2**).

Osaleja treenis kõikidel hooegadel polaarse jaotusega, muutes vastupidavustreeningu mahtu peamiselt madala intensiivsusega treeningu (LIT) arvelt (**joonis 1C**). Keskmise (MIT) ja kõrge (HIT) intensiivsuse maht oli kõigil neljal hooajal peaaegu samasugune, v.a MIT-mahu vähenemine 22% võrra alates 2012/13. hooajast kuni 2013/14. hooajani (**joonis 1C**). MIT- ja HIT-treeningute intervallide põhitüübid oli vastavalt vahemikus 6...15 min ja 3...5 min (**tabel 2**). Kõikide intensiivsuste puhul oli SP- ja CP-treeningukorra kestus lühem kui GP1- ja GP2-treeningu ajal (**tabel 2**). Osaleja lisis peaaegu igasse LIT-i rullsuusa- ja suusatreeningusse spurdiharjutused, samal ajal kui mõne MIT-/HIT-treeningu lõpus tehtud spurdid keskendusid väsinuna hea tehnilise teostuse säilitamise võimele. 2010/11. kuni 2013/14. hooajal tehti spurditreeninguid 101, 114, 126 ja 129 korda hooaja kohta ning tavaliselt tehti ligikaudu 5 spurti kestusega 6...8 sekundit.



Erialaste ja mitteerialaste treeningviiside vastupidavustreeningu maht oli samasugune (st hooaegadel 2010/11 kuni 2013/14 murdmaa vabatehnikas vastavalt 45, 44, 47 ja 54%). Enam kui kaks kolmandikku MIT- ja HIT-treeningust tehti kõikidel aastaegadel suuskadel või rullsuuskadel, aga LIT-treeningust tehti murdmaa vabatehnikas 50...60% (joonis 1C, 1D).

Kuigi kogu tsükli jooksul asusid mõned treeninglaagrid > 1500 m üle merepinna, siis süstemaatilisi kõrgmäestiku treeninguid ei korraldatud.

Teiperi treeningud

Viimase 6 nädala treeningute nädalane jaotus ja esimese kuldmedali võitmise eelse 2 nädala igapäevatreeningute kirjeldus on esitatud tabelites 3A, 3B. Kõigi eelneva 6 nädala üldine treeningukoormus ning vastupidavus- ja mittevastupidavustreeningu jaotus oli sarnane, v.a alates nädalast -4 ja -2 (tabel 3A), kus kogu treeningumaht oli mõlemal nädalal ~25% väiksem võrreldes ülejäänud nelja nädalaga. Treeningumahu vähenemine nädalal -2 tulenes peamiselt reisimisest, aga vähenemine nädalal -4 oli suusahüppamise puudumise tagajärg. Nädalane vastupidavustreeningu maht nädalal -4 oli kaks kolmandikku suurem võrreldes ülejäänud

5 nädalaga. Alates tipueelsest faasist kuni tipufaasini vähendati üldist treeningumahtu 8%, aga vastupidavustreeningu mahtu 25%.

Kvalitatiivne hinnang

Osaleja tegeles kuni keskkooli alguseni mitme spordialaga, kuni otsustas 16-aastaselt keskenduda kahevõistlusele. Sellest ajast saati oli tal tihe ja hästitoimiv tööalane liit sama kõrgetasemelise treeneriga, kelle kogu treeningukava oli suunatud spordialapõhiste eesmärkide täitmisele. Ta kuulus ka hästi toimivasse treeningrühma, kuhu kuulusid kogu perioodi jooksul kaks maailma parimat kahevõistlejat. Korrapärane meeskonnatöö ja igapäevased treeningud andsid võimaluse areneda ja harjutada kõrgeimal tasemel. Sel perioodil kasutas ta suusahüppetechnika parandamiseks süstemaatiliselt vaimset treeningut, näiteks arendades automatiseeritud teadlikkust hoovõtuasendist ja tasakaalust, et optimeerida äratõuke dünaamikat, eriti pingelistes hüppemäe olukordades. Kuigi osaleja pendas kiiresti tehnilisi oskusi kuivamaa treeningul, siis selle suusahüppemäele üleviimise võime oli palju järkjärgulisem. Sellegipoolest parendati tema võimet teha tähtsatel võistlustel tippasemel sooritus ja seda optimeeriti olümpiamängudele lähenedes.

TABEL 2. Kahevõistluse olümpiavõitja treeningukorra keskmine kestus ja eri liiki igakuiste vastupidavustreeningute arv intensiivsussoonide kaupa kõikidel hooaegadel ja ajakava perioodides 2010/11. kuni 2013/14. hooajal

| | Hooaja kohta | | | | | | Neljahooajalise tsükli keskmine ± SD | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|--------------------------------------|------------|------|------|------|------|--|
| | 2010/2011 | 2011/2012 | 2012/2013 | 2013/2014 | GP1 | GP2 | SP | CP | GP1 | GP2 | SP | CP | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Keskmine treeningukorra kestus | | | | | | | | | | | | | |
| LIT (h/treening) | 1,9 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,7 ± 0,2 | 1,7 ± 0,1 | 1,6 ± 0,1 | 1,5 ± 0,1 | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | |
| MIT (min/treening) | 44,1 | 45,2 | 44,2 | 44,5 | 51,2 ± 2,3 | 48,1 ± 6,1 | 43,4 ± 4,3 | 32,2 ± 2,3 | 53,1 | 54,6 | 38,5 | 29,6 | |
| HIT (min/treening) | 28,9 | 34,2 | 33,5 | 32,8 | 35,7 ± 3,5 | 41,3 ± 3,9 | 29,8 ± 3,6 | 27,7 ± 1,0 | 36,9 | 39,5 | 33,4 | 27,8 | |
| LIT-i liigid | | | | | | | | | | | | | |
| < 50 min (treening/kuu) | 0,2 | 2,3 | 2,2 | 1,5 | 1,6 ± 1,2 | 1,5 ± 0,9 | 2,0 ± 1,3 | 1,8 ± 0,8 | 1,0 | 1,5 | 2,5 | 1,7 | |
| 50...90 min (treening/kuu) | 1,8 | 3,6 | 4,1 | 6,1 | 4,2 ± 1,7 | 2,6 ± 1,2 | 3,7 ± 1,9 | 5,3 ± 2,3 | 6,5 | 3,4 | 6,9 | 7,7 | |
| 90...120 min (treening/kuu) | 4,9 | 3,0 | 5,3 | 5,2 | 6,4 ± 2,4 | 5,7 ± 1,1 | 5,0 ± 1,2 | 2,3 ± 1,4 | 9,5 | 6,9 | 3,4 | 2,0 | |
| > 120 min (treening/kuu) | 3,8 | 6,2 | 6,8 | 4,9 | 5,0 ± 1,3 | 6,5 ± 2,9 | 5,3 ± 0,9 | 3,7 ± 1,1 | 3,6 | 5,4 | 5,9 | 3,3 | |
| MIT-i liigid | | | | | | | | | | | | | |
| Pidevalt (treening/kuu) | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,2 ± 0,2 | 0,2 ± 0,2 | 0,1 ± 0,2 | 0,0 ± 0,0 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,0 | |
| < 8 min (treening/kuu) | 1,1 | 1,1 | 1,5 | 0,7 | 0,7 ± 0,3 | 1,0 ± 0,6 | 1,6 ± 0,4 | 1,7 ± 0,6 | 0,7 | 0,5 | 1,5 | 1,0 | |
| 8...15 min (treening/kuu) | 1,1 | 0,7 | 1,5 | 1,1 | 1,6 ± 0,3 | 1,4 ± 0,2 | 0,9 ± 0,4 | 0,8 ± 0,4 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 0,7 | |
| > 15 min (treening/kuu) | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,2 ± 0,3 | 0,1 ± 0,2 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | |
| Täpsustamata (treening/kuu) | 1,4 | 1,2 | 0,9 | 0,8 | 2,0 ± 0,8 | 1,2 ± 0,5 | 0,5 ± 0,6 | 0,7 ± 0,6 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,7 | |
| HIT-i liigid | | | | | | | | | | | | | |
| Pidevalt (treening/kuu) | 0,3 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 1,5 ± 0,4 | 1,4 ± 0,4 | 3,1 ± 0,7 | 5,2 ± 0,2 | 2,0 | 1,5 | 2,0 | 5,0 | |
| < 3 min (treening/kuu) | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,1 ± 0,2 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| 3...5 min (treening/kuu) | 0,5 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 0,7 ± 0,6 | 1,4 ± 0,7 | 1,0 ± 0,6 | 1,2 ± 0,2 | 0,7 | 2,5 | 1,0 | 1,0 | |
| > 5 min (treening/kuu) | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,2 ± 0,4 | 1,0 ± 0,8 | 0,1 ± 0,2 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 | 1,5 | 0,5 | 0,0 | |
| Täpsustamata (treening/kuu) | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 1,1 ± 0,4 | 0,2 ± 0,2 | 0,2 ± 0,2 | 0,2 ± 0,1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | |

GP: üldtreeninguperiood; SP: eriettevalmistusperiood; CP: võistlusperiood; LIT: madala intensiivsusega treening; MIT: mõõduka intensiivsusega treening; HIT: kõrge intensiivsusega treening.

TABEL 3. Kahevõistluse olümpiavõitja viimase 6 nädala treeningute sisu (A) enne kahe individuaalse kuldmedali võitmist 2014. aasta Sotši taliolümpiamängudel koos viimase 14 päeva treeningute põhjaliku kirjeldusega (B)

| A Viimase 6 nädala treeningute sisu enne kuldmedali võitmist | | | | | | |
|--|--|---|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Nädal | Mittevastupidavustunnid (treeningukorrad) | Suusahüppetunnid (treeningukorrad) | Vastupidavustunnid (treeningukorrad) | XC MIT-tunnid (treeningukorrad) | XC HIT-tunnid (treeningukorrad) | Kogutunnid (treeningukorrad) |
| —6 | 10,3 (6) | 7,3 (5) | 8,7 (6) | 0,0 (0) | 0,8 (2) | 18,9 (12) kaks võistlust |
| —5 | 10,6 (6) | 8,2 (5) | 10,2 (7) | 0,0 (0) | 1,5 (3) | 20,8 (13) kolm võistlust |
| —4 | 1,8 (3) | 0,0 (0) | 14,8 (8) | 0,8 (1) | 0,0 (0) | 16,7 (11) |
| —3 | 11,4 (9) | 6,3 (5) | 8,9 (5) | 0,0 (0) | 1,2 (2) | 20,4 (14) |
| —2 | 7,1 (4) | 3,9 (3) | 7,9 (5) | 0,0 (0) | 0,8 (2) | 15,0 (9) |
| —1 | 11,5 (5) | 6,7 (4) | 9,1 (7) | 0,7 (2) | 0,0 (0) | 20,6 (12) |
| 0 2014. a taliolümpiamängude individuaalne kuldmedal | | | | | | |
| B Viimase 2 nädala igapäevatreeningute sisu enne kuldmedali võitmist | | | | | | |
| Päev | Enne lõunat | Peale lõunat | | | | |
| —14 | Puhkepäev | | | | | |
| —13 | 1,5 h jõud/võimsus* | 1,5 h LIT koos 4 × 6...8 s spurtidega, XC | | | | |
| —12 | 0,75 h LIT-jooks + 0,25 h paindumus | Reisimine | | | | |
| —11 | Reisipäev | | | | | |
| —10 | 1,5 h LIT-jooks | 1 h, kuivamaa tehnikatreening | | | | |
| —9 | 2 h SJ ^c * | 5 × 3 min HIT ^d , XC | | | | |
| —8 | 2 h SJ ^c * | | | | | |
| —8 | 1 h LIT XC | | | | | |
| —7 | 2 h SJ ^c * | 1 h LIT XC | | | | |
| —6 | 1,5 h jõud/võimsus* | 0,3 h LIT-jooks + 0,3 h paindumus | | | | |
| —5 | 0,5 h LIT-jooks | 1,25 h LIT-jooks | | | | |
| —4 | 0,3 h LIT-jooks + 0,7 h paindumus | 0,25 h paindumus | | | | |
| —3 | 2,5 h SJ ^c * | 5 × 7 min MIT ^e , XC | | | | |
| —2 | 2,5 h SJ ^c * | 1,25 h LIT, XC | | | | |
| —1 | 2 h SJ ^c * | 1 h LIT koos 3 × 8 s spurtidega, XC | | | | |
| 0 | 2014. a taliolümpiamängude individuaalne kuldmedal | | | | | |

^c Võistluste ametlik suusahüppe treening. ^d MIT- ja HIT-treeningud sisaldasid harilikult 20...40 min LIT-i soojendusena ja 15...30 min LIT-i lõdvestusena. SJ: suusahüppetreening; XC: vabatehnikas murdmaasuusatamise treening; suusahüppe kuivamaa tehnikatreeningu imitatsiooni harjutused; LIT: madala intensiivsusega treening; MIT: mõõduka intensiivsusega treening; HIT: kõrge intensiivsusega treening. * Mittevastupidavustreeningu kestus treeningukorra algusest lõpuni, sh soojendus ja sarjadevaheline taastumine.

Treeningukordade järjestus kogu hooaja vältel põhines spordiala võistlusformaadil, st jõu/võimsuse ja suusahüppe-treeningud tehti hommikupoolikul ning kestvustreening pärastlõunal 2...4-tunnise vahega (kui neid tehti samal päeval). Hooaja treeningute ajastamisel keskenduti GP1-perioodis suhteliselt rohkem jõu/võimsuse ja suure koormusega vastupidavustreeningule, aga GP2-st CP-le lähenemisel keskenduti rohkem arengu põhitreeningutele (st suusahüppe ja suusarolleril/suusa intervalltreeningutele).

ARUTELU

Selles uuringus vaadeldi kahevõistluse olümpiavõitja treeningu, tehniliste ja füsioloogiliste omaduste arengut olümpiamängudele

eelneva viimase nelja hooaja jooksul. Pärast esialgset keskendumist alakeha lihasmassi ja vertikaalse hüppekiiruse suurendamisele pööras osaleja tähelepanu järgmise kolme hooaja jooksul tehnikatreeningutele.

Samal ajal arvati sportlane maailmatasemel kahevõistlajate treeningrühma ja lisati süstemaatiline vaimne treening oskuste omandamise parandamiseks. Pärast vastupidavustreeningute astmelist suurendamist kolme esimese hooaja jooksul vähendati seda olümpiahoajal 12%. Osaleja säilitas neljahooajalise tsükli jooksul iga-aastaste imitatsioonhüpete (IMIT) peaaegu kahekordse suurenemise ja aastase vastupidavustreeningu ~200-tunnise kasvu ja kehamassi 7 kg suurenemise korral põrkehüppe (CMJ) vertikaalkiiruse ~3 m/s, parandas samal ajal imitatsioonhüpete vertikaalkiirust 0,31 m/s võrra ja

rullsuusatamise hapnikutarbimist $VO_{2peak} \sim 0,8$ l/min võrra. Murdmaasuusatamises pöörati kõikidel hooaegadel tähelepanu otsustavale tegurile ehk finišivõimekuse parandamisele, sest mõlemad olümpia kuldmedalid võideti finišiheitluses. Olümpiaeelne teiper sisaldas tipueelsest faasist tipufaasi siirdumisel vastupidavustreeningu mahu 25% vähendamist ja mittevastupidavustreeningu 8% suurendamist.

Finišipurdi võimekusele keskenduti kõikidel hooaegadel ja see oli otsustav tegur mõlema olümpia kuldmedali võitmisel. Olümpiamängudeks tipvormi viimine hõlmas tipueelsest faasist vastupidavustreeningu ülekoormust ja 25% vähendamist tipufaasis. Seega suurendati tipueelsest faasist kuni tipufaasini mittevastupidavustreeningut ja üldtreening ei vähenenud rohkem kui 8%. Kokkuvõttes selgitas uuring, kuidas pikaajalise vastupidavuse ja jõu/võimsuse treeningu kombinatsiooni optimeerida, ning uuring tekitab uusi hüpoteese, mida tulevastes rühmauuringutes katsetada. Enamikus samaaegse

vastupidavuse ja jõu/võimsuse spordialade kohta tehtud uuringutes puudub üksikasjalik mittevastupidavustreeningute kirjeldus ja analüüs. Seetõttu julgustame tulevasi uurijaid, et vaadelda jõu/võimsuse treeningukoormust nii eraldatud teguri kui ka vastupidavustreeninguga samaaegsena.

AUTORITE KAASTÖÖD

VR, FM ja ØS kavandasid uuringu, aitasid kaasa tulemuste tõlgendamisele ja aitasid kaasa käsikirja lõplikule koostamisele. VR kogus andmeid. VR ja ØS tegid andmete ja statistilised analüüsid ning kirjutasid käsikirja mustandi.

TÄNUAVALDUSED

Autorid tänavad siiralt kõiki osalejaid ja nende treenereid hindamatu koostöö ja uuringus osalemise eest.

VIITED

- Baar, K. (2014). Using molecular biology to maximize concurrent training. *Sports Med.* 44 (Suppl. 2), S117-S125. doi: 10.1007/s40279-014-0252-0
- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., and Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39, 1358-1365. doi: 10.1249/mss.0b013e31806010e0
- Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med.* 40, 189-206. doi: 10.2165/11319770-000000000000000
- Müller, W. (2009). Determinants of ski-jump performance and implications for health, safety and fairness. *Sports Med.* 39, 85-106. doi: 10.2165/00007256200939020-00001
- Nader, G. A. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38, 1965-1970. doi: 10.1249/01.mss.0000233795.39282.33
- Rasdal, V., Fudel, R., Kocbach, J., Moen, F., Ettema, G., and Sandbakk, O. (2017). Association between laboratory capacities and world-cup performance in Nordic combined. *PLoS One* 12:e0180388. doi: 10.1371/journal.pone.0180388
- Sandbakk, Ø., and Holmberg, H. C. (2014). A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9, 117-121. doi: 10.1123/ijsp.2013-0373
- Sandbakk, Ø., Holmberg, H. C., Leirdal, S., and Ettema, G. (2010). Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *Eur. J. Appl. Physiol.* 109, 473-481. doi: 10.1007/s00421-010-1372-3
- Sandbakk, Ø., Rasdal, V., Braaten, S., Moen, F., and Ettema, G. (2016). How do world-class nordic combined athletes differ from specialized cross-country skiers and ski jumpers in sport-specific capacity and training characteristics? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 11, 899-906. doi: 10.1123/ijsp.2015-0285 doi: 10.1123/ijsp.2015-0285
- Schwameder, H. (2008). Biomechanics research in ski jumping, 1991-2006. *Sports Biomech.* 7, 114-136. doi: 10.1080/14763140701687560
- Solli, G. S., Tonnessen, E., and Sandbakk, O. (2017). The training characteristics of the world's most successful female cross-country skier. *Front. Physiol.* 8:1069. doi: 10.3389/fphys.2017.01069
- Sylta, O., Tonnessen, E., and Seiler, S. (2014). From heart-rate data to training quantification: a comparison of 3 methods of training-intensity analysis. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9, 100-107. doi: 10.1123/IJSP.2013-0298
- Tonnessen, E., Haugen, T. A., Hem, E., Leirstein, S., and Seiler, S. (2015). Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: olympic-medal benchmarks for the time period 1990-2013. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 10, 835-839. doi: 10.1123/ijsp.2014-0431
- Tonnessen, E., Rasdal, V., Svendsen, I. S., Haugen, T. A., Hem, E., and Sandbakk, Ø. (2016). Concurrent development of endurance capacity and explosiveness: training characteristics of world-class nordic-combined athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 11, 643-651. doi: 10.1123/ijsp.2015-0309
- Tonnessen, E., Sylta, Ø., Haugen, T. A., Hem, E., Svendsen, I. S., and Seiler, S. (2014). The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One* 9:e101796. doi: 10.1371/journal.pone.0101796
- Virmavirta, M., Isolehto, J., Komi, P., Schwameder, H., Pigozzi, F., and Massazza, G. (2009). Take-off analysis of the olympic ski jumping competition (HS-106m). *J. Biomech.* 42, 1095-1101. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.02.026
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M., Loenneke, J. P., and Anderson, J. C. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J. Strength Cond. Res.* 26, 2293-2307. doi: 10.1519/JSC.0b013e31823a3e2d

Vastuolude ja huvide avaldus: Autorid deklareerivad, et uurimistöö korraldati ilma võimalike äri- või finantssuhete huvideks peetavate konfliktideta.

Autoriõigused © 2018 Rasdal, Moen ja Sandbakk. See on vaba juurdepääsuga artikkel, mida levitatakse Creative Commonsi omistamislicentsi tingimuste alusel. Muudes foorumites kasutamine, levitamine ja kopeerimine on lubatud tingimusel, et on viidatud autoritele ja autoriõiguse omanikule, ning selles väljaandes toodud originaalsele väljaandele on viidatud kooskõlas heakskiidetud akadeemilise tavaga. Nendele tingimustele mittevastav kasutamine, levitamine ja kopeerimine pole lubatud.