

TARTU ÜLIKOOL

Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Vahur Teppan

Murdmaasuusatamise paaristõukelise sõiduviisi iseloom ja treening kaasajal

**Cross-country skiing double poling technique characteristics and
training**

Bakalaureusetöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja(d): Talispordialade õpetaja, A. Kivil

Tartu, 2023

SISUKORD

SISUKORD	1
SISSEJUHATUS.....	2
1. MURDMAASUUSATAMISE PAARISTÕUKELISE SÕIDUVIISI BIOMEHAANIKA	4
1.1 Vana vs uus paaristõuketehnika	4
1.2 Paaristõuketsükli iseloomustus	7
1.3 Paaristõuked tõusul vs lauskmaal.....	8
1.4 Madal vs kõrge paaristõugete sagedus	9
1.5 Põlveliigese dünaamika paaristõugetel.....	10
1.6 Lihasgruppide töö paaristõugetel	11
1.7 Lihasmassi osakaalu olulisus paaristõukelises sõiduviisis	13
1.8 Elastsusenergia / venitusrefleksi kasutamine paaristõuke sooritamisel	14
2. SUUSASPETSIIFILISTE TREENINGUTE MÕJU MURDMAASUUSATAMISE PAARISTÕUKELISE SÕIDUVIISI TULEMUSLIKKUSELE	15
2.1 Intervalltreeningu mõju paaristõugete sooritusele	15
2.2 Ekstensiivse paaristõuketreeningu mõju tulemuslikkusele	16
2.3 Sprindi kordustreeningu mõju paaristõugete sooritusele.....	17
2.4 Sprinditreeningu mõju hüpoksilises keskkonnas	17
3. JÕUTREENINGUTE MÕJU PAARISTÕUKELISE SÕIDUVIISI TULEMUSLIKKUSELE	20
3.1 Jõutreeningu trendid teadusuuringutes 2000 – 2008.a	20
3.2 Jõutreeningu trendid teadusuuringutes 2009– 2017.a	22
3.3 Jõutreeningu trendid teadusuuringutes 2018 – 2022.a	24
4. MUUD MURDMAASUUSATAMISE PAARISTÕUKELISE SÕIDUVIISI TULEMUSLIKKUST MÕJUTAVAD TEGURID.....	26
4.1 Hapnikutarbimine paaristõukelises sõiduviisis	26
4.2 Kofeiini mõju paaristõukelise sõiduviisi sooritusele	27
4.3 Suusakeppide parameetrite mõju paaristõugetele	28
KOKKUVÕTE	31
KASUTATUD KIRJANDUS.....	33
SUMMARY	39
LISAD.....	41

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärk on anda ülevaade muutustest, mis on viimastel aastakümnetel murdmaasuusatamises paaristõuetes toimunud tuginedes aja- ja asjakohastele teadusartiklitele.

Suusatamine on võistlusspordialana eksisteerinud üle aastasaja olles esmakordselt Olümpiamängude kavas 1924.a Prantsusmaal Chamonix's ning on loomulik, et sajandi jooksul jõuab spordiala palju areneda ning muutuda. Kõige revolutsioonilisemaks muutuseks suusatamises on olnud uisutehnika esilekerkimine 1980-ndatel, mis „lõhestas“ suusatamise kaheks erinevaks sõidutehnikaks: klassikatehnikaks ja uisutehnikaks. Keskmisele suusaspordi jälgijale on see ehk jäänudki ainsaks radikaalseks muutuseks suusaspordi arengus puusuuskadelt plastiksuuskadele ülemineku kõrval. Tegelikuses on ajas pidevalt muutunud nii võistlusformaadid, Rahvusvahelise Suusaliidu (FIS) regulatsioonid, suusatajate tehnika kõikides sõidutehnikates kui sooritus (Lisa 1).

Paaristõuetes algas tehnika silmnähtav areng 2000-ndate aastate alguses (Pellegrini et al., 2018a), mis langeb ajaliselt kokku sprindivõistluste lisandumisega murdmaasuusatamise maailmakarikasarja 1990ndate lõpus ning tiitlivõistluste kavasse 2001.a MM-il Lahtis. See ajaperiood langeb kokku ka suurenenud huviga murdmaasuusatamist ja paaristõukeid teaduslikult uurida (Lisa 4). Lühenenud võistlusdistsantsid võimaldavad distantside kiiremat läbimist. Murdmaasuusatamise sprindidistsantsidel ei ole mõtet analoogiat leida kergejõustiku sprintidega, kus sprint tähendab eelkõige distantse alla staadioniringi pikkuse. Murdmaasuusatamises on üle 20 aastase perioodi jooksul sprindidistsantside pikkused varieerunud 800m – 1800m vahel ning viimasel aastakümnel jäänud suurusjärku 1500m. See tähendab keskmiselt 150-240s pingutuse kestvust, mis kergejõustiku analoogiat kasutades tähendaks samuti 1500m jooksu läbimist. Erinevalt kergejõustiklastest läbivad suusasprinterid seda distantsi neli korda ühe võistluspäeva jooksul.

Võistlusdistsantside kiirem läbimine (Lisa 2 ja 3) tähendab klassikatehnikas enam paaristõukeid, sest paaristõuked on suuremal kiirusel ökonoomsemad võrreldes vahelduvtõukelise sõiduviisiga lausmaal ja keskmise raskusastmega tõusudel (Hoffmann, Clifford, 1992). Suurematel kiirustel piirab vahelduvtõukelist sõiduviisi ka jalatõukejõu kriitiliselt madala väärtuseni jõudmine. Ehk suurenenud kiirusel väheneb aeg jalatõuke efektiivseks sooritamiseks kriitilise piirini. (Pellegrini et al., 2013). Suusatamise kiiruse tõusule on kaasa aidanud ka parem suusaradade ettevalmistus ja ajas paranenud suusavarustus. See on paaristõugete osakaalu

järjepidevalt suurendanud ning see on lisaks sprindivõistlustele kõige ilmekamalt avaldunud pikamaasuusatamises, kus on tavapärane, et eliit-suusatajad läbivad võistluse ilma pidamismäärda kasutades vaid paaristõukeid. Lisaks sprindile ja pikamaasuusatamisele on muutused toimunud kehaliselt nõudlikel MK sarja radadel. (Maailmakarikasarja etapp Davosis läbis meeste 3.koha võitja sõidu vaid paaristõugetega). Kui 1980-ndatel võitles FIS erinevate regulatsioonidega uisutehnika kasutamise vastu, siis viimastel aastatel on võitlus käinud vahelduvtõukelise sõiduviisi päästmise nimel rakendades rahvusvahelistel võistlustel vahelduvtõukelise sõiduviisi tsoone, kus on keelatud paaristõugete kasutamine.

Murdmaasuusatamise liikumiskiiruste tõusul on oma roll ka suusavarustuse tehnoloogilisel arengul (suuskade-, suusakeppide- ja saabaste kaal ning jäikus); suusamäärete ja suusahoolduse areng (suuskade kivilihv, erinevad kiirendid jpm), suusaradade kvaliteetsem ettevalmistus ja kunstlumeradade osakaalu tõus (Pellegrini, et al 2018a).

Lähtuvalt eelnevast on käesoleva töö eesmärgiks püstitatud murdmaasuusatamise paaristõukelise sõiduviisi kaasaaja spetsiifika ja eripärad varasemalt kasutusel olnud tehnika ja treeningmetoodikaga võrreldes. Tööle on püstitatud järgnevad ülesanded:

1. Kas ja kui palju on muutunud paaristõuketehnika biomehaanilised iseärasused viimastel aastakümnetel?
2. Kuidas on arenenud treeningmetoodika, et maksimeerida paaristõugete sooritusvõime?
3. Milline on murdmaasuusatajate jõutreeningute areng ning kui suur osatähtsus on sellel kaasaaja paaristõuketehnika tulemuslikkusele?
4. Milline on ainevahetuse spetsiifika ja suusavarustuse mõju paaristõukelise sõiduviisi sooritusele?

Märksõnad:

murdmaasuusatamine, paaristõukeline sõiduviis, ülakeha vastupidavustreening

Keywords:

Cross-country skiing, double-poling, upper-body endurance training

1. MURDMAASUUSATAMISE PAARISTÕUKELISE SÕDUVIISI BIOMEHAANIKA

Paaristõukelises sõiduviiis genereeritakse kogu keha liikumapanev jõud läbi sümmeetriliselt ja sünkroonselt teostatud kepitõugete (keppide ja maapinna vahelise kontakti). (Ströggel, Müller (2009)). Paaristõuketsükkel on jaotatud kepitõukefaasiks, mis kestab kogu aja vältel, mil kepid on maapinnaga ühenduses ning libisemisfaasiks, kus käte abil tuuakse kepid taas ette, et valmistuda uueks kepitõukefaasiks.

1.1 Vana vs uus paaristõuketehnika

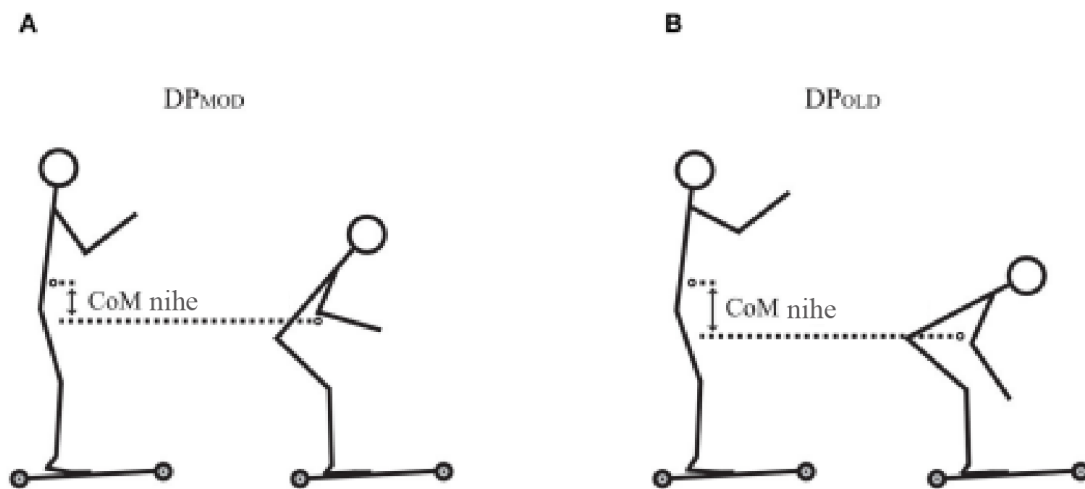
Varasemalt kasutatud paaristõuketehnikat (1980-1990-ndad), edaspidi „vana“, iseloomustab rõhutatult ülakeha ettekallutus tõukefaasis ning tõukefaasis hilisem küünarliigese sirutus, kus suusataja käed ja suusakeppide käepidemed mööduvad jalgadest allpool põlveliigest samaaegse keppide ettekaldega suurendamaks horisontaalseid kiirendusjõu komponente. On väidetud, et ülakeha rõhutatud ettekaldele mitte ainult ei suuna käsi ja käepidemeid allapoole, vaid annab õlgadele ja küünarvartele võimaluse jääda „mid-range“ asendisse, kust on võimalik tekitada suurem liigeskiirendus. See põhjustab suurema tõukejõu avaldumise ajahetkel, mil suusakepid on teravama kaldenurga all (Smith, 1992).

Tänapäevast paaristõuget, edaspidi „uus“, kirjeldab suurtel kiirustel iga jõurakenduse tsükli kestvuse vähenemine ja suurem jõurakendus antud ajaühikus. On leitud, et tänapäevane kiirem ning võimsam paaristõuketehnika on saavutatud tänu suuremale kepitõukejõule, mis omakorda on rakendatud lühema aja jooksul ning läbi palju dünaamilisema küünarliigese sirutus-painutusliikumise (Holmberg et al. 2005).

Maksimaalkiirusel on ajavahemik, mil suusakeppidega saab jõudu rakendada vähem kui 0,21s (Stöggel et al., 2010-2011), mis on ligikaudu 50% sellest ajast, mida on võimalik kasutada aeglasematel kiirustel (Lindinger et al., 2009). See ajavahemik on võrreldav kontaktajaga jala ja maapinna vahel joostes (Weyand et al., 2010).

Uue paaristõuketehnika juures ei toimu enam rõhutatud kehakallutamist ette ning see võimaldab kehamassi raskuskeskme kõrgemat lähteasendit libisemisfaasi alguseks võrreldes vana tehnikaga (Joonis 1). See tähendab lühemat kehamassi raskuskeskme teekonda libisemise

algfaasist lõppfaasi ehk väiksemat tööd, mida tuleb gravitatsiooni ületamiseks teha. See tähendab omakorda efektiivsemat energia kasutamist submaksimaalsetel kiirustel (Zoppirolli et al., 2015).



Joonis 1. Keha raskuskeskme (CoM) keskmine muutus paaristõukelises sõiduviisis tõuketsükli kõige kõrgema (A) ja madalama (B) positsiooni vahel uut (DP_{mod}) ja vana (DP_{old}) paaristõuketehnikat kasutades (Carlsson et al., 2022).

On leitud märkimisväärne erinevus kehamassi raskuskeskme liikumise kogu amplituudi vahel vana ja uue tehnika võrdluses. Nimelt vana tehnikat kasutades on kehamassi raskuskeskme vertikaalne liikumine 28cm ulatuses võrreldes 19cm uue tehnika puhul (Carlsson et al. 2022). Need uurimistulemused korreleeruvad ka varasemate uuringutega, kus vana tehnika puhul mõõdeti kehamassi raskuskeskme kõikumiseks 25-30cm (Smith, 1992).

Ka hilisem uuring on näidanud, et vana tehnika puhul rõhutatud ettekallutus annab suurema energiakulu võrreldes uue tehnikaga (Pellegrini, et al., 2018b). Antud uuringus väidetakse, et uut tehnikat kasutades on tõukefaasis suurem rõhk õlaliigese liikuvusel.

Lisaks kontsentreeritumale ülakeha tööle tõukefaasis, on uue paaristõuketehnika kasutamisel libisemisfaasis suur roll jalgadel (Holmberg et al., 2006). Libisemisfaasis sirutatakse hüppeliiges, põlve- ja puusaliiges välja, et tõsta kehamassi raskuskeset üles- ja ettepoole. See liikumine võib olla nii dünaamiline, et kannad ja ka terve labajalg on vahetevahel ka maast õhku tõusnud (Stöggl et al, 2011), jättes mulje, et suusataja liigub edasi justkui kanguru hüpetega. Kõrgem kehamassi raskuskese annab võimaluse libisemisfaasile järgnevas kepitõukefaasis rakendada keppidele suuremat jõudu tänu raskusjõu mõjul kiirenevale keharaskusele. See annab

ülakehatöole lisa kiirenduse. Kokkuvõtvalt kandub libisemisfaasi jooksul genereeritud potentsiaalne energia üle kineetiliseks energiaks (Pellegrini et al., 2014).

Uut paaristõuketehnikat iseloomustab ka enam ettekallutatud kehaasend kepitõuke lähteasendis, mis annab omakorda parema sõidu ökonoomsuse ja võib anda suurema efektiivsuse tõukefaasis (Zoppirolli et al., 2015). Samas uuringus, milles leiti kahe tehnika vaheline erinevus kehamassi raskuskeskme liikumise osas paaristõuke tsükli jooksul, võrreldi mõlema tehnikaga kulutatud energia hulka ning üllatuslikult leiti, et submaksimaalsel töö intensiivsusel ei ole uus tehnika efektiivsem võrreldes vana paaristõuketehnikaga (Carlsson et al., 2022). Võttes arvesse, et vana paaristõuketehnikat kasutades tuleb teoreetiliselt suuremas amplituudis kehamassi raskuskeset liigutada, võiks arvata, et see nõuab suuremat hapnikutarbimist lihaste poolt ja on kokkuvõttes energiakulu mõttes suurem töö. Uurimise tulemuste kohaselt ei leidnud see hüpotees kinnitust, mõlema tehnika puhul oli kogu energiakulu sarnane. Kuna uue tehnika kasutamisel oli paaristõuke tsükli aeg lühem (suurem sagedus) siis ühe tsükli kohta oli uus tehnika siiski väiksema energiakuluga. Vana tehnikat kasutades leiti 19% suurem potentsiaalse energia kulu kehamassi raskuskeskme suuremas amplituudis liigutamiseks (151J/s vana tehnika puhul vs 127J/s uue tehnikaga) ning leiti, et suurem kehatüve paindumine tõukefaasi lõpus on samuti energeetiliselt kahjulik.

Kokkuvõtvalt on tänapäevases paaristõuketehnikas maksimaalsetel kiirustel jõurakendus kontsentreeritult lühema tõukefaasi aja jooksul, mis võimaldab arendada suuremat kiirust lauskmaal (Lindinger et al., 2009). Selle kinnituseks on leitud, et parematel suusatajatel on väiksem tõukefaasi osakaal kogu paaristõuke tsüklist võrdluses madalama tasemega suusatajatega (Zoppirolli et al., 2020).

Viimane aastakümme on erilise konkurentsitiheduse toonud pikamaasuusatamises, kus omavahel võistlevad mitmed kümned professionaalsed ja pool-professionaalsed tiimid (*Visma Ski Classic* maratonide sarivõistlus). See on andnud tõuke ka spetsiifilisteks paaristõugete alasteks uuringuteks, kus püütakse leida erinevusi pikamaasuusatajate ja tavapikkustega distantsidel võistlevate suusatajate paaristõugete vahel. On leitud, et pikamaasuusatamisele spetsialiseerunud sportlased on tavadistantsidel osalejatega võrreldes parema paaristõukevõimekusega. Seda eelkõige tänu paremale paaristõukespetsiifilisele aeroobse ainevahetuse võimekusele, - efektiivsusele. On täheldatud ka biomehaanilisi erinevusi, kuid seda valdkonda on veel liiga vähe uuritud. Üheks põhjuseks pikamaasuusatajate paremaks kohastumiseks paaristõugetes on kindlasti

suurem paaristõugete osakaal treeningutel: 50% pikamaasuusatajatel vs 25% tavadistantsi sõitjatel (Torvik et al., 2022) .

Need biomehaanilised muutused suusatajate paaristõuke tehnikas on viinud selleni, et suusatajad kasutavad paaristõukelist sõiduviisi kordades enam erinevatel rajalõikudel, kaasaarvatud enamikel ja vahel ka kõikidel tõusudel (Pellegrini et al., 2018) ning Rahvusvaheline Suusaliit on sunnitud olnud kehtestama vahelduvtõukelisi sõidutsoone, et vahelduvtõukelist sõiduviisi “elus hoida”.

1.2 Paaristõuketsükli iseloomustus

Lisaks erinevustele vana ja uue paaristõuke tehnika vahel on lähemalt uuritud, kas on toimunud muudatusi üleüldises paaristõuke rütmis: sagedus, tõukepikkus, amplituud (Lindinger et al., 2009a) ning mis juhtub nende parameetritega erinevatel kiirustel. On leitud, et kui kiirused paaristõugetel jõuavad 27km/h, suureneb paaristõugete sagedus ning paaristõuketsükli pikkus, kuid sellest veel kiiremal liikumisel suureneb vaid paaristõugete sagedus. Submaksimaalsel kiirusel suurenes ka jõurakenduse sagedus, kuid kepitõuke aeg ja maksimaalse kepitõukejõu rakendumise aeg järkjärgult vähenesid. Siit järeldub, et suusataja on kiiruse suurenedes sunnitud vähenenud paaristõuke ajaühikusse üha suuremat jõudu rakendama. Küünarvarreliigese kinemaatikat uurides leiti, et submaksimaalsete kiirusteni vähenes küünarvarreliigese minimaalne nurk ning suurenesid nii liikumise haardeulatus, liigutuse painutuse ulatus kui nurkkiirused. Submaksimaalselt kiiruselt maksimaalse kiiruseni muutusi nendes parameetrites ei täheldatud. Submaksimaalsetel kiirustel vähenesid kepilöögi hetkel ja kepitõuke jooksul puusa- ja põlveliigete nurgad. Uuringu kokkuvõttes leiti, et kiiruse suurenedes tõstavad eliitsuusatajad paaristõugete sagedust ja suurendavad paaristõuketsükli pikkust (NB! mitte kestvust). Paaristõuketsükli pikkuse tõus on saavutatud läbi kepitõukejõu suurenemise hoolimata vähenenud rakendatava jõu ajast. Suuremate kiirustega kohanemisele aitasid kaasa haardeulatuse suurenemine, väiksem miinimumnurk ja suuremad nurkkiirused küünarvarre-, puusa- ja põlveliigestes (Lindinger et al., 2009a).

Erinevatel paaristõugete kiirustel on mõõdetud nii tõukeaegu kui tõukel rakendatavaid jõude (Lindinger et al., 2009b) ning leitud, et eliitsuusatajate paaristõukekiiruse suurenemisel 9km/h maksimaalkiiruseni (30-32km/h) vähenes tõukeaeg peaaegu kolmekordselt (702 +/- 33ms juurest 243 +/-9ms). Samal ajal maapinnasuunaliselt rakendatud maksimaalne jõud kahekordistus

maksimumkiirusel (132 ± 11 N-st 269 ± 16 N-ni). Aeg maksimaaljõu rakendumiseni paaristõukel vähenes üle kolme korra (223 ± 14 ms juurest 70 ± 4 ms-ni). Lisaks sellele suurenes jõu rakendamine ajaühikus peaaegu 7 korda (560 ± 158 N/s 9km/h kiirusel- ning 3826 ± 175 N/s maksimaalkiirusel sõites) (Lindinger et al., 2009b).

Lahendust on püütud leida hüpoteesile, mis väidab et maksimaalne suusatamise kiirus on positiivses korrelatsioonis paaristõuke tsüklipikkusega ja et kiireimad suusatajad rakendavad jõudu väiksema ajavahemiku jooksul ja neil on pikem paaristõuke libisemisfaas (Stöggl et al., 2009). 24 eliitsuusatajat kaasanud uuringus leiti, et varasemate sarnaste uuringutega võrreldes suutsid suusatajad kuni 34% suuremaid kiiruseid näidata ning kiiruse kasv saavutati peamiselt tsükli sageduse tõusuga mitte tõuketsükli pikkuse kasvuga. Sarnaselt teistele uuringutele leiti, et paaristõukete jõurakendamise aeg oli keskmiselt 210m/s. Kepitõuke jooksul läbitud distants ehk aeg, mil kepid puutusid maapinda, jäi samaks erinevatel kiirustel ($\sim 1,83\text{m} \pm 0,12\text{m}$). Uuringu kokkuvõttes rõhutatakse lühikese aja jooksul toimuva efektiivse tõukefaasi olulisust ja soovitatakse tõsta plahvatuslikke jõuvõimeid ja maksimaaljõudu arendavate treeningute mahtu suurendamiseks sportlase tõukejõu impulssi.

On uuritud, mis juhtub paaristõukeid iseloomustavate parameetritega erineva kiiruse ja lisatakistuse suhtes (Nilsson et al., 2013). Uuringus osalesid Rootsi juunioride koondise naissoost suusatajad ning katses muudeti osalejate liikuraja kiirust ning horisontaalset takistust. Selleks oli osalejatele lisatud raskus vöökohale, et jäljendada reaalses oludes eksisteerivat vastutuult ja suuskade ja lume vahelist takistust. Leiti, et takistuse suurendamisel suureneb tõukefaasi kestvus, kuid kiiruse suurenemisel mitte. Ehk mida kiiremaks muutub liikumiskiirus paaristõuketel, seda lühem aeg jääb suusatajal liikumiseks vajaliku jõuimpulsi tekitamiseks. Suusatajal peab olukorraga kohanemiseks suurendama rakendatavat jõudu ja/või suurendama tõukesagedust. Selles uuringus suurendasid sportlased nii tõukesagedust kui väljundjõudu testi maksimaalsete kiirusteni jõudmisel. Kui uuringus suurendati horisontaalset takistust jäi kepitõuke faas enam-vähem konstantseks, kuid vähenes libisemisfaasi aeg. See tähendab kogu paaristõuketsükli ajalist lühenemist ehk tõukesageduse tõusu.

1.3 Paaristõuked tõusul vs lauskmaal

On võrreldud paaristõukete parameetrite muutusi lausikul ning tõusul sõitmise vahel (Stöggl et al., 2016). Uuringus osalesid 13 tipptaseme meessoost murdmaasuusatajat ning rullsuusalindil

sõideti erinevate kiiruste ja tõusunurkadega. Leiti, et võrreldes paaristõugetega lausikul on ülesmäge paaristõugetel aeg kepitõuke lõpetamisest uue tõukefaasi alguseni peaaegu poole lühem (-48%) ning maksimaalsed tõukejõud suuremad (+13%) ning rakendatud hilisemas tõukefaasis (+68%). Lisaks sellele olid tõukejõud 18% efektiivsemalt edasiliikumisse suunatud. Kõikide jõukomponentide impulsid olid samuti suuremad (+87-123%). Võrreldes paaristõugetega lausikul, olid ülesmäge paaristõugetel suusatajate küünarvarred rohkem kõverdunud. Õlad olid väiksemas ettekaldes ja väiksemas abduktsioonis kogu tõukefaasi jooksul. Põlved ja hüppeliigesed olid rohkem kõverdunud, rindkere oli püstisem, puusapainutus oli väiksem ja täheldati väiksemat tahapoole suunatud hooliikumist tõukejärgselt.

Ülesmäge paaristõugetel tõstsid suusatajad 25% enam oma massikeset ning saavutasid sellega maksimaalse pöiale tõusu ning maksimaalse vertikaalse asendi tõukefaasi alguseks. Tõusul paaristõugetel oli maksimaalne kiirus positiivses korrelatsioonis keha massi, kepipikkuse- (% keha pikkusest) ja kandade tõusmise ulatusega tõuke algfaasis. Uuring andis uut infot ja nägemust eliitsuusatajate tänapäevase paaristõuketehnika koordinatsioonis ja kinemaatikas nii lausmaal kui tõusul (Stöggl et al., 2016).

1.4 Madal vs kõrge paaristõugete sagedus

On uuritud ja püütud leida kõige optimaalsemat paaristõuke sagedust (Lindinger et al., 2011). Eesmärk oli hinnata, kuidas eliit murdmaasuusatajad kohanevad liikurajal erinevate paaristõugete sagedustega (40x/min; 60x/min; 80x/min) erinevatel submaksimaalsetel kiirustel (12km/h; 18km/h; 24km/h). Mõõdeti tõuketsükli karakteristikuid, tõukejõude, liigesnurki ja psühholoogilist tagasisidet. Uuringu tulemustest lähtub, et kõige ebaefektiivsemaks osutusid paaristõuked sagedusega 80x/min. Seda nii suurenenud hapnikutarbimise-, kõrgevenud vere laktaadisisalduse- ja südamelöögisageduse näitude- ja eriti suurenenud ventilatsiooni tõttu. Sagedusel 60x/min oli vaid vere laktaadisisaldus kõige madalam, kuid kogu efektiivsus osutus suurimaks paaristõugetel 40 tsüklit minuti kohta. Uuringus leiti, et erinevate tõukesagedustega kaasnevad erinevad biomehaanilised, füsioloogilised ja psühholoogilised nõuded sportlasele ning submaksimaalsel kiirusel osutub kasulikumaks madalam tõukesagedus. Treeninguteks soovitavad uuringu läbiviijad murdmaasuusatajatel treenida erinevatel paaristõuke sagedustel, et vaheldada treeningkoormust. Uuringu järeldustes tasub siiski skeptiline olla, sest uuringus valitud sagedusvahemik oli ebaproportsionaalselt suur ning tulemused ei anna vastust küsimusele, mis juhtub kui suusataja tõukesagedus on näiteks 35; 37,5; 42,5; 45x/minutis. Lisaks ei ole uuringus arvesse võetud

sportlaste väljakujunenud suusatamise harjumusi tõukesageduse osas. Ehk kui uuringus osaleb suusataja, kes on aastate vältel treeninud paaristõukeid keskmiselt 40x/min, siis on tõenäoline, et kogu keha ja sportlase füsioloogia on selle rütmi enda jaoks kõige optimaalsemaks kujundanud ning teistsugustel sagedustel testi sooritades ei ole töö sama ökonoomne.

1.5 Põlveliigese dünaamika paaristõugetel

Suusatreeneritelt küsitakse sageli, kas paaristõugete sooritamisel tuleb põlveliigeseid kõverdada ja „kükida“? Sellele küsimusele on püüdnud vastust leida ka erinevad uuringud. On leitud, et paaristõugetel on oluline väikese ulatusega põlvede kõverdamine tõukefaasis keharaskuskeskme madalamale viimiseks, et kasutada keharaskust suurendamiseks vertikaalset-ja horisontaalset jõukomponenti kepitõukel (Nilsson, et al., 2013). Isoleeritud liikumisvõimega põlveliigestega paaristõugete sõitmise vastu räägivad mitme uuringu tulemused. Nimelt on leitud, et isoleeritud liikumisvõimega põlveliigestega paaristõugetel väheneb hapnikutarbimine ja jõud umbes 10% võrreldes takistamata põlveliigeselega paaristõugetel (Smith et al., 2005). Samas uuringus leiti, et suurim hapnikutarbimine ja jõu vähenemine esines juhul kui katses osalejad said paaristõugete sooritamiseks vaid käelihaseid kasutada. Sarnaseid tulemusi on saanud ka teised uuringud, kus ilmnes, et isoleeritud liikumisvõimega põlveliigestega liikurrajal paaristõukamisel väheneb maksimaalne hapnikutarbimine umbes 8% (Holmberg et al., 2005).

On leitud märkimisväärset paaristõugetel genereeritava võimsuse vähenemist jalgade vaba liikumise isoleerimisel (Hegge et al., 2016). Meessoost katses osalejate puhul täheldati keskmiselt 70W võimsuse vähendamist ning naissoost katses osalejate puhul 40W. Kokkuvõtvalt võib üsna kindlalt väita, et põlveliigese liikuvus paaristõuketsükli jooksul on oluline ning eliitsuusatajate jaoks on see teadlik strateegia kohanemaks nii suurenenud kiirusega kui suurema lisatud takistusega (Nilsson et al., 2013).

Paaristõugete biomehaanika valdkonda kuulub paljude noorsuusatajate puhul täheldatav väärarusaam, et mida kõvemini suusakeppe maha lüüa, seda tugevam tõuge ja kiirem suusasõit. On leitud vastupidist. Nimelt ei ole keppide maha löömisel tekkiv löögijõud korrelatsioonis maksimaalse kiirusega (Stöggl, Holmberg, 2011). Uuringus hinnati paaristõuke jõudude interaktsiooni ja suusakepi 3D liikumist 30km/h kiirusega paaristõukeid sooritades ning uuriti suusakepis avalduvate jõudude komponente, suusakepi ja maapinnale vahelisi nurkasid ja suusakepi käitumist tõuke ja lõdvestusfaasis. Maksimaalkiiruse testis rullsuusalindil osales 16

eliitsuusatajat. Leiti, et tõuke ettevalmistava perioodi kestus näitas tugevaimat korrelatsiooni maksimaalkiiruse suhtes ning kiiremate suusatajate paaristõuketsükliid olid pikemad, hõlmates endas nii pikemat libisemise- kui tõukefaasi. Lisaks oli suusakeppide ja maapinnavaheline nurk tõuke algfaasis väiksem ja maksimaalne kepitõukejõud avaldus tõukefaasis hilisemal ajal. Tõdeti, et suurematel kiirustel peab suusataja püüdma siduda omavahel suurt tõukejõudu sobiva tõukejõu ajastusega ning sobiva suusakeppide- ja keha asendiga tõuke- ja libisemisfaasi jooksul. Treeningutel soovitati rõhk panna tõukejõu tekitamiseks vajaliku spetsiifilise jõu arendamisele ja selle rakendamisse paaristõuke treeningutel. Kepitõuke algfaas ei olnud rohkem seotud maksimaalkiirusega kui algfaasile järgnenud tõukejõud (Stöggl, Holmberg, 2011).

1.6 Lihasgruppide töö paaristõugetel

Vastupidiselt varasemalt valitsenud arusaamale, et suur maksimaalne kiirus paaristõugetel tugineb valdavalt heale käelihaste (eriti õlavarre kolmpealihase) erialasele ettevalmistusele (Smith et al., 1988), on leitud, et paaristõuked on kompleksne liikumine, mis hõlmab endas nii üla- kui alakeha ja erinevaid biomehaanilisi aspekte sisaldavaid strateegiaid (Holmberg et al., 2005).

See paaristõugete biomehaaniline uuring, milles kasutati lihaste elektromüograafilist analüüsi (EMG), näitas, et ülakeha ja kere lihaskonnal (*m. teres major*, *m. latissimus dorsi*, *m. triceps brachii*, *m. rectus abdominis*, and *m. obliquus externus abdominis*) on kõrge EMG aktiivsus paaristõugetel kiirusega 85% maksimumist. Uuringus leiti, et parimatel suusatajatel on kepitõukejõud, vastupidiselt kepitõuke sagedusele, otseselt seotud paaristõugetel liikumise kiirusega ja sõltub spetsiifilisest lihasgruppide aktiveerimise muustrist küünarvarre, puusa ja põlveliigeseid ümbritsevates lihastes. Antud liigete miinimumnurgad esinesid maksimaalse jõuimpulsi rakendamisel. Lihasgrupid aktiveerusid järjestikku alustades keretüvelihastest ja puusapainutajatest, seejärel õlavarre sirutajad ja küünarvarre sirutajad. Parimatel suusatajatel täheldati väiksemaid liigesnurki (küünarvars, puus, põlv), kiiremat lihapinge tekkimist ning suuremat tõukejõudu lühema tõukefaasi jooksul. Uuringus antakse soovitus tulevikus leida seoseid paaristõugete biomehaaniliste ja füsioloogiliste muutujate vahel ning arendada treeningmudeleid paaristõugete võimekuse edasiarendamiseks.

Hilisemad paaristõugete EMG uuringud on leitud tulemusi kinnitanud (Lindinger et al., 2009, Nilsson et al., 2013). Enim paaristõugetel keha liikumapanevaid jõude tekitavates lihasgruppides

(*rectus femoris*, *rectus abdominis*, *latissimus dorsi* ja *triceps brachii*) toimub märkimisväärne suhteline aktivatsiooni taseme tõus nii kiiruse suurenemisel kui takistuse suurendamisel.

Sarnase tulemuseni on jõudnud ka teiste uuringute käigus (Bojsen-Møller et al., 2010). Uuringus leiti, et õla- ja küünarliigeseid ümbritsevad lihased, kõhulihased ning puusapainutajalihas näitasid paaristõugetel suurimat glükoosi tarbimise indeksit. Tähelepanu väärib, et intensiivsuse kasvades ei suurenenud märkimisväärselt glükoosi tarbimine ülakeha lihastes, küll aga suurenes indeks nii põlve painutajate- (27%) ja -sirutajate (16%) ning kõhulihastes (21%). Uuring küll kinnitas varasemate uurimiste tulemusi, et käelihased on paaristõugetel enim töös olevad lihased, kuid lisaks leiti, et paaristõugete intensiivsuse tõustes suurenevad märgatavalt selgroo, puusa- ja põlveliigest ümbritsevate lihaste osakaal (Bojsen-Møller et al., 2010).

Veel hilisemas uuringus on omakorda leitud, et ülakeha genereerib vaid ligi 50% vajaminevast jõust kiirel paaristõugete töö (Danielsen et al., 2015) ja suurtel kiirustel on väga oluline muundada libisemisfaasis alakeha poolt toodetud ja puusaliigese rotatsioonil tekkinud potentsiaalne energia kepitõuke võimsusesse, milles on omakorda väga suur panus kõhulihastel ja keha tüvel üldisemalt. Uuringu tulemused näitavad, et paaristõuked hõlmavad endas unikaalset liikumismustrit, mis erineb peaaegu kõigist teistest jalgadel toimuvatest liikumisviisidest, mida kirjeldatakse peamiselt nn pendel (*inverted pendulum*) või vedru (*spring-mass*) tüüpi liikumistena. (Danielsen et al., 2015). See uuring näitas ehedalt, missugune roll on kõhu- ja alakehalihastel ning kui kompleksset füüsilist ettevalmistust on sportlastel vaja kiires tempos paaristõukelises sõiduviisis liikumiseks. Sarnasele järeldusele jõuti ka hiljem kui leiti, et paaristõugete kiiruse kasvades tõuseb märkimisväärselt kehatüve- ja jalalihaste osakaal tõukejõu tekitamises (Zoppirolli et al., 2016). Põhjus peitub ülakeha lihaste piiratud võimekuses vajaminevat võimsust genereerida. Lisaks tõdeti, et kehatüve ja selle ümbruses paiknevate lihaste märkimisväärne rakendamine muutub strateegiliselt oluliseks tulemaks toime suurenenud tõukevõimsuse vajadusega. Uuringus leiti, et kiiruse suurenemisel paaristõugetel 65% südamelöögisagedusest (SLS) kuni 100% SLS-ini jäi ülakeha lihaste aktiivsus konstantseks, kuid märkimisväärselt tõusis kõhu sirglihase ja reie sirutajalihaste aktiivsus (Zoppirolli et al., 2016).

Paaristõugete lihasaktivatsiooni uuringutes (Lindinger et al., 2009; Nilsson et al., 2013) on juhitud tähelepanu ka elektromehhaanilisele viiteajale, ehk ajale närviraku aktivatsioonist lihasjõu rakendumiseni ning leiti, et paaristõugetel võib samuti kasulik olla põhiliste lihasgruppide

eelaktiveerimine/eelpingestamine enne tõukefaasi, et vältida viiteaegu lihasjõu rakendumisel paaristõugete tõukefaasis.

Ühes kõige hilisemas paaristõukealases uuringus on võrreldud erinevate tõusunurkade mõju paaristõuke tehnikale ja leitud, et käelihaste poolt tekitatud jõud väheneb tõusunurga suurenedes (Danielsen et al., 2019). Leiti, et 5% tõusunurgal on keskmine käelihaste poolt tekitatud jõuosakaal 63% ning 12% tõusunurga puhul 54%. Suurema tõusunurga juures suurenes kehatüve ning jalgade poolt genereeritud jõu osakaal 37%-st 46%-ni. Suurema tõusunurga korral lühenes libisemisfaasi ning suurenes tõukefaasi pikkus. Seda eelkõige gravitatsiooni ning väiksema kiiruse mõjul.

Hiljutises uuringus, mille eesmärk oli hinnata paaristõugetel liikumise kiiruse mõju mehhaanilise energia muutustele ja tõukejõu mehhaanikale, leiti, et kiiruse tõustes suurenevad märkimisväärselt nii kehatüve ja jalalihaste võimsuse produktsioon kui neeldumine (Danielsen et al., 2021). Suurenenud jalalihaste rakendus on tõenäoliselt efektiivse kepijõu rakendamise eelduseks väga suurte kiirustel ja väga lühikese kepitõuke aja tingimustes.

1.7 Lihasmassi osakaalu olulisus paaristõukelises sõiduviisis

Uuringud on leidnud, et paaristõugetel on naiste- ja meeste vahelised võimsuserinevused suuremad kui seda on teiste vastupidavusalade puhul mõõdetud, kus enamuse liikuma panevast jõust tekitavad jalalihased (jooks, rattasõit, kiiruisutamine) (Hegge et al., 2016). Uuringu tegijad väidavad, et paaristõugetes genereeritakse kogu keha liikuma panevad jõud paaristõukefaasis, kus enamuse jõust annavad käed ja kehatüvi, kuigi jalgadel on suur roll kogu keha tasakaalustamisel. Uurimine näitas naistel paaristõugetel väiksemat hapnikutarbimise võimet võrreldes saavutatud hapnikutarbimisevõimega jooksulindi. See näitab, et vaid ülakehaga tööd tehes ei suuda naised võrreldes meestega oma aeroobset- ja südameveresoonkonna võimekust rakendada. (Hegge et al. 2016). Uuringus osalesid rahvusvahelisel tasemel nais- (10) ja meessuusatajad (10). SkiErg paaristõuketrenazööri submaksimaalsel koormustel mõõdeti osalejate võimekust erinevatel paaristõukeviisidel: kogu keha-, ainult ülakeha-, ainult käsi rakendades. Uuringust selgus, et mehed suutsid ettearvatult igas sõiduelemendis naistest suuremat võimsust arendada: vastavalt 87, 97, 103% suuremat eelpoolmainitud sõiduviiside korral. Lisaks oli meeste hapnikutarbimine ~10% suurem igas sõiduviisis võrreldes. Kogu keha keskmine puhaslihaskmass oli meestel naistega võrreldes 35% kõrgem, ülakeha oma 38% ja käelihaste puhalihasmass 59% kõrgem kui naistel.

Leiti, et maksimaalse hapnikutarbimise ja väljundvõimsuse vaheline seos ei erinenud naiste ja meeste vahel.

Uuringu tulemustest on näha, et väljundvõimsuse erinevused naiste ja meeste vahel suurenesid sõiduviisi muutumisel ülakeha- ja käelihaste spetsiifilisemaks. See langeb kokku meeste puhaslihasmassi suurema osakaaluga antud lihasgruppides võrreldes naistega. Leiti, et lihasmass mitte ainult ei mõjuta energia- ja võimsuse tootmise kogumahtu, vaid toob esile erinevused ka rakendatud tehnikas. Mehed alustasid tõukefaasi iga sõiduviisi korral suuremate nurkadega õla- ja küünarvarreliigestes, mis andis võimaluse pikemaks tõukefaasiks ning suuremaks käte kõverduse- ning sirutuse ulatuseks. Täheldati, et mehed pingutasid tõukefaasis oma kehatüve suuremas ulatuses ning saavutasid tõukefaasi lõpuks madalama kehaasendi ülakeha ja kogukehaga paaristõuketööl. Võib arvata, et eesmärgiga rakendada maksimaalselt tõukefaasi alguseks tekitatud potentsiaalne energia paaristõukevõimsusesse.

1.8 Elastsusenergia / venitusrefleksi kasutamine paaristõuke sooritamisel

Efektiivset venitusrefleksi kasutamist paaristõukelisel sõiduviisil iseloomustab:

- 1) hästi ajastatud käe painutajalihaste eelaktiveerimine enne suusakeppide kontakti maapinnaga;
- 2) sellele järgnev lühike ja kiire ekstsentriline käelihaste sirutusfaas, mis pikendab lihas-kõõlus kompleksi);
- 3) silmapilkne (väikse viiteajaga) üleminek ekstsentrilise (venitus) faasi ja kontsentrilise (lihaskiu lüheneva) faasi vahel. Venitusrefleksi kasutamine hõlmab endas suurte, põhiliselt ekstsentrilise töö poolt tekitatud, jõudude avaldumist, soodustades elastsusenergia salvestamist lihas-kõõlus kompleksis, mis osaliselt taastatakse lihase lühenemisfaasis ja kasutatakse soorituse võimendamiseks. Väga pikka aega ei olnud keegi seda fenomeni paaristõugetel uurinud. Ühe paaristõukealase teadusuuringu kinemaatiliste näitajate põhjal on lühidalt arutletud selle fenomeni võimalikkust paaristõugetel küünarvarre ja õlaliigeses, kuid seda ei ole kinnitatud EMG uuringu abil. Alles 2009. aastal uuriti ülakeha lihaste aktiivust suurenenud paaristõugete kiirustel ning kas venitusrefleks omab paaristõugetel seost ülakeha lihasnärvide aktivatsiooniga (Lindinger et al., 2009b). Uuringus leiti, et eliit murdmaasuusatajad kasutavad suuremate jõudude genereerimiseks paaristõugetel venitusrefleksi fenomeni ning see esineb eriti õlavarre kolmpealihastes. Ühes hilisemas uuringus tõdetakse, et täpsemad uuringud on vajalikud, et täielikult aru saada võimalikust venitusrefleksi mõjust paaristõugetel (Nilsson et al., 2013).

2. SUUSASPETSIIFILISTE TREENINGUTE MÕJU MURDMAASUUSATAMISE PAARISTÕUKELISE SÕIDUVIISI TULEMUSLIKKUSELE

2000ndate alguse uuringud on kinnitanud tugevat seost maksimaalse paaristõuke kiiruse ja suusaspetsiifilise jõuvõimete vahel klassikasprindis (Stöggl et al., 2007). Et paaristõukeid kui komplektset liikumisviisi paremini uurida on välja töötatud erinevaid spetsiaalseid ülakeha võimekust mõõtvaid teste ja spetsiaalseid paaristõuke trenazööre, mis simuleerivad ülakeha liikumist paaristõugetel. Need on andnud võimaluse laboratoorsetes tingimustes erinevate testide kaudu suusaerialaste treeningprotsesside mõõtmist.

2.1 Intervalltreeningu mõju paaristõugete sooritusele

Nilsson et al., (2004) on leidnud positiivne korrelatsioon suusaerialaste treeningute ja paaristõugete efektiivsuse vahel. Uuringu tulemustest selgus, et 6 nädalane 20s või 180s paaristõuke intervalltreeningute tsüklil 3 korral nädalas suurendab hästitreenitud murdmaasuusatajatel märkimisväärselt väljundvõimsust 30s ja 6min testides ning valitud füsioloogilisi ja biomehaanilisi parameetreid (Tabel 1).

Tabel 1. Uuringu eelsed ja -järgsed parameetrite keskmised näitajad (Nilsson et al., 2004).

	20s intervalltreeningu grupp			180s intervalltreeningu grupp			Kontrollgrupp		
	n = 6			n = 7			n = 7		
	Tr. eelne	Tr. järgne	Muutus (%)	Tr. eelne	Tr. järgne	Muutus (%)	Tr. eelne	Tr. järgne	Muutus (%)
Keskmine võimsus 30 s ($W \cdot kg^{-1}$)	2.94 (0.65)	3.58 (0.94)	21* (16)	2.73 (0.55)	3.19 (0.59)	17* (5)	3.32 (0.74)	3.35 (0.82)	1 (6)
Maks. võimsus 30 s ($W \cdot kg^{-1}$)	3.49 (0.72)	4.28 (1.08)	22* (14)	3.11 (0.64)	3.65 (0.66)	17* (7)	3.81 (0.84)	3.86 (0.85)	1 (5)
Keskmine võimsus min ($W \cdot kg^{-1}$)	1.91 (0.40)	2.07 (0.47)	8* (8)	1.86 (0.47)	2.13 (0.44)	16* (10)	2.09 (0.43)	2.06 (0.35)	-1 (5)
Keskmine jõud 6 min ($N \cdot kg^{-1}$)	1.63 (0.36)	1.72 (0.29)	7 (8)	1.64 (0.32)	1.82 (0.30)	15* (11)	1.75 (0.42)	1.78 (0.38)	2 (15)
Tsükli sagedus 6 min ($c \cdot min^{-1}$)	48.2 (3.9)	53.6 (2.9)	12* (9)	49.4 (3.7)	51.3 (4.4)	4 (6)	48.4 (8.2)	50.3 (7.0)	4 (6)
$\dot{V}O_{2max}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	63.8 (9.9)	64.5 (10.3)	1 (4)	61.6 (7.1)	62.4 (8.0)	1 (2)	63.4 (6.2)	62.9 (5.5)	-1 (4)
$\dot{V}O_{2peak}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	54.2 (10.5)	53.4 (9.6)	-1 (4)	53.0 (7.3)	55.2 (7.8)	4* (3)	53.7 (6.0)	52.4 (4.5)	-2 (5)
Töö efektiivsus ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	44.6 (6.1)	40.6 (6.4)	-9* (6)	44.0 (4.8)	41.0 (4.6)	-7* (5)	40.0 (5.5)	39.5 (6.2)	-2 (5)
Vere laktaadi-kontsentratsioon ($mmol \cdot l^{-1}$)	4.6 (1.8)	4.1 (1.3)	-4 (8)	3.8 (1.0)	3.1 (0.8)	-18* (9)	3.2 (1.2)	3.2 (1.3)	0 (24)

* Muutuja märkimisväärne erinevus treeningute eelse ja -järgse testi vahel

Uuringus jaotati 20 sportlast kahe katsegrupi (20s ja 180s) ning kontrollgrupi vahel. Tulemustest selgus, et mõlemad katsegrupid suurendasid uuringus teostatud treeningperioodi järgselt märkimisväärselt nii keskmist kui maksimaalset väljundvõimsust 30s testil ning keskmist väljundvõimsust 6min testil võrreldes kontrollgrupiga. Lisaks parandasid mõlemad katsegrupid töö efektsiivsust ja 180s katsegrupil langes märkimisväärselt vere laktaadisisalduse kontsentratsioon submaksimaalse töö korral. Paaristõugete maksimaalne hapnikutarbimine tõusis märkimisväärselt vaid 180s grupil (Nilsson et al., 2004).

2.2 Ekstensiivse paaristõuketreeningu mõju tulemuslikkusele

Mõni aasta hiljem tehti kogu hooaja ettevalmistusperioodi hõlma uuring, mille eesmärgiks oli hinnata, kas hästitreenitud murdmaasuusatajatel treeningkavasse lisatud ekstensiivne paaristõuketreening viib õlavarre kolmpealihase adaptatsioonini ja kuidas see omakorda mõjutab paaristõugete tulemuslikkust. Uuringus osalesid 6 hea treenituse ja kõrge hapnikutarbimisevõimega võistlussportlast vanuses 18-20a, kellelt võeti lihasbiopsia proovid enne ja pärast suurendatud paaristõukeosakaaluga 20 nädala pikkust treeningtsükli, mis kestis mai algusest kuni oktoobri lõpuni. Katses osalejad läbisid 3x nädalas tavapärase klassikatehnikas rullsuusatreeningud nüüd vaid paaristõugetega (valdavalt aeroobses režiimis 1-1,5h 75-90% maksimaalsest südamelöögisagedusest). Katses osalejate treeningmaht suurenes perioodil 14% ja rullsuusatreeningute mahu osakaal kogu aeroobsetest treeningutest 27% võrreldes varasema aasta treeningmahtudega. Leiti, et eliitmurdmaasuusatajate õlavarre kolmpealihasel on sarnane vastupidavuslik adaptatsioon nagu varasema uuringu tulemusel jalalihastel ja see adaptatsioon hõlmas endas lihashüpertroofiat (õlavarre kolmpealihase ristlõikepindala suurenes 11,3% I-tüüpi lihaskiududel ja 24% II-A tüüpi lihaskiududel). Paranenud paaristõuke sooritus korreleerus suurenenud müosiin IIA raske ahelaga (MHC). Suurenes ka kapillaaride arvukus lihaskiu kohta 2,3-3,2 ($p<0,05$). 10km lausmaal sooritatud paaristõuke testi tulemus paranes 10,4% (kõik $P<0,05$). Katses osalejad, kes näitasid suurimat tulemuste arengut omasid ka suurimat lihasadaptatsiooni (Terzis et al., 2006).

Varasemalt on leidnud kinnitust, et paaristõugete tulemuslikkusel on suur roll ülakeha lihaste võimsusnäitajatel ning suusatajate sugudevahelised erinevused muutuvad suuremaks kui suurendada ülakeha osakaalu võimsuse tootmises (Sandbakk et al., 2014).

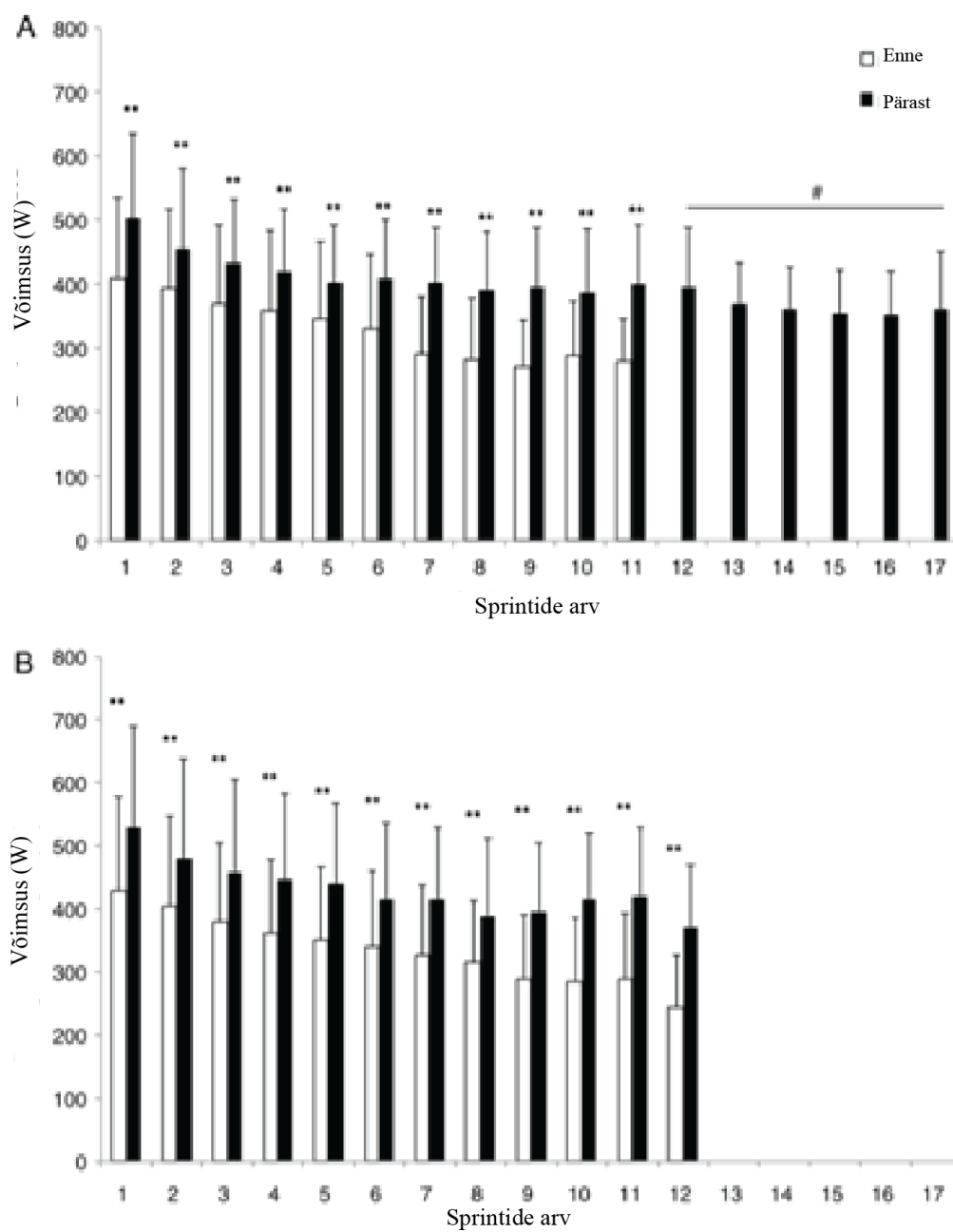
2.3 Sprindi kordustreeningu mõju paaristõugete sooritusele

Et naissoost suusatajate ülakeha võimekuse ja paaristõugete tulemuslikkuse seost hinnata on tehtud uuring, kus on võrreldud ülakeha sprindi kordustreeningu mõju võrdluses tavapäraste aeroobsete treeningute mõjuga paaristõugete vastupidavusvõimekusele. Uuringu tulemused näitasid, et sprindi kordustreeningu lisamisega tavatreeningutele saavutatakse suurem ülakeha maksimaaljõu ja maksimaalse hapnikutarbimise kasv kui tavapärase vastupidavustreeninguga (Vandbakk et al., 2017). Varasemad uuringud olid leidnud positiivse korrelatsiooni madala-ja keskmise intensiivsusega ülakeha treeningute ja paaristõugete võimekuse vahel (Terzis et al., 2006) ning sprindi kordustreeningu positiivse mõju vastupidavussooritusele erinevatel spordialadel, kus domineerivalt on keha liikuma paneva jõu tekitajaks jalalihased. Ei olnud uuringuid, mis oleks sama tõestanud spordialadel, kus keha liikuma panev jõud tekitatakse valdavalt ülakeha lihaste abil. Selles uuringus läbisid 17 naissoost suusatajat 8 nädalase treeningtsükli. Testgrupi 8 suusatajal oli iganädalaselt lisaks 2 treeningut, kus sooritati 6-8 30s maksimaalse kiirusega paaristõukesprinti. Kontrollgrupi 9 sportlast läbisid selle asemel 45–75min paaristõugetega rullsuuskadel madala-või keskmise intensiivsusega. Uuringu tulemusel leiti, et testgrupp parandas vahelduvtõukelise sõiduviisi absoluutset VO_{2max} näitajat 8%, kontrollgrupp vastavalt 2%. Mõlemad grupid parandasid hapniku omastamise maksimaalnäitajaid, kusjuures testgrupil paranes see näitaja 10%, kontrollgrupil aga 6%. Lisaks parandas testgrupp sooritatud jõuharjutustes 1 kordusmaksimumi näitajaid keskmiselt 18%, kontrollgrupis osalejad seevastu keskmiselt 10%. Ka keskmine ühe paaristõuke võimsusväljundi kasv oli testgrupil suurem, 20% võrreldes kontrollgrupi 14% vastu. Kokkuvõtvalt jõuti järeldusele, et naistel on väga suur potentsiaal parandada oma paaristõugete tulemuslikkust, kui ülakeha lihaste võimsusnäitajaid parandada (Vandbakk et al., 2017).

2.4 Sprinditreeningu mõju hüpoksilises keskkonnas

Concept2 SkiErg paaristõuke trenažööri kasutades on tehtud paaristõukelise sõiduviisi alane uuring, kus püüti leida vastust hüpoteesile, et kordussprinditreening hüpoksilises keskkonnas parandab paaristõukevõimekust enam kui sarnane treening normaalse õhurõhuga keskkonnas (Faiss et al., 2015). Varasemate uuringutega oli leitud positiivne korrelatsioon ratturite hüpoksilises keskkonnas tehtud kordus-sprinditreeningute ja normaalse hapniku osarõhuga keskkonna kordus sprintimise võimekuse vahel ning sooviti kontrollida, kas sarnane fenomen ilmneb ja on ehk veelgi kasulikum spordialadel, kus rakendatakse domineerivalt ülakeha lihaseid nagu murdmaasuusatamise paaristõugetel. Selles uuringus osalesid 17 hästitreenitud Rootsi

rahvuskoondise ja piirkondlike koondiste murdmaasuusatajat (sh 11 meest ja 6 naist), kes jagunesid testgrupi ja kontrollgrupi vahel. Mõlema grupi sportlased sooritasid kordussprinditesti enne ja pärast spetsiaalset 2 nädalast treeningtsükli, kus kummalgi nädalal oli 3 spetsiaalset kordussprinditreeningut. Testgrupil hüpoksilises keskkonnas, kontrollgrupil normaalse hapniku osarõhuga tingimustel. Treeningperioodile eelnev ja järgnev test sooritati maksimaalsete 10s sprintide korduste arvuni 20s puhkepausidega kuniks väljundvõimsus sprindis vähenes üle 30% maksimum väljundvõimsusest. Käesoleva uuringu tulemustest lähtus, et hüpoksilises keskkonnas kordussprindi treeninguid teinud grupp parandas enam oma kordussprintimise võimekust kui normaalse hapniku osarõhuga keskkonnas treeninud grupp (Joonis 2). Võrreldes eelpool mainitud sarnase ratturitega teostatud uuringuga, olid selles uuringus erinevused hüpoksilises- ja normaalse hapniku osarõhuga keskkonnas treeninud gruppide vahel veelgi suuremad. Põhjuseks toodi välja suuremat kiirete lihaskiudude osakaalu käelihastes, mis annab suurema osa võimsuse tootmisest paaristõugetel võrreldes jalalihaste võimsustootmisega rattasõidul. Väidetakse, et kompensatoorne veresoonte laienemise mehhanism on kiirete lihaskiudude puhul eriti tähtis kuna hüpoksilise keskkonnas toimunud sprinditreeningu järgselt on hapniku surve langus võimendatud. See võib olla põhjuseks, miks paaristõugetel ilmnenu väsimus tekkis suusatajatel hilisemas faasis kui ratturitel sarnases uuringus. Uuringu kokkuvõttes soovitatatakse tulevikus keskenduda optimaalse hüpoksilise kordussprindi treeningtöö ja puhkuse vahekorra väljatöötamisele ja optimaalse balansi leidmisele töö intensiivsuse ja lisandunud hüpoksilise stressi ulatuse vahel (nt. 3000m vs 4000m). Leidis tõestust, et 3000m kõrgust simuleeriv hüpoksiline keskkond on piisav positiivsete mõjutuste esilekutsumiseks organismis. Uuringu tulemustes nähakse kinnitust, et hüpoksiline kordussprinditreening on efektiivne treeningstrateegia, mis arendab sportlase võimet taluda enam korduva sprindisoorituse normaalse hapniku osarõhuga keskkonnas (Faiss et al., 2015).



Joonis 2. Võimsusväljund (W) järjestikustel paaristõuke sprindikordustel teostatud enne ja pärast hüpoksilises keskkonnas teostatud treeningperioodi (RSH)(A) või normaalse hapniku osarõhuga keskkonnas (RSN)(B) (Faiss et al., 2015).

3. JÕUTREENINGUTE MÕJU PAARISTÕUKELISE SÕIDUVIISI TULEMUSLIKKUSELE

Kuigi murdmaasuusatamine on tüüpiline vastupidavusspordiala, mille tulemuslikkus sõltub suuresti maksimaalsest aeroobsest võimekusest, on sprindi- ja ühisstardist võistlused tõstnud teiste tippkiirust mõjutavate füsioloogiliste faktorite olulisust, nagu näiteks lihasjõud ja võimsus, et saavutada suuremaid kiirusi. Lisaks jõutreeningute võimalikule rollile maksimaalse võimsuse ja maksimaalse kiiruse saavutamisel suusatamises võib jõutreeningu tulemusel suurened ka suusatamise ökonoomsus läbi vähenenud energiakulu. Seda väidet on seni uuritud vaid paaristõuke trenaaõõril, mis erineb lumel suusatamisest (Hoff et al.,1999, 2002; Østeras et al., 2002). Jõutreeningute ja lihasmassi seostest on tehtud uuringuid, mille tulemustest selgub, et tavapärase vastupidavustreeningu asendamisel maksimaalse jõu treeninuga ei suurene suusatajate lihasmass (Hoff et al., 1999, 2002; Østeras et al.,2002; Nesser et al., 2004). Peab siinkohal mõõnma, et antud uuringutes ei mõõdetud otseselt osalenud sportlaste lihasmassi, vaid järeldus tehti kuna uuringu käigus ei muutunud osalenud sportlaste kogu kehamass.

Jõutreeningute negatiivse mõju osas murdmaasuusatajate tulemuslikkusele on leitud, et jõutreeningud ei paranda sportlase hapnikutarbimise võimet. Hapnikutarbimine on teadupärast üks parameetritest, mis kõige paremini suusataja tulemusega korreleerub. (Hoff et al.,1999, 2002; Mikkola et al., 2007; Skattebo et al., 2016). Küll aga tõdeti, et osa vastupidavustreeningute asendamine jõutreeningutega ei ole takistuseks normaalse hapnikutarbimise maksimumi tõusule, mida vastupidavustreeningutega soovitakse saavutada. (Hoff et al., 2002). Et antud valdkonna uuringutest parem ülevaade saada, olen jaganud viimaste aastakümnete kõige olulisemad teadusuuringud selles valdkonnas grupeerituna 3 ajajärku.

3.1 Jõutreeningu trendid teadusuuringutes 2000 – 2008.a

Selle sajandi alguses teostati uuring, mille eesmärk oli leida maksimaaljõu treeningu neuroloogilise adaptatsiooni mõju murdmaasuusatajate jõu- ja vastupidavusvõimekusele. Tulemustest selgus, et ühe korduse maksimum paranes märkimisväärselt 40,3 +/- 4,5kg enne uuringut ja 44,3 +/- 4,9kg uuringu järgselt ning ajakulu maksimaalse jõu rakendumiseni vähenes 50% ja 60% kahel erineval submaksimaalsel töökoormusel. Vastupidavusvõimekust mõõdeti paaristõuke trenaaõõril sooritatud testi suutlikkuseni sooritatud ajaga maksimaalsel aeroobsel kiirusel. See näitaja paranes 6,49 minutilt 10,18 minutini, mis oli 20,5% enam kui kontrollgrupi

sportlastel. Uuringu tulemustest järeldati, et lihaste närviadaptatsiooni stimuleeriv maksimaaljõu treening parandab jõunäitajaid ning eriti jõu rakendamise kiirust. Parandab ka aeroobne vastupidavus tänu paranenud töö efektiivsuse (Hoff et al., 2002). Hilisemad uuringud on aga selle uuringu tulemused kahtluse alla seadnud (Skattebo et al., 2016).

Teised uuringud on näidatud, et jõutreeningute ja liikumist teostavate lihaste neuromuskulaarne adaptatsioon on võtmefaktoriks paaristõugete võimekuse arendamisel (Nesser et al., 2004; Stöggl et al., 2011). Neist esimeses uuringus võrreldi 4 erineva tavapäraselt kasutatava treeningmeetodi (raskustega jõutreening, ringmeetodil jõutreening, rullkelk (*rollerboard*), erialane jõutreening) mõju 16-18 aastaste suusatajate ülakeha võimsusnäitajate arengule ning tulemustest järeldati, et ainult rullkelku kasutanud katsegrupp parandas märkimisväärselt ülakeha võimsuse- ja jõunäitajaid. Uuringu tulemuste põhjal järeldati, et 5-12 kordusmaksimumiga rullkelgu kasutamine ja plahvatusliku kiiruse harjutuste tegemine on efektiivsem kui teised tavapärased treeningmeetodid juunioride vanuses suusatajatele. Praktilist väärtust uuringu andmetele kinnitas väga suur seos võistlustulemuste ja ülakeha jõunäitajate arengu vahel (võimsus, jõud, vastupidavus) (Nesser, et ., 2004).

2000ndad aastate algus oli ajajärk, mil hakati enam uurima jõutreeningute seost paaristõugete tulemuslikkusega. Püüti leida vastus, kas paljude suusatajate poolt erialase jõutreeningu- ning testimise seadmena kasutatav rullsuusakelk omab biomehaanilist valiidsust tulemuste hindamiseks. Uuringu tulemuste põhjal tõdeti, et seade on sobilik spetsiifilise ülakeha maksimaaljõu, plahvatusliku jõu ja jõuvastupidavuse näitajate parandamiseks, kus tuleb sooritada võrdlemisi väike arv kordusi. Pikemad intervallid (palju kordusi) antud seadmel võivad omada negatiivset mõju paaristõuke tehnikale (Stöggl et al., 2006). On püütud leida vastust hüpoteesile, et maksimaalne võimsus, plahvatuslik jõud ja jõuvastupidavus omavad positiivset korrelatsiooni paaristõugetes sprintimise võimega. Selleks loodi spetsiifiline ülakeha jõu- ja võimsuse test suusasprinteritele ning kontrolliti selle testi usaldusväärsust ja valiidsust. Uuringus osalesid 19 eliit murdmaasuusatajat, kes sooritasid 2 korda 2-osalise testi rullsuusakelgul, kus testi esimeses osas mõõdeti 4-korduse maksimumvõimekust ja teises 40 korduse võimekust, et määrata suusaspetsiifiline ülakeha võimsus ja plahvatuslik jõud. Uuringu tulemustest lähtub, et selline kaheosaline test on vähest aega nõudev, usaldusväärne, valiidsus ning esineb kõrge korrelatsioon 1000m paaristõukesprindi tulemuslikkuse ja 40 kordustesti keskmiste näitajate ja väsimusindeksi vahel. Lisaks annab 4-korduse testi maksimaalse võimsusväljundi seos 50m ning 1000m sprindi

tulemuste suhtes põhjust soovitada tõsta suusaspetsiifilist plahvatusjõudu ja maksimaalset võimsust tõstvate treeningute osakaalu (Stöggl T, et al. 2007).

3.2 Jõutreeningu trendid teadusuuringutes 2009– 2017.a

Eelpool sai näidatud, et võrdeliselt kiiruse suurenemisele väheneb aeg, mil on võimalik suusakeppidega jõudu rakendada, mis omakorda tähendab suuremat jõuimpulssi ajaühiku kohta (Lindinger et al., 2009). Lisaks on varasemate uuringute tulemused näidanud, et jõutreeningute abil väheneb aeg, mis kulub suusataja jõuimpulsi rakendamiseks (Hoff et al., 1999, 2002; Mikkola et al., 2007). See viitab sellele, et jõutreeningud omavad eeldust parandamaks suusataja tippkiirust.

Losnegard et al., (2011) on uurinud vastupidavustreeningute jõutreeningutega (2x nädalas) asendamise mõju suure vastupidavustreeningu mahuga perioodil. Püüti leida vastus, kuidas see treeningute asendus mõjutab õlavarre kolmpealihase ja reie nelipealihase ristlabilõikepindala, maksimaalset hapnikutarbimist jooksu- ja uisutehnika rullsuusatestil ning energiatarbimist submaksimaalsel rullsuusatestil, üldist võimekust rullsuusa testvõistlusel, paaristõuke trenažööri testil ja rullsuusatamise sprindis. Uuringus osalesid 11 mees- ja 8 naissoost suusatajat, kes olid jagatud testjõugrupi ja kontrollgrupi vahel. Testjõugrupi sportlased lisasid oma tavapärasele treeningmahule 2 lisa jõutreeningut 12 nädalase mõjutusperioodi vältel (Tabel 2). Uuringu tulemustest selgus, et testjõugrupp parandas kordusmaksimumi istes plokk-kangi rinnale tõmbes 19% +/- 2% ja kangiga poolkükis 12% +/-2%. Kontrollgrupi sportlastel muutusi antud harjutustes ei täheldatud. Õlavarre kolmpealihase ristlõikepindala suurenes mõlemal grupi sportlastel, kuid reie nelipealihase oma mitte. Uisutehnika maksimaalne hapnikutarbimine paranes testjõugrupil 7% +/-1%, kuid jooksutesti maksimaalne hapnikutarbimine mitte.

Tabel 2. Testgrupi jõutreeningu programm (Losnegard et al., 2011).

Nädal	1–3	4	5–8	9–12
Treeninguid nädala jooksul	2	2	1	2
Seeriad ja kordused	Päev 1: 3 × 6RM Päev 2: 3 × 10RM	Päev 1: 3 × 5RM Päev 2: 3 × 8RM	Päev 1: 4 × 8RM	Päev 1: 3 × 4RM Päev 2: 3 × 6RM

RM: kordusmaksimum

Submaksimaalsetel kiirustel rullsuusatamises ei täheldatud energiatarbimise muutusi. Paaristõuke võimekus paranes enam testjõugrupil võrreldes kontrollgrupiga.

Mõlema grupi rullsuusatamise ajasõidu tulemused paranesid sarnases suurusjärgus. Uuringu korrelatsioonianalüüsi tulemuste põhjal arutleti, et füüsiliselt nõrgemad katsealused võivad tavatreeningutele lisatud rasketest jõutreeningutest kasu saada. Lisaks võib see näidata, et optimaalsete tulemuste saavutamiseks murdmaasuusatamises on olemas vajalike jõunäitajate piirmäär ning füüsiliselt tugevad sportlased võiksid keskenduda teistele treeningviisidele kui rasketele jõutreeningutele ning hoida olemasolevat jõuvõimete taset. Samal ajal füüsiliselt nõrgemad sportlased saavad tõenäoliselt kasu jõutreeningute osakaalu suurendamisest kogu treeningmahu suhtes (Losnegard et al., 2011).

Juba eelmisel sajandil on uuritud, kas maksimaaljõu treening parandab paaristõuke tulemuslikkust läbi tõusnud paaristõugete ökonoomsuse (Hoff et al., 1999). Selgus, et paaristõugete ökonoomsus, mis tähendas vähenenud suhtelist tööhulka vähenenud ajahulga suhtes paaristõugete maksimaalse-jõurakenduseni, paranes märkimisväärselt. Toonases uuringus ei täheldatud anaeroobse läve muutusi ei test, ega kontrollgrupis osalejatel. Jõutreeningute testrühmal paranes pingutuse aeg suutlikkuseni keskmiselt 5,2 minutist enne 9 nädalast treeningperioodi kuni 12,3minutini treeningperioodi järgselt. Testgrupi pingutuse aeg suutlikkuseni oli keskmiselt vastavalt 4,0 minutit ja 6,3minutit. Skattebo et al., (2016) on selle möödunud sajandi uuringu tulemused kahtluse alla seadnud ning leidnud vastupidiseid tulemusi jõutreeningute mõjust paaristõuke võimekusele. Teostatud uuringu 10 nädalase raske ülakeha jõutreeningu tsüklil leiti minimaalne efekt naissoost juunioride paaristõuke võimekusele. Selles uuringus olid 16 hästitreenitud naissoost suusatajat vanuses 16-18 aastat jaotatud jõutreeningute grupi (9) ja kontrollgrupi (7) vahel. Jõutreeningu grupp sooritas tavapärastele aeroobsetele ja lihasvastupidavustreeningutele lisaks 2 rasket ülakeha jõutreeningut. Tulemustest selgus, et ainus parameeter, mis jõutreeningu grupil paranes võrreldes kontrollgrupiga, oli istes rinnale tõmme harjutuse ühe korduse maksimum. Selles uuringus paranes ühe jõuharjutuse kordusmaksimum jõutreeningu grupil 24% enam võrreldes kontrollgrupiga. Varasemate uuringutega jõutreeningute mõjust suusatajate arengule on saadud tulemus 10-23%. Vastupidiselt varasematele uuringutele, kus jõutreeningutel on olnud positiivne mõju VO_{2max} ja VO_{2peak} näitajatele, näitasid jõutreeningud selles uuringus negatiivset mõju VO_{2max} ja VO_{2peak} võrreldes kontrollgrupi sooritusega. Submaksimaalne hapnikukulu ei omanud antud uuringus märkimisväärset muutust ning ka see on konfliktis enamike varasemate uuringutes leituga. Uuringu läbiviijad tõdeavad, et viimastel kümnenditel on paaristõuketehnika ja paaristõuke trenaažöörid märkimisväärselt arenenud ning annavad varasemate uuringute valiidsusele negatiivse hinnangu (Hoff et al., 1999, 2002; Østerås

et al., 2002). Leitakse, et hetkel teadaoleva info kohaselt ei saa kindlalt väita raske ülakeha jõutreeningu positiivset mõju murdmaasuusatajate harjutuste ökonoomsusele. Kuna testi aeg oli lühike, ei saa hinnata raske ülakeha jõutreeningu mõju pikemaajalise pingutuse järgselt nagu on leitud ratturitel, kelle puhul raskete jõutreeningute lisamine aeroobsetele treeningutele parandas 5 minuti maksimaalse pingutuse võimsust 3h pikkuse submaksimaalse rattasõidu järgselt. (Rønnestad et al., 2011). Kokkuvõtvalt erinesid selle uuringu tulemused 3 varasema sarnase uuringu omadest (Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002), kus leiti väga suur jõutreeningute positiivne mõju kurnatuseni sooritatud paaristõuke trenažööri testi ajalisele kestvusele (Skattebo et al., 2016);

2017. aastal uuriti, kuidas treenimine paaristõuke trenažööril parandab paaristõugete efektiivsust, maksimaalset hapnikutarbimist ja maksimaalkiirust võrreldes alternatiivse jõutreeninguga (Carlsson et al., 2017). Uuringus osales 33 nais-ja meessoost suusatajat vanuses 16-18 aastat ning rullsuusalindil tehtud testide tulemusena leiti, et nii kaks 40 minutilist lisajõutreeningut kui kaks 40 minutilist lisa paaristõuke trenažööril treeningut nädalas 6 nädala jooksul parandavad naistel üldist paaristõugete efektiivsust (*gross efficiency*), maksimaalkiirust ja hapnikutarbimist. Meestel paranes paaristõugete maksimaalkiirus vaid lisa jõutreeninguid teinud katsegrupil. Üldise efektiivsuse test sooritati rullsuusalindil 2% tõusunurga ja kiirusega, kus vere laktaadisisalduse tase sportlasel oli keskmiselt 2-3mmol/l. Üldine efektiivsus arvutati sooritaud testi lõpus mehaanilise töö ja ainevahetusliku kulumise suhtena ühe minuti jooksu. Maksimaalne kiirustest ja hapnikutarbimise test sooritati samuti 2% tõusunurgaga rullsuusalindil astmeliselt kiirenevate testide käigus. Uuringu kokkuvõttes tõdeti, et mõlemad treeningrežiimid parandasid tulemust, kuid naissoost suusatajate füsioloogiline kohenemine treeningule oli meestest suurem. Mõlema lisatreeningute režiimiga saavutati sarnane füsioloogiline adaptatsioon. Uuringus ei leitud märkimisväärset üldise efektiivsuse paranemist kummagi grupi puhul (Carlsson et al., 2017).

3.3 Jõutreeningu trendid teadusuuringutes 2018 – 2022.a

Üks vähestest paaristõukeid ja jõunäitajaid analüüsinud uuringutest on uurinud koormusel tekkiva kerelihaste väsimuse mõju paaristõuke võimekusele. Uuringus osalesid 16 hästitreenitud meessoost suusatajat, kes läbisid kaks identset kõhulihaste ning 3-min paaristõuke testi trenažööril, mille vahel pooled uuringus osalejad tegid 25 minuti pikkuse kehatüve väsitava treeningu ja pooled puhkasid. Kehatüve treeningut sooritanud testgrupil vähenesid maksimaalne jõunäitaja isomeetrilisel kehatüve painutamisel (-66%) ning sirutamisel (-7.4%). Keskmise väljundvõimsus

paaristõuketestil vähenes 14%, maksimaalne hapnikutarbimine 6%. Tulemustest võib järeldada, et suurem kehatüve ja kõhulihaste võime taluda koormust on tähtis talumaks suurel intensiivsusel paaristõukeid (Bucher et al., 2018).

2019.a tehti 28 sarnase treeningtaustaga 18-25a Norra suusatajat hõlmav võrdlev uuring, mille eesmärk oli võrrelda paaristõuke rullsuusatesti tulemusi sportlaste erinevate füsioloogiliste näitajatega. Uuringus osalejatel mõõdeti maksimaalset hapnikutarbimist jooksulindil ja paaristõuketrenazööril, paaristõugete laktaadisisalduse lävesid ja ökonoomsust, maksimaalset vabatahtlikku pingutusvõimet paaristõugetes, paaristõugete jõuanalüüsi, ühe korduse maksimumi rippes käte kõverdamisel ja jalapressis. Tulemustest selgus tugev korrelatsioon rullsuusatesti aja ning rippes käte kõverdamiste ühe korduse maksimumi vahel nii meestel kui naistel. Suuremad ülakeha jõunäitajad korreleerusid paranenud paaristõugete sooritusega: lühem jõurakendamise aeg ning madalam paaristõukesagedus. Uuring näitas selgelt ülakeha maksimaaljõu näitajate seost paaristõugete tulemuslikkusega ning ülakeha maksimaaljõu treeningute olulisust murdmaasuusatajate treeningplaanis. Uuringu teostajad soovivad rakendada murdmaasuusatajate treeningprogrammides maksimaaljõu treeninguid, kus sooritatakse 2-5 kordusega 3-5 seeriat pikkade pauside ja maksimaalse mobiliseeritusega harjutuse kontsentrilises faasis. Need põhimõtted on varasemates uuringutes parandanud maksimaaljõu näitajaid ja töö ökonoomsust (Sunde et al., 2019).

Eesti teadlased on hiljuti võrrelnud erinevat tüüpi jõutreeningute periodiseerimise mõju keha kompositsioonile ja maksimaalsele paaristõuke töövõimele. Uuringu tulemustest järeldati, et erinevad jõutreeningute periodiseerimised viivad sarnaste tulemusteni paaristõuketrenazööri testil, kuid hõlmasid endas erinevat tulemust kehakompositsioonis (Vahtra et al., 2022).

Jõutreeningute mõjust murdmaasuusatamise tulemuslikkusele on tehtud hiljuti laiapõhjaline metaanalüüs, kus teadusuuringute andmebaasidest (*Pubmed, Scopus, Web of Science and Cochrane Library*) valiti 212 uuringu hulgast välja 10 kõige sobivamat, milles kõigis uuriti maksimaaljõu treeningute mõju 6-12 nädala jooksul noote hästitreenitud suusatajatel. Tulemused näitasid, et maksimaaljõu treening võib parandada olulisi tulemusi määravaid muutujaid nagu näiteks paaristõuke ökonoomsus ja maksimaaljõud. Siiski ei avaldunud positiivne mõju hapnikutarbimise paranemisele. Efektiivselt sooritust parandavaks tunnistati vastupidavus- ning maksimaaljõu treeningute kooslus (Castaneda-Babarro, et al., 2022).

4. MUUD MURDMAASUUSATAMISE PAARISTÕUKELISE SÕIDUVIISI TULEMUSLIKKUST MÕJUTAVAD TEGURID

4.1 Hapnikutarbimine paaristõukelises sõiduviisis

Juba ammu on teada, et aeroobsed energia muundamise protsessid hõlmavad endast enamuse murdmaasuusatamises vajaminevast energia tootmisest ning eliit murdmaasuusatajad omavad kõrgeimaid maksimaalse hapnikutarbimise näitajaid ning on tugev seos maksimaalse hapnikutarbimise võime ja murdmaasuusatamise tulemuste vahel 1990-ndate teises pooles hakati enam tähelepanu pöörama ka ülakeha võimsuse tootlikkuse seosele paaristõugete tulemuslikkusega. Rohkearvuliselt lisandunud sprindi- ja paarissprindi võistlused Rahvusvahelise Suusaliidu (FIS) võistluskalendris ning korduvad tempomuutused ja vahefinišid pikkadel ühisstardist võistlustel, on lisaks suurenenud ülakeha võimsuse osakaalule paaristõugetes suurendanud ka anaeroobsete energia muundamise protsesside osakaalu ja paaristõugetes maksimaalkiiruse arendamise võimekuse tähtsust võistlustulemustes (Sandbakk et al., 2014). See on andnud tõuke uurida uusi treeningmeetodeid, mis võistlustulemuste paranemisele kaasa aitaksid (Faiss, et al. 2015).

On korduvalt leitud, et hapnikutarbimine on paaristõugetel märkimisväärselt väiksem kui antud sportlase maksimaalne hapnikutarbimine jooksmisel (Holmberg et al., 2006; Bojsen-Moller et al., 2010; Stadheim et al., 2013), mis näitab, et isegi parimad murdmaasuusatajad ei suuda oma keha maksimaalset hapnikutarbimise võimet ja südamelöögisagedust realiseerida paaristõugetel. Selle põhjuseks arvatakse olevat erinevused jala- ja käelihaste metabolismis ja käelihaste väiksemas hapniku eraldatuse võimes (Calbet et al., 2005) või lihtsalt arvamusel, et paaristõugetel rakendatakse väiksemat lihasmassi kui jooksmisel. Olgugi, et on leitud, et jalalihased kasutavad suurt osa hapnikku ka paaristõugetel (Bojsen-Moller et al., 2010; Holmberg et al., 2006).

Seda kinnitab ka uuring, kus leiti, et 3 kraadise tõusunurgaga paaristõugetel kiirusel 15,8km/h pingutusega ~86% maksimaalsest hapnikutarbimisest moodustab jalgade hapnikutarbimise osakaal ~46% kogu hapnikutarbimisest ja käelihaste hapnikutarbimine 37% (Calbert, et al., 2005). Uuringus osalesid 6 hästitreenitud ala- ja ülakehalihastega murdmaasuusatajat rullsuusalindil erinevatel sõiduviisidel ning eesmärk oli kindlaks teha, kas hemoglobiinist hapniku kasutamise ja eralduse tingimused erinevad kui rakendada, kas alakeha, ülakeha või mõlemat. Hapnikutarbimine on olnud keskne parameeter ka teistes paaristõukeid uurinud teadusuuringutes. On leitud, et

võistlusdistanti pikenemisega väheneb naissoost suusatajatel ülakeha maksimaaljõu ja lihasmassi osatähtsus ning suureneb hapnikutarbimise osatähtsus (Østerås et al., 2016). Uuringus püüti leida seoseid paaristõukevõimsuse ning üldise sooritusvõime vahel ning selleks uuriti 13 naissoost eliitsuusataja keha lihasmassi ja maksimaalset hapnikutarbimist. Hapnikutarbimist peetakse suusatajate tulemuse ennustamisel üheks olulisemaks näitajaks ning ülakeha jõudu ning lihasmassi seostatakse paaristõukevõimsusega. Tehti nii 30s kui 3 minutiline paaristõuketest suusatrenažööril. Sportlaste üldise erialase võimekuse määramisel võeti aluseks FIS punktid. Sportlaste maksimaaljõu näitajate määramiseks sooritati kolm kordusmaksimumiga jõutesti paaristõuke-spetsiifiliste harjutustega, kus küünarvarre, õla ja kõhu kõverdamine oli isoleeritud. Keha lihasmass määrati DXA skaneerimise abil ja maksimaalne hapnikutarbimine (VO_{2max}) astmelise jooksutesti abil. Vaadeldud parameetritest oli 30s testi puhul kõige suurem positiivne korrelatsioon sportlase lihasmassil ja maksimaalsel ülakehajõul. 3-minutilise paaristõuketulemuste ja vaadeldud parameetrite vahel leiti suurim korrelatsioon maksimaalse hapnikutarbimisega ning samuti keha lihasmassi ja maksimaalse jõunäitajate vahel. Üldine murdmaasuusatamise tase omas 3-minutilisel testil väiksemat korrelatsiooni.

Lisaks on tehtud paaristõukealane uuring, kus ilmnes, et eliit meessoost suusatajad omavad paaristõugetes naistest 63% suuremat maksimaalset hapnikutarbimise näitajat, mis kehakaaluga normaliseerides andis 16% ning keha rasvavaba massiga normaliseerides 8% suurema tulemuse ($P < 0,05$). Uuringuga tõestati, et sugude vahelised erinevused võimenduvad kepitõukejõu osakaalu suurenemisel (Sandbakk, et al., 2014).

4.2 Kofeiini mõju paaristõukelise sõiduviisi sooritusele

Lisaks paljudele erinevatele paaristõuke tulemuslikkust mõjutavatele teguritele on uuritud ka kofeiini mõju paaristõuke tulemuslikkusele (Stadheim et al., 2013), sest varasemalt pole ühtegi uuringut, mis oleks näidanud kofeiini positiivset mõju sel tegevusel, hoolimata sellest, et paljud viimase 40 aasta jooksul tehtud uuringud on näidanud kofeiini tarbimise (3–9 mg/kg) positiivset mõju vastupidavuse tulemuslikkusele jalgrattasõidus, jooksus, sõudmises. Seda nii lühiajaliste kui pikaajaliste suutlikkuse pingutuste korral. Uuring tehti, sest paaristõugetel on käelihastel suur osa keha liikuma paneva jõu tekitamisel ning käelihaste metabolism võib erineda jalalihaste omast ning seega ei pruugi varasemate uuringute tulemused korreleeruda paaristõukel sooritatud pingutuse korral. Uuringus osalesid 10 hästitreenitud murdmaasuusatajat 9km paaristõuketestil ning osalejatele manustati kas kofeiini (6mg/kg) või platseebot 75min enne testi sooritamist. Uuringu

tulemustest selgus, et kofeiini manustamine parandas paaristõuketesti läbimist 8 sportlasel 10st keskmiselt 4%, (testi aeg 34:26 +/- 1:25 minutilt 33:01 +/- 1:24 minutini). Kofeiini manustamisel suutsid katses osalenud sportlased hoida suuremat kiirust (14,5 +/- 0,6km/h vs 13,9 +/- 0,6km/h) ning südamelöögisagedust (179 +/-2 lööki/min vs 174 +/- 2 lööki/min) kogu testi jooksul võrdluses platseebo manustajatega. Suurem kiirus saavutati tänu suurenenud keskmisele tõukevõimsusele, sest tõugete arv testi jooksul jäi mõlemal juhul samaks. See annab alust uuringu läbiviijatel arvata, et võimsuse kasv saavutati tänu kofeiini mõjul paranenud maksimaalsele vabatahtlikule lihaskontraktsioonile, mis omakorda tähendab rohkemate mootorsete ühikute rakendumist lihases. Testijärgne laktaadisisaldus veres oli samuti suurem (8,2 +/- 0,3 vs 6,7 +/-0,3mM) kofeiini manustanud sportlastel ning subjektiivne hinnang väsimusele vähenes kofeiini manustamisel nii 50%, 60% kui 70% hapnikutarbimise juures. Uuringu kokkuvõttes järeldati, et kofeiini abil saavutatud suurem võime taluda maksimaalse pingutusega kaasnevat lihasvalu on peamiseks põhjuseks tulemuslikkuse paranemisel paaristõuketestil (Stadheim et al., 2013).

Teine uuring kofeiini ja paaristõugete seostest tehti mõni aasta hiljem ning seda imiteerides keskkonda 2000m kõrgusel merepinnast. 13 meessuusatajat ($VO_{max} \sim 72,6$) läbisid 8km paaristõuke kontrollsõidu ning suutlikkuseni pingutusega testsõidu 90%-se paaristõugete hapnikutarbimise maksimumist. Uuringus leiti, et kofeiin parandas suutlikkuseni sõitmiseks kulunud aega 7,22 minutilt 6,11 minutini ja 8km testsõidu aega sõidu esimesel 4 kilomeetril, kuid mitte testsõidu läbimiseks kulunud kogu aega. Submaksimaalsel testil tundsid sportlased pärast kofeiini tarbimist subjektiivselt vähem valuaistingut kätes ja subjektiivne tajutud pingutusaste oli madalam. Kofeiini tarbides oli nii maksimaalsel 8km testsõidul kõrgem maksimaalne südamelöögisagedus (187 +/- 7 vs 185 +/-7; $P < 0.05$) kui ka submaksimaalsel 8km testil (185 +/- 7 vs 181 +/- 9). Uuringu teostajad seostasid seda suurenenud ventilatsiooni-, vere laktaadisisalduse-, glükoosi- ja adrenaliini- ning madalama pH ja bikarbonaadi sisaldusega. Uuringu kokkuvõttes leiti, et kofeiin parandas maksimaalset sooritust paaristõuketestidel ning seda seostati eelkõige subjektiivselt vähenenud valutunde ning suurenenud pulsisagedusega (Stadheim et al., 2015).

4.3 Suusakeppide parameetrite mõju paaristõugetele

Paaristõugete osakaalu suurenemise tõttu ja päästmaks vahelduvtõukelist klassikalist sõiduviisi, on FIS kehtestanud 2016. aastal klassikatehnika suusakepi pikkustele lävendi, 83% suusataja pikkusest (NB! Koos suusasaabastega mõõdetuna maapinnast kepirihma kepi külge kinnitumiskohani), millest pikemate keppidega ei tohi klassikatehnikas FIS egiidi all toimuvatel

võistlustel suusatada. Klassikatehnika „päästmiseks“ on kehtestatud ka vahelduvtõukelise sõiduviisi tsoonid tõusudel, kus paaristõukelise sõiduviisi kasutamine ei ole lubatud. Lisaks on eraldistardist klassikatehnika võistlustel vaid 1 klassikajälg, mis on rajamasina abil tõmmatud võistlusraja ideaalsele sõidujoonele ning lisaks on paigutatud kurvidesse rajatähistuse koonuseid, mis takistavad mittevajalikke rajavahetamisi ning kurvitehnika kasutamist kohtades, kus see pole näidustatud. Lisaks on suurendatud tehniliste delegaatide järelevalvet uisutehnika kasutamise osas ning võistlejate diskvalifitseerimist ebaregulaarsete uisutõugete sooritamise eest.

Et suusakeppide pikkus mõjutab paaristõugete tulemuslikkust on näidanud mitmed uuringud. On uuritud, kas pikemad kepid (suusataja kehapikkuse kohta) annavad eelise paaristõugete ja vahelduvtõukelise sõiduviisi puhul tippkiiruse saavutamisel. Uuringus osalesid 5 rahvusliku tasemega suusatajat ja 9 meessuusatajat Rootsi, Austria ja Norra rahvuskoondistest. Tulemused näitasid hüpoteesi paikapidavust. Sama uuringu eesmärk oli selgitada, kas suusasprindis annab teatud kehatüüp eelise jõu- ja maksimaalkiiruse näitajates kui tulemuse põhilistes tegurites. Selgus, et keha parameetrid ei tundunud olevat tulemust ennustavaks faktoriks. Uuringus leiti, et keha pikkus ei olnud korrelatsioonis ühegi klassikatehnika sõiduviisiga, kuid keha puhas kehatüve lihaste kaal, kehamassiindeks, keha rasvavaba mass ja keha lihaste kogukaal olid positiivses korrelatsioonis paaristõugete tippkiirusega (Stöggl et al., 2010).

Lisaks on püütud selgitada, kas leidub optimaalset suusakepi pikkust paaristõukeliseks sõiduviisiks murdmaasuusatamises. Uuriti suusakepipikkuse mõju paaristõuke energiakulule ja kinemaatikale. Testiti 7 kõrge tasemega meessuusatajat 2% kaldenurgaga rullsuusalindil ning ligikaudsel võistluskiirusel. Mõõdeti kepi tõukejõude, -kontaktaega maapinnaga ja sportlaste hapnikutarbimist. Uuringu tulemused näitasid, et suusakepi pikkus oli positiivses korrelatsioonis maapinnaga puuteajaga ja negatiivses korrelatsioonis tõukesagedusega. Positiivne korrelatsioon leiti ka kepipikkuse ja libisemisfaasi aja ning tõukejõu impulsiga. Hapnikutarbimine oli negatiivses korrelatsioonis kepipikkusega. Kokkuvõtvalt näitas uuring, et paaristõukelises sõiduviisis muudab pikem suusakepp märgatavalt tõuke mehaanilisi parameetreid, tõstes tõuke efektiivsust ning vähendades sportlase ainevahetuse mahtu (Onasch et al., 2017).

Erinevat tüüpi suusakeppide mõjust paaristõugete sooritusele on tehtud üks varasem uuring, milles uuriti rullsuusatamisel paaristõugetel esinevaid seoseid tõukejõu kestvuse, löögijõu, tõukejärgse kiiruse suurenemise ja keppide nurga ja pikkuse vahel. Leiti, et paaristõuked pikemate keppidega võimaldasid märkimisväärselt suurema tõukejõu nii tõukefaasi alguses ja lõpus ning

kiiruse suurenemise võrreldes normaalse pikkusega vs lühema pikkusega keppidega. Uuringu tulemused näitavad, et suusakepi pikkus on üks võimalus suusatajal tõstmaks tõukefaasi kestvust, tõukefaasi ning tõukefaasi alg- ning lõpposa jõuimpulssi ja kiirust (Nilsson et al., 2003).

Lisaks kepipikkuste seostele kepitõukefaasi parameetritele on omavahel võrreldud ka erineva jäikusega suusakeppe. 3D kinemaatika abil võrreldi *Swix CT1*, *CT2* ja *Triac* suusakeppide käitumist 18 hästitreenitud suusataja submaksimaalsel ja maksimaalsel paaristõuketööl rullsuusalindil (vastavalt 85% ja 95% maksimaalkiirusest) erinevatel tõusunurkadel (1,5% ja 7%) sõites. Kolmnurkse ristlõikekujuga (*Triac*) kepid olid jäigemad ja väiksema läbipaindega maksimaalsel pingutusel. Teised kepid (*Swix CT1*, *Swix CT2*) näitasid suuremate kiiruste juures suuremat läbipainet ning kaotasid maapinnakontakti, mille tõttu osadel sportlastel ei olnud võimalik testi lõpetada. Samade keppide puhul erinevate sportlaste käes leiti erinevat käitumismustrit, mis näitab erineva tõuketehnika mõju suusakeppidele ja et suusakeppide mehaanilised omadused ei määranud täielikult keppide käitumismustrit dünaamilistes tingimustest. Suusakeppide jäikuse mõju läbipaindel tuli enim välja kiiruse ja tõusunurkade suurenedes. See annab enim põhjust jäigemaid keppe eelistada tugeva paaristõukevõimsusega sportlastel, kes suusatavad paaristõugetega suuretel kiirustel ja tõusul nagu näiteks eliit maratonisõitjad ja suusasprinterid (Stöggl et al., 2013).

Kuna suusakepid on väga oluliseks vahendiks, mille kaudu saavutatakse ja suunatakse kogu sportlast edasiviiv jõud, siis sellest tulenevalt on teostatud uuring, mille eesmärk oli hinnata suusakepipikkuse mõju paaristõuke tulemuslikkusele, hapnikutarbimisele ja liikumise kinemaatikale. 9 meessoost võistlustasemel suusatajat läbisid kaks identset testi, kus esimeses kasutasid nad endale sobiva pikkusega suusakeppe ($84\% \pm 1\%$ keha pikkusest) ning teises testi osas neist 7,5cm pikemaid keppe ($88\% \pm 1\%$ keha pikkusest). Sooritati 3x5min submaksimaalset paaristõuke intervalllõiku 2,5 kraadisel tõusul kiirusega 3m/s, 3,5m/s ja 4m/s ning hapnikutarbimise määramiseks sooritati 1000m ajasõit maksimaalkiirusel. Uuringu tulemused näitasid, et pikemad suusakepid vähendasid 1000m aega keskmiselt 1.0% ja submaksimaalsel kiirusel hapniku kulu keskmiselt 2.7% võrreldes enda poolt valitud pikkusega keppidega. Pikemate keppidega testi läbides oli keha massikeskme vertikaalne kõikumine väiksem ($23.3 \pm 3.0\text{cm}$ vs $24.3 \pm 3.0\text{ cm}$, $P = .07$) võrreldes tavapärase kepipikkusega. Tõukesagedust erinev keppide pikkus ei mõjutanud, küll aga oli madalamatel kiirustel ($<3,5\text{m/s}$) tõuketsüklil lühem enda poolt valitud keppidega (Losnegard, et al., 2017).

KOKKUVÕTE

Sellel sajandil aset leidnud kiire areng murdmaasuusatamise paaristõukelise sõiduviisi kasutuse suurenemises ja ulatuses ei ole jäänud märkamata kellelgi, kes selle spordialaga lähedalt kokku puutunud. Nagu käesolev töö kirjeldas, on põhjusteks nii Rahvusvahelise Suusaliidu poolt vastuvõetud otsused: lisandunud võistlusdistsipliinid nagu näiteks sprint, teatesprint, ühisstartiga sõidud, kui ka tehnoloogia arenguga kaasnenud tegurid, mis on eelkõige suuskadel liikumist kiiremaks muutnud. Kiirus on olnud see põhiline tegur, mis on endaga kaasa toonud vajaduse suusatajatel kohandada oma sõidutehnikat ja selle biomehaanilisi tegureid ning treeningettevalmistust, et tagada võime suuremaid kiiruseid arendama.

Paaristõukelise sõiduviisi viimaste aastakümnete teadusuuringutes on enim analüüsitud paaristõugete biomehaanilisi muutusi. Tehnika muutust on ka visuaalsel vaatllemisel kõige lihtsam märgata ja kirjeldada. Biomehaaniliselt on 1980-ndatel ja 1990-ndatel kasutusel olnud paaristõuketehnika muutunud võrreldes nüüdisajal kasutusel oleva tehnikaga märkimisväärselt:

- tõuketsükli kestvus on väiksem ning jõurakendus tõukefaasis toimub lühema aja jooksul;
- küünarliigese sirutus-painutusliikumine on dünaamilisem ning on suurenenud liikumise haardeulatus, painutuse ulatus ja nurkkiirused. Lisaks on tõukefaasi alguses, kepilöögi hetkel uue tehnika puhul täheldatud vähenenud puusa- ja põlveliigeste nurgad;
- keskmine kehamassi raskuskeskme vertikaalne liikumine on paaristõuke tsükli jooksul vähenenud, kuid libisemisfaasis on suurenenud jalgade roll tõstmaks kehamassi raskuskese tõukefaasi alguseks kõrgemale.

Et muutunud biomehaaniliste teguritega toime tulla on vajadus olnud ka treeningettevalmistust muuta. Kinnitust on leidnud, et:

- kiirus- ja intervall kordustreeningud nii hüpoksilises keskkonnas kui normaalse hapniku osarõhuga keskkonnas on positiivses korrelatsioonis paaristõukelise sõiduviisi sooritusvõimega;
- ülakeha parem füüsiline lihasettevalmistus annab suuremad eeldused paaristõukelises sõiduviisis kiiremaks edasiliikumiseks ning oma tulemustes enim paaristõukelisele sõiduviisile tuginevatel pikamaasuusatajatel on oluliselt suurenenud paaristõugete osakaal treeningutes.

Uuringute tulemused on näidanud ka arengut suusatajate jõutreeningutes. On leitud, et:

- paremaks ülakeha lihasettevalmistuseks on sobilikud sportlaste maksimaaljõudu arendavad treeningud, mille oskuslik integreerimine vastupidavustreeningutega ei pärsi sportlase maksimaalset hapnikutarbimisvõimekust, mis on endiselt üks olulisemaid sooritusvõime teguritest;
- maksimaaljõudu suurendavate treeningute eesmärk on tõsta sportlase võimet väiksema aja jooksul kepitõuke kaudu rakendada suuremat jõuimpulssi.

Teised teadusuuringud, milles analüüsiti nii paaristõukelise sõiduviisi ainevahetuslikke aspekte, kui ka suusavarustuse mõju paaristõukelise sõiduviisi sooritusele, on leidnud, et:

- suuresti alakeha lihaseid kasutavate spordialade juures leitud positiivne korrelatsioon kofeiini manustamise ja sooritusvõime vahel kehtib ka paaristõukelises sõiduviisis, kus valdavalt toodavad ülakeha lihased keha edasiliikumiseks vajamineva jõu;
- pikemate suusakeppide kasutamine paaristõukelises sõiduviisis omab positiivset mõju paaristõugete soorituse efektiivsusele.

Ei ole põhjust arvata, et 99 aastat olümpiaspordialana eksisteerinud murdmaasuusatamise areng oleks peatunud. Aastast-aastasse ilmuvad rohkearvulised murdmaasuusatamist uurivad teadusartiklid on andnud kinnitust sellele et huvi murdmaasuusatamise ning paaristõukelise sõiduviisi vastu on jätkuvalt suur. Arvan, et tulevikus on oodata üha enam uuringuid võistlustel ja treeningutel kasutatava GPS andmete analüüsist ning erinevate sensorite abil saab teostada veelgi täpsemaid biomehaanilisi uuringuid. Kuna murdmaasuusatamise näol on tegemist ikkagi talispordialaga, ei saa tähelepanu alt välja jätta kliima muutusi ja võimalikku jätkuvat soojenemist. Murdmaasuusatamises on juba aastakümneid kasutuses olnud kunstlumerajad ning tunnetuslikult on vajadus nende järele ja osakaal võrreldes loodusliku lumega suusaradadega ajas suurenenud. Jätkuv kliima soojenemine kindlasti võimendab seda tendentsi ning soojade ilmadega toimunud võistlused kunstlumest tehtud suusaradadel on näidanud, et muutunud lume struktuur mõjutab tugevalt suusatamise võistlusiseloому ning muutunud tegurid omavad nähtavat mõju ka suusatajate biomehaanilistele teguritele ning kasutusel olevale suusatehnoloogiale.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Bojsen-Møller J, Losnegard T, Kemppainen J, Viljanen T, Kalliokoski KK. Muscle use during double poling evaluated by positron emission tomography. *Journal of Applied Physiology* 2010; 109(6): 1895-1903
2. Bucher, E., Sandbakk, Ø., Donath, L. et al. Exercise-induced trunk fatigue decreases double poling performance in well-trained cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology* 2018; 118:2077–2087
3. Calbet JA, Holmberg HC, Rosdahl H, et al. Why do arms extract less oxygen than legs during exercise? *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 2005; 289:R1448–58
4. Carlsson T, Wedholm L, Nilsson J, Carlsson M. The effects of strength training versus ski-ergometer training on double-poling capacity of elite junior cross-country skiers. *European Journal of applied physiology* 2017; 117(8):1523-1532
5. Carlsson T, Fjordell W, Wedholm L, Swarén M and Carlsson M. The Modern Double-Poling Technique Is Not More Energy Efficient Than the Old-Fashioned Double-Poling Technique at a Submaximal Work Intensity. *Frontiers in Sports and Active Living* 2022; 4:850541
6. Castañeda-Babarro, A.; Etayo-Urtasun, P.; León-Guereño, P. Effects of Strength Training on Cross-Country Skiing Performance: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022; 19, 6522
7. Danielsen J, Sandbakk Ø, Holmberg HC, Ettema G. Mechanical Energy and Propulsion in Ergometer Double Poling by Cross-country Skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2015; 47(12): 2585-2594
8. Danielsen J, Sandbakk Ø, McGhie D, Ettema G. Mechanical energetics and dynamics of uphill double-poling on roller-skis at different incline-speed combinations. *PLoS One* 2019; 14(2): e0212500
9. Danielsen J, Sandbakk Ø, McGhie D, Ettema G. Mechanical energy and propulsion mechanics in roller-skiing doublepoling at increasing speeds. *PLoS ONE* 2021; 16(7): e0255202
10. Faiss R, Willis S, Born DP, Sperlich B, Vesin JM, et al. Repeated double-poling sprint training in hypoxia by competitive cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2015; 47(4): 809-817

11. Hegge AM, Bucher E, Ettema G, Faude O, Holmberg HC et al. Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite cross-country skiers during whole-body, upper-body, and arm poling. *European Journal of Applied Physiology* 2016; 116(2): 291-300
12. Hoff J, Helgerud J, Wisløff U. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 1999; 31(6): 870-877
13. Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian journal of Medicine & Science in Sports* 2002; 12(5): 288-195
14. Hoffman, M. D., CLIFFORD P.S. Physiological aspects of competitive cross-country skiing. *Journal of Sports Science* 1992; 10:3–27
15. Holmberg HC, Lindinger S, Stöggl T, Eitzlmair E, Müller E. Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2005; 37(5): 807-818
16. Holmberg HC, Lindinger S, Stöggl T, Björklund G, Müller E. Contribution of the legs to double-poling performance in elite cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2006; 38(10): 1853-1860
17. Lindinger SJ, Stöggl T, Müller E, Holmberg HC. Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 2009a; 41(1): 210-220
18. Lindinger SJ, Holmberg HC, Müller E, Rapp W. Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology* 2009b; 106(3): 353-363
19. Losnegard T, Mikkelsen K, Rønnestad BR, Hallén J, Rud B, et al. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite crosscountry skiers. *Scandinavian journal of Medicine & Science in Sports* 2011; 21(3): 389-401
20. Losnegard T, Myklebust H, Skattebo O, Stadheim HK, Sandbakk O, et al. The Influence of Pole Length on Performance, O₂ Cost, and Kinematics in Double Poling. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2017; 12(2): 211-217
21. Mikkola JS, Rusko HK, Nummela AT, Paavolainen LM, Häkkinen K. Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2007; 21(2): 613-620

22. Nesser TW, Chen S, Serfass RC, Gaskill SE. Development of upper body power in junior cross-country skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2004; 18(1): 63-71
23. Nilsson J, Jakobsen V, Tveit P, Eikrehagen O. Pole length and ground reaction forces during maximal double poling in skiing. *Sports Biomechanics* 2003; 2(2): 227-236
24. Nilsson JE, Holmberg HC, Tveit P, Hallen J. Effects of 20-s and 180-s double poling interval training in cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology* 2004; 92(1-2): 121-127
25. Nilsson J, Tinmark F, Halvorsen K, Arndt A. Kinematic, kinetic and electromyographic adaptation to speed and resistance in double poling cross country skiing. *European Journal of Applied Physiology* 2013; 113(6): 1385-1394
26. Onasch F, Killick A, Herzog W. Is There an Optimal Pole Length for Double Poling in Cross Country Skiing. *Journal of Applied Biomechanics* 2017; 33(3):197-202
27. Østerås H, Helgerud J, Hoff J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *European Journal Of Applied Physiology* 2002; 88(3):255-63.
28. Østerås S, Welde B, Danielsen J, van den Tillaar R, Ettema G et al. Contribution of Upper-Body Strength, Body Composition, and Maximal Oxygen Uptake to Predict Double Poling Power and Overall Performance in Female Cross-Country Skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2016; 30(9): 2557-2564
29. Pellegrini B, Zoppirolli C, Bortolan L, Holmberg HC, Zamparo P, et al. Biomechanical and energetic determinants of technique selection in classical cross-country skiing. *Human Movement Science* 2013; 32(6): 1415-1429
30. Pellegrini B, Zoppirolli C, Bortolan L, Zamparo P, Schena F. Gait models and mechanical energy in three cross-country skiing techniques. *The Journal of Experimental Biology* 2014; 217(Pt 21): 3910-3918
31. Pellegrini B, Stöggl TL, Holmberg HC. Developments in the Biomechanics and Equipment of Olympic Cross-Country Skiers. *Frontiers of Physiology* 2018a; 9:976
32. Pellegrini B, Zoppirolli C, Boccia G, Bortolan L, Schena F. Cross-country skiing movement factorization to explore relationships between skiing economy and athletes' skills. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2018b; 28(2): 565-574

33. Sandbakk Ø, Ettema G, Holmberg HC. Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scandinavian journal of Medicine & Science in Sports* 2014; 24(1): 28-33
34. Skattebo Ø, Hallén J, Rønnestad BR, Losnegard T. Upper body heavy strength training does not affect performance in junior female cross-country skiers. *Scandinavian journal of Medicine & Science in Sports* 2016; 26(9): 1007-1016
35. Smith G. A, Jon B.Fewster, Steven M.Braudt. Double Poling Kinematics and Performance in Cross-Country Skiing. *Human Kinetics Journals* 1988; 12(1): 88-103
36. Smith G.A. Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 1992; 24(9):1015-22
37. Smith G, Nilsson J, Kvamme B, Ure J, Ingjer F. Arm, trunk and leg contributions to double poling performance in cross-country skiing. Abstract to proceedings in: *American College of Sports Medicine*, St. Louis 2005
38. Stadheim HK, Kvamme B, Olsen R, Drevon CA, Ivy JL, et al. Caffeine increases performance in cross-country double-poling time trial exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 2013; 45(11): 2175-2183
39. Stadheim HK, Nossu EM, Olsen R, Spencer M, Jensen J. Caffeine improves performance in double poling during acute exposure to 2,000-m altitude. *Journal of Applied Physiology* 2015; 119(12): 1501-1509
40. Stöggl T, Lindinger S, Müller E. Biomechanical validation of a specific upper body training and testing drill in cross-country skiing. *Sports Biomechanics* 2006; 5(1): 23-46
41. Stöggl T, Lindinger S, Müller E. Evaluation of an upper-body strength test for the cross-country skiing sprint. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2007; 39(7): 1160-1169
42. Stöggl TL, Müller E. Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2009; 41(7): 1476-1487
43. Stöggl T, Enqvist J, Muller E, Holmberg HC. Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences* 2010; 28(2): 161-169
44. Stöggl T, Holmberg HC. Force interaction and 3D pole movement in double poling. *Scandinavian journal of Medicine & Science in Sports* 2011; 21(6):e393-404

45. Stöggl T, Muller E, Ainegren M, Holmberg HC. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2011; 21:791–803
46. Stöggl T, Karlöf L. Mechanical behaviour of cross-country ski racing poles during double poling. *Sports Biomechanics* 2013; 12(4): 365-380
47. Stöggl T, Holmberg HC. Double-Poling Biomechanics of Elite Cross-country Skiers: Flat versus Uphill Terrain. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2016; 48(8): 1580-1589
48. Sunde A, Johansen J-M, GjØra M, Paulsen G, Bråten M, Helgerud J and Støren Ø (2019) Stronger Is Better: The Impact of Upper Body Strength in Double Poling Performance. *Frontier in Physiology* 2019; 10:1091
49. Terzis G, Stattin B, Holmberg HC. Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2006; 16(2): 121-126
50. Torvik P-Ø, Sandbakk Ø, van den Tillaar R, Talsnes RK and Danielsen J. A Comparison of Double Poling Physiology and Kinematics Between Long-Distance and All-Round Cross-Country Skiers. *Frontiers in Sports and Active Living* 2022; 4:849731
51. Vahtra, E.; Pind, R.; Mäestu, E.; Purge, P.; Kaasik, P.; Mäestu, J. The Effect of Different Periodization and Modes of Concurrent Strength and Endurance Training on Double Poling Performance and Body Composition in Adolescent Cross-Country Skiers. *Sports (Basel)* 2022, 10(2):15
52. van Hall G, Jensen-Urstad M, Rosdahl H, Holmberg HC, Saltin B, Calbet JA. Leg and arm lactate and substrate kinetics during exercise. *American Journal of Physiology and Endocrinology and Metabolism* 2003; 284: E193–205
53. Vandbakk K, Welde B, Kruken AH, Baumgart J, Ettema G, et al. Effects of upper-body sprint-interval training on strength and endurance capacities in female cross-country skiers. *PLoS One* 2017; 12(2): e0172706
54. Weyand, P. G., Sandell, R. F., Prime, D. N., and Bundle, M. W. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J. Appl. Physiol.* 108, 950–961
55. Zoppirolli C, Pellegrini B, Modena R, Savoldelli A, Bortolan L, et al. Changes in upper and lower body muscle involvement at increasing double poling velocities: an ecological study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2016b; 10.1111/sms.12783

56. Zoppirolli C, Pellegrini B, Bortolan L, Schena F. Energetics and biomechanics of double poling in regional and high-level cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology* 2015; 115(5): 969-979
57. Zoppirolli C, Bortolan L, Schena F, Pellegrini B. Double poling kinematic changes during the course of a long-distance race: effect of performance level. *Journal of Sports Sciences* 200; 38(8):863-872

SUMMARY

In this study the aim is to describe the major changes in cross-country skiing (XC) classical technique double poling sub-technique in recent decades. XC skiing has been an Olympic event for almost a century but is still developing. In recent decades skiing speed has increased significantly due to improvements in equipment, track preparation, new racing disciplines and other factors. The speed increase and its effects to skiing have been most apparent in double poling in classical technique where nowadays most long-distance races are won by only using double poling technique. The traditional classical sub-techniques (diagonal stride; double poling with kick) are still kept in use thanks to different FIS regulations in classical technique races (limited pole length; designated diagonal stride zones in uphill sections).

The greatest changes in double poling have occurred in its biomechanical aspects. The double poling technique in competitive cross-country skiers is a complex movement involving both the upper and lower body. There are two main phases in the double poling: the poling phase and the repositioning phase. In nowadays technique compared to the double poling technique used in 1980s and 1990s is characterized by reduced angular joint movements, by higher flexion velocities and greater poling forces. This leads to shorter poling times and thereby an improved ability to generate higher skiing speeds mostly in flat terrain. Compared to the old technique, the center of mass is in a higher position when the repositioning phase is initiating, meaning that there is less work against gravity to be done to reposition the body for the poling phase. The double poling technique among elite skiers has evolved from a technique characterized by pronounced trunk flexion toward a technique with bigger range of shoulder motion during the propulsion phase.

To be able to apply all these biomechanical changes in double poling, there have been new trends in specific strength training in cross-country skiing and general strength training. The scientific research in recent decades has proven that repetitive sprint-interval training has a positive effect on the double poling performance. Also, when the sprint-interval training is done in hypoxic environment. Since the goal for the athlete is to be able to generate higher poling forces in shorter amount of time during poling phase, the maximal strength training has proven to have positive correlation with that need. Elite skiers in long distance marathons have significantly increased the amount of double poling time in their training and demonstrated more efficient double poling in submaximal speed compared to all around skiers.

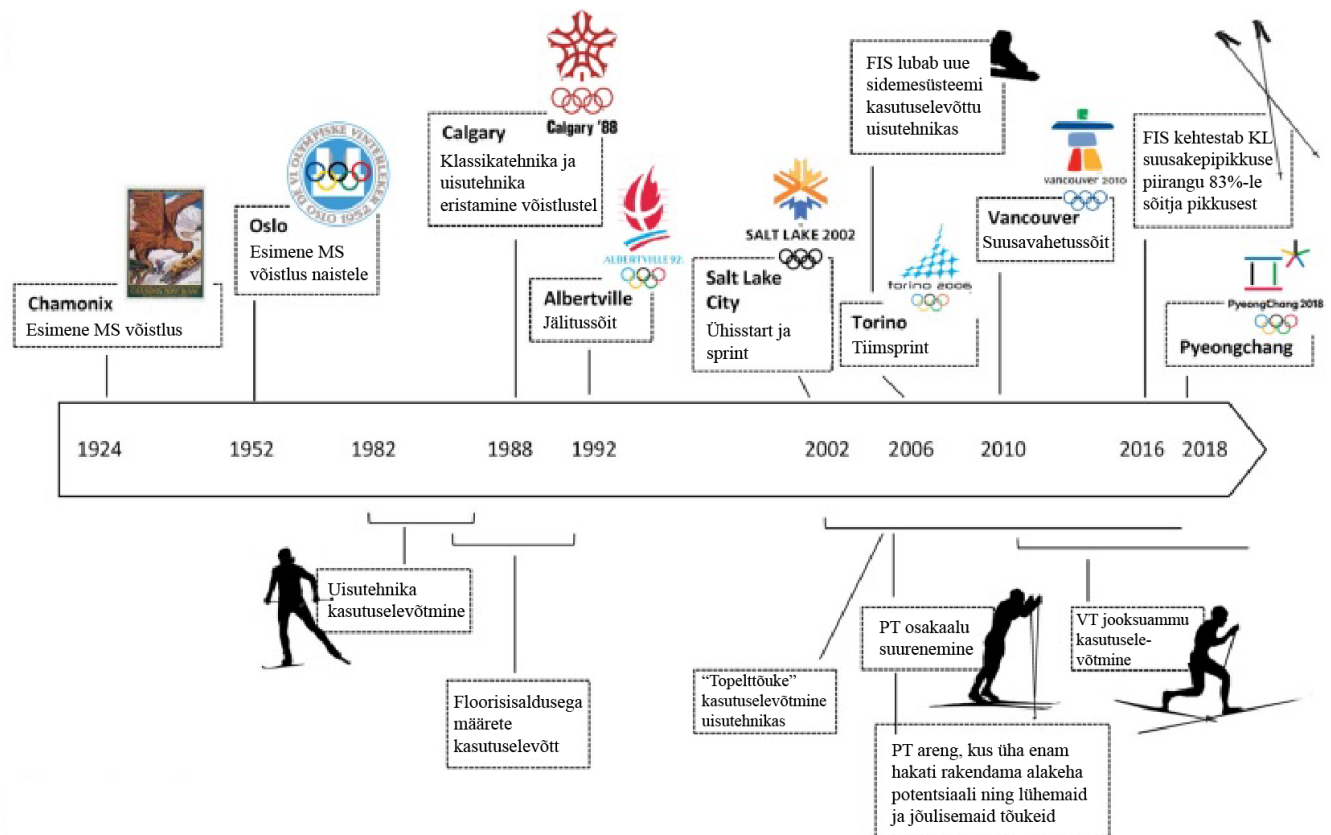
Moreover, it has been shown that longer poles in classic technique have positive correlation with double poling performance. FIS has put the limitation for the usage of that advantage, saying that the poles can be maximally 83% of the length of the skier. There has also been scientific research that shows that caffeine also has a positive correlation for double poling performance.

There is no reason to assume that cross-country skiing will stop developing. Despite signs of warmer and softer winters, we can still see a big interest in cross-country skiing and growing numbers of scientific research to describe and analyze the development in that sport. The significant biomechanical development of double poling over past decades, resulting in higher peak force, power, and speed, will most likely continue. In future there will most probably be new materials in ski-, ski-boot-, and ski-pole production. The climate might play a huge role in man-made snow-making technology and warm weather changes the structure of snow crystal and creates challenges in ski-track preparation. This might potentially have a negative effect on racing speed in cross-country skiing as well. We also might see more research on GPS to analyze different speed pacing strategies in competitions or miniaturized inner sensor that can monitor a skier's speed, motion and speed during training and racing.

Cross-country skiing double poling technique characteristics and training.

LISAD

LISA 1. Murdmaasuusatamise suurimad muutused ajas



Illustratsioon suurimastest murdmaasuusatamise tehnoloogia ja biomehaanika arengutest. MS - murdmaasuusatamine; FIS – Rahvusvaheline Suusaliit (Federation International de Ski); KL - klassikatehnika; PT - paaristõuge; VT - vahelduvtõuge (Pellegrini et al., 2018a).

LISA 2. Klassikatehnika murdmaasuusatamisvõistluste läbimise kiirused Ruka Maailmakarika etapil läbi aastakümnete

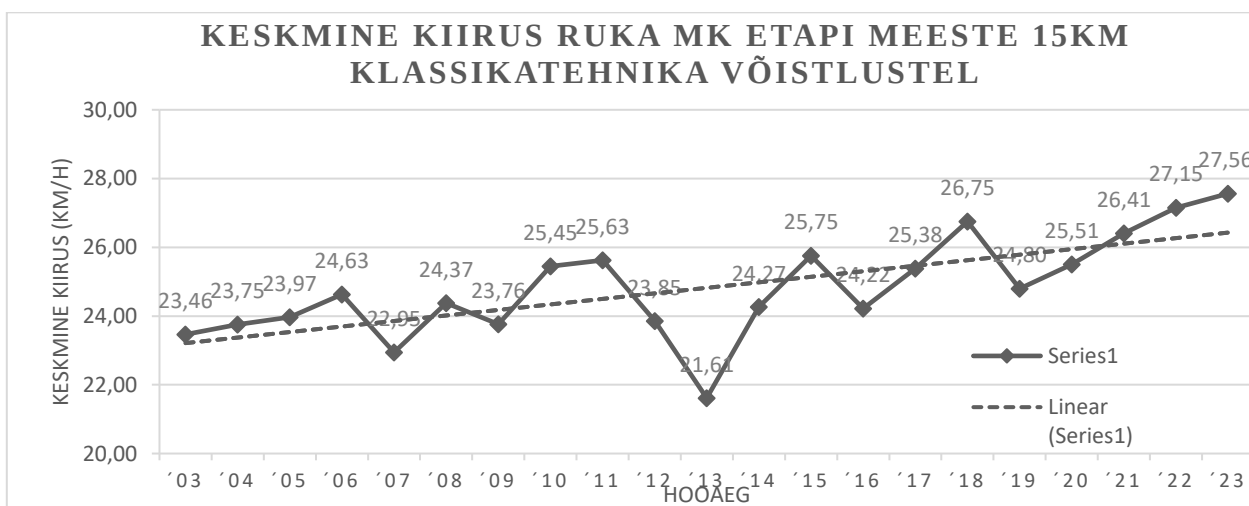
Hooaeg	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017
Võitja aeg (mm:ss)	21:46,1 *	33:08,6	34:04,6	35:17,0	36:17,8	33:38,8	35:27,6
Keskmine kiirus (km/h)	27,56	27,15	26,41	25,51	24,80	26,75	25,38

Hooaeg	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010
Võitja aeg (mm:ss)	37:10,0**	35:09,4	24:43,6*	41:38,3**	37:43,8**	23:24,8	35:22,2
Keskmine kiirus (km/h)	24,22	25,75	24,27	21,61	23,85	25,63	25,45

Hooaeg	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003
Võitja aeg (mm:ss)	37:52,5	37:15,8	38:35,2	36:32,8	37:33,2	37:35,4	38:21,4
Keskmine kiirus (km/h)	23,76	24,37	22,95	24,63	23,97	23,75	23,46

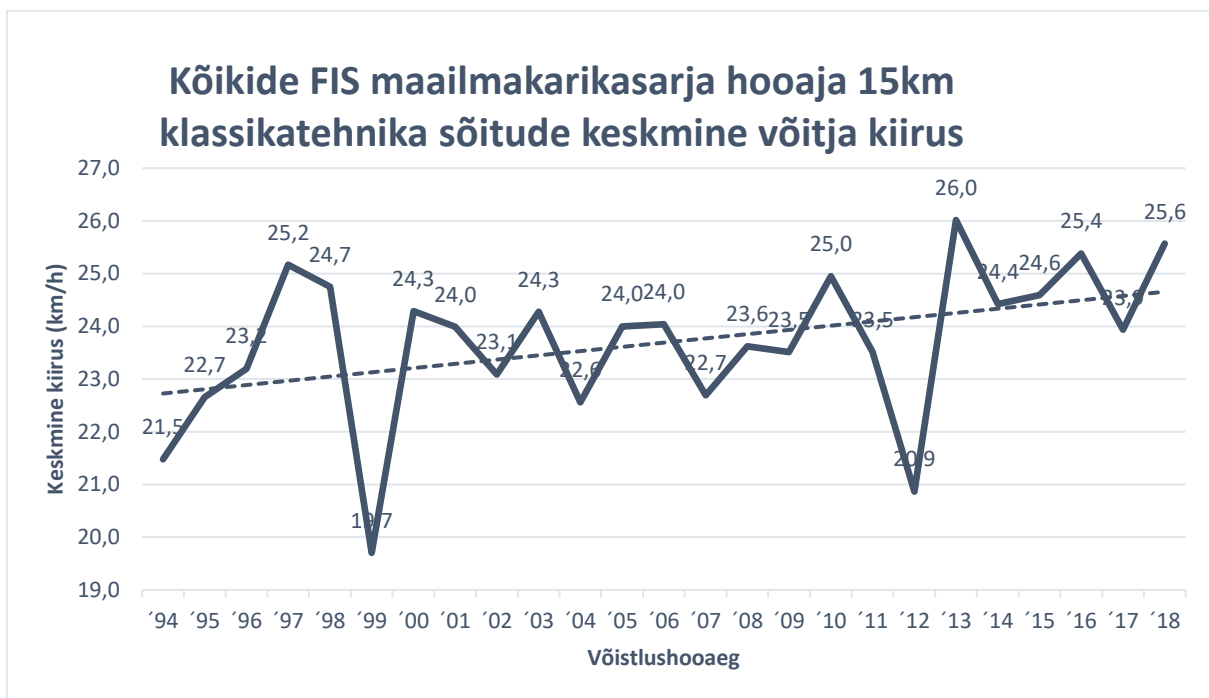
*10km võistlusdistsants

** võistlus toimus jälitussõiduna



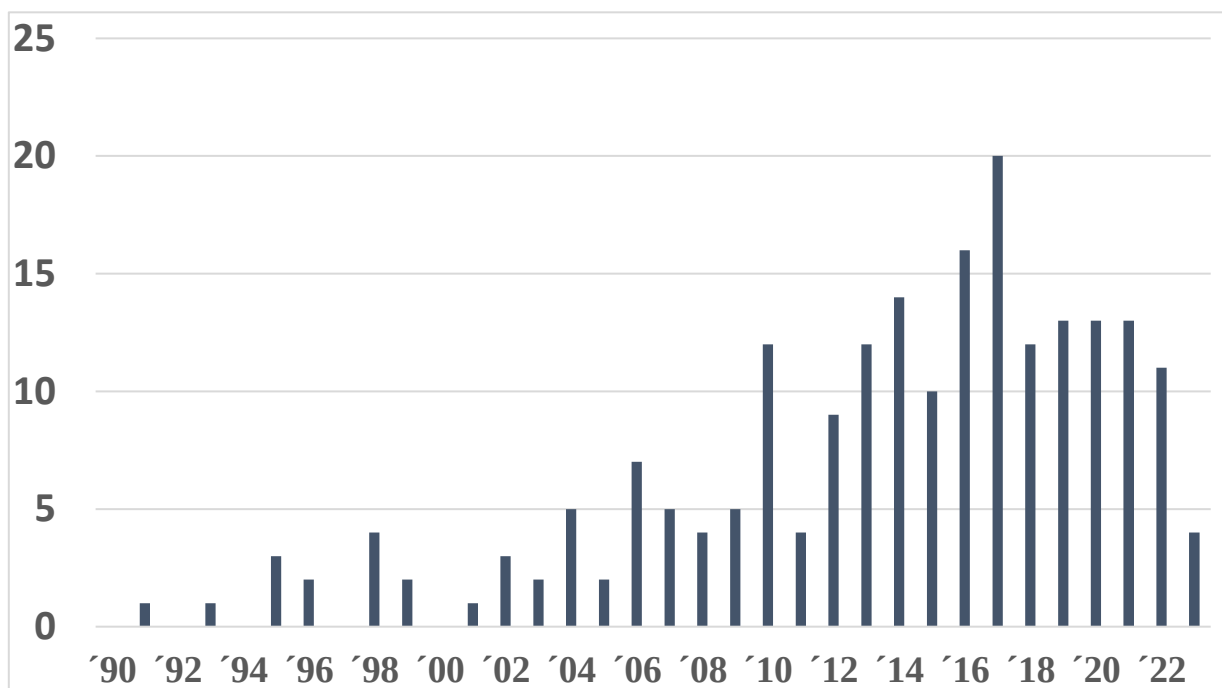
Soomes Rukal toimunud murdmaasuustamise Maailmakarikasarja etappide meeste 15km eraldistardist klassikatehnika võistluste võitjate sõidu ajad ja sõidu keskmised kiirused erinevatel aastatel. Andmed on kogunud ja analüüsinud bakalaureuse töö koostaja Rahvusvahelise Suusaliidu kodulehe andmeid kasutades (www.fis-ski.com).

LISA 3. 15km klassikatehnika murdmaasuusatamisvõistluste läbimise kiirused Maailmakarikasarja etappidel läbi aastakümnete



Hooaja kõikide murdmaasuustamise Maailmakarikasarja etappide meeste 15km eraldistandardist klassikatehnika võistluste võitjate sõidu ajad ja sõidu keskmised kiirused erinevatel aastatel. Andmed on kogunud ja analüüsinud bakalaureuse töö koostaja Rahvusvahelise Suusaliidu kodulehe andmeid kasutades (www.fis-ski.com).

LISA 4. Avaldatud teadusartiklid murdmaasuusatamise kohta viimastel aastakümnetel.



National Library of Medicine teadusartiklite portaalis, <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>, avaldatud teadusartiklite arv, mis vastavad otsingusõnadele “*cross-country skiing*” ja “*double poling*”.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Vahur Teppan

(sünnikuupäev: 22.02.1985)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose, “Murdmaasuusatamise paaristõukelise sõiduviisi iseloom ja treening kaasajal “,

mille juhendaja on Allar Kivil

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 9.mai 2023