

**JÄÄKIEKKOILIJOIDEN KYNNYSSYKKEIDEN MÄÄRITTÄMINEN JUOKSUN,  
LUISTELUN JA PYÖRÄILYN AIKANA**

Jesse Laukkanen

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Syksy 2023

## TIIVISTELMÄ

Laukkanen, J. 2023. Jääkiekkoilijoiden kynnyssykkeiden määrittäminen juoksun, luistelun ja pyöräilyn aikana. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 50 s.

Jääkiekossa pelaajat hyödyntävät energia-aineenvaihdunnallisesta näkökulmasta aerobisia ja anaerobisia ominaisuuksia. Ottelun aikainen optimaalinen suorituskyky vaatii jaksamista reagoita ja suoriutua ottelun eri tilanteista, joissa vaaditaan kestävyys-, nopeus- ja voimaominaisuuksien lisäksi myös taktista ja teknistä osaamista sekä nopeaa päätöksentekokykytaitoa. Jääkiekkoilijoiden ottelun aikainen suorituskyky perustuu oikeanlaiseen systemaattiseen harjoitteluun ja sen suunnitteluun. Harjoittelun suunnittelun tukena hyödynnetään usein kuormituksen seurannassa määritettyjä aerobisia ja anaerobisia kynnyssykkeitä.

Vuosien saatossa jääkiekkoilijoilla toteutetut kynnyssykearvioinnit polkupyöräergometrilla tai juosten eivät välttämättä vastaa jäällä tapahtuvaa kuormitusta, sillä liikkeet tapahtuvat pp-ergometrilla, juosten ja jäällä luistelemalla eri tavoin. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia jääkiekkoilijoiden kynnyssykkeitä, kun kuormitusta tehdään luistelun, pyöräilyn ja juoksun aikana.

Tutkimuksen tutkittavat (n=15) olivat iältään 17–19-vuotiaita U20 SM-sarjan miespuolisia pelaajia. Tutkimuksen mittaukset toteutettiin 2 viikon mittaisena poikittaistutkimuksena Jyväskylän yliopiston laboratoriossa sekä Jyväskylän harjoitusjäähallissa. Tutkimuksessa jokainen tutkittava suoritti InBody-mittauksen lisäksi kolme kynnystestiä satunnaisessa järjestyksessä kahden lepopäivän välein. Kynnystestit suoritettiin jatkuvalla liikkeellä juoksumatolla juosten, pp-ergometrilla pyöräillen ja jäähallin kaukalossa 100 metrin rataa luistellen. Tuloksien perusteella havaittiin yksilöllistä sekä keskiarvollista eroavaisuutta kynnyssykkeissä testimenetelmien välillä. Tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin aerobisella kynnyksellä juoksun ( $157 \pm 11$  bpm,  $p < 0.05^*$ ) ja pp-ergometrin ( $147 \pm 12$  bpm,  $p < 0.05^*$ ) välillä. Vastaavasti anaerobisella kynnyksellä juoksu ( $179 \pm 7$  bpm,  $p < 0.05^*$ ) sekä luistelu ( $177 \pm 5$  bpm,  $p < 0.05^*$ ) poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi pyöräilystä ( $172 \pm 5$  bpm,  $p < 0.05^*$ ).

Tutkimuksen perusteella pp-ergometrilla ja juoksemalla tehdyt kynnyssykearvioinnit eivät vastaa jäällä luistellen toteutettuja kynnyssykearviointeja. Kynnyssykearviointeja varten tulisi seurannan kannalta toteuttaa kynnystestit liikkumismuodolla, jota halutaan seurata.

Asiasanat: energia-aineenvaihdunta, laktaatti, kynnyssyke, jääkiekko

## ABSTRACT

Laukkanen, J. 2023. Determination of ice hockey players' threshold rate during running, skating, and cycling. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Science of Sport Coaching and Fitness Testing, Master's thesis, 50 pp.

Ice hockey requires players to utilize both aerobic and anaerobic capacities. Optimal performance during the match requires the ability to react and perform in the various situations of the match, which require not only endurance, speed, and strength, but also tactical, technical, and quick decision-making skills. The performance of ice hockey players during the match is based on the right kind of systematic training and planning. Determined aerobic and anaerobic threshold heart rates in load monitoring are often used to support training planning.

Over the years, the threshold heart rate assessments performed on hockey players using a cycle ergometer or running do not necessarily correspond to skating on the ice, because the movements take place in a cycle ergometer, running and skating in different ways. The purpose of this study is to determine and research the threshold heart rates of ice hockey players when loading is done by skating, cycling, and running.

The subjects of this study ( $n = 15$ ) were male players from the highest national level of youth ice hockey (U20). The measurement of this study was implemented as a 2-week cross-sectional study in the laboratory of the University of Jyväskylä and in the ice rink of Jyväskylä. The subjects completed Inbody measurement and three incremental threshold tests in a random order every two rest days. The incremental threshold tests were performed by running on a treadmill, cycling on a cycle ergometer, and skating a 100-meter track in an ice rink. Based on the results, individual and average differences in threshold heart rates between the methods were observed. A statistically significant difference was observed in the aerobic threshold between running ( $157 \pm 11$  bpm,  $p < 0.05^*$ ) and cycle ergometer ( $147 \pm 12$  bpm,  $p < 0.05^*$ ). At the anaerobic threshold running ( $179 \pm 7$  bpm,  $p < 0.05^*$ ) and skating ( $177 \pm 5$  bpm,  $p < 0.05^*$ ) differed statistically significantly from cycling ( $172 \pm 5$  bpm,  $p < 0.05^*$ ).

To conclude, according to this study, the threshold heart rate assessments made with cycle ergometer and running do not correspond to skating on ice. For threshold heart rate assessments, in terms of monitoring, threshold tests should be implemented with the form of movement that want to be monitored.

Key words: energy metabolism, lactate, threshold heart rate, ice hockey

## KÄYTETYT LYHENTEET

ATP	adenosiinitrifosfaatti
ATP-PCr	fosfokreatiinisysteemi
BMI	body mass index, kehon massaindeksi
BPM	beats per minute (lyöntiä minuutissa)
C	celsius (lämpötilan yksikkö)
PP-ERGOMETRI	polkupyöräergometri
RPM	revolution per minute (pyörimisnopeus kierroksia/minuutissa)
VO <sub>2</sub> max	maksimaalinen hapenottokyky
W	watti (tehon määrä)

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	1
2	JÄÄKIEKON LAJIANALYYSI.....	3
2.1	Fyysiset ominaisuudet jääkiekossa.....	3
2.2	Jääkiekko-ottelun kuormittavuus.....	4
3	ENERGIANTUOTTO JA TALOUDELLISUUS.....	6
3.1	Energiantuottosysteemien fysiologinen tausta.....	6
3.1.1	Aerobinen energiantuotto.....	8
3.1.2	Anaerobinen energiantuotto.....	10
3.2	Mekaaninen hyötysuhde ja taloudellisuus.....	12
4	KYNNYSSYKKEEN MÄÄRITELMÄT.....	14
4.1	Laktaattikynnyksien määrittäminen.....	14
4.2	Kynnyssykkeet pyöräilyssä ja juoksussa.....	18
5	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT.....	20
6	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	21
6.1	Tutkittavat.....	21
6.2	Tutkimusasetelma.....	21
6.3	Mittaukset.....	23
6.3.1	Juoksumattotesti.....	23
6.3.2	Luistelutesti.....	24
6.3.3	Polkupyöräergometritesti.....	25
6.4	Tilastolliset analyysit.....	26
7	TULOKSET.....	27
7.1	Otoksen keskiarvolliset kynnyssykkeet.....	27
7.2	Tutkimuksen yksilölliset kynnyssykehavainnot.....	27

7.3 Tuloksien lisähavainnot.....	29
8 POHDINTA.....	31
8.1 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitteet .....	35
8.2 Käytännön sovellukset.....	36
8.3 Johtopäätökset .....	38
LÄHTEET .....	39

# 1 JOHDANTO

Jääkiekko on tyypillinen joukkuepalloilulaji, jossa pelaajat hyödyntävät sekä aerobista että anaerobista energia-aineenvaihduntaa. Korkea maksimaalisen hapenottokyvyn taso ( $VO_{2max}$ ) sekä lajispesifinen harjoittelu vaikuttaisivat parantavan pelaajan suorituskykyä jääkiekko-otteluiden aikana. (Carey ym. 2007; Durocher ym. 2008; Leiter ym. 2015.) Tutkimusten perusteella korkean maksimaalisen hapenottokyvyn saavuttaneet pelaajat suoriutuvat jääkiekko-ottelussa paremmin pelisuorituksien aikana, palautuivat nopeammin ottelun passiivisten taukojen aikana sekä pystyivät välttämään väsymystä kauemmin kuin heikomman hapenottokyvyn omaavat (Green ym. 2006; Montgomery 1988; Peterson ym. 2015b). Jääkiekko-otteluiden aktiivisen ajan vaihteleva intensiteetti vaatii vastapainona nopeaa palautumista vaihtopenkillä ja pelikatkoilla ottelun passiivisella tauolla ottelun aktiivisten aikojen välillä (Glaister 2005; Sahlin & Harris 2011). Jääkiekon suorituskyky voidaan jakaa jaksamiseen reagoida ottelun tai jääharjoittelun eri tilanteisiin, joissa vaaditaan kestävyys-, nopeus- ja voimaominaisuuksien lisäksi myös taktista ja teknistä osaamista sekä nopeaa päätöksentekokykyä läpi kauden (Vigh-Larsen & Mohr 2022).

Viime vuosikymmenien aikana jääkiekkotutkimuksissa on hyödynnetty sykkeen mittaamista kuormituksen seurannassa (Carey ym. 2007; Durocher ym. 2008; Vigh-Larsen ym. 2020). Sykkeen lisäksi kuormitusta voidaan seurata useilla eri menetelmillä, joista esimerkiksi veren laktaattipitoisuuden arviointi on näyttäytynyt jo vuosikymmeniä sitten tehokkaaksi keinoksi tutkia urheilijoiden fysiologisia ominaisuuksia urheilusuoritusten aikana (Coyle ym. 1988; Farrell ym. 1979; Jacobs 1986). Lajin monimuotoisuuden takia harjoittelun tulee suuntautua oikeanlaiseen systemaattisuuteen, jossa energia-aineenvaihdunnan näkökulmasta kuormitetaan aerobista sekä anaerobista energiantuottoa oikeilla tehoilla. Kynnyssykkeiden määrittäminen on yksi tehokas keino suunnitella ja seurata jääkiekkoilijoiden kuormittavuutta yksilöllisesti ja mahdollistaa sopiva kuormittavuuden taso.

Vuosien saatossa jääkiekkoilijoiden kynnyssykkeiden määrittämiseen ei ole löytynyt yhtenäistä selkeää protokollaa, joka olisi vakiinnuttanut paikkansa kansainvälisesti. Esimerkiksi maailman parhaan jääkiekkoliigan NHL:n (National Hockey League) uusien pelaajien varaustilaisuuden testeissä sovelletaan polkupyöräergometrillä (pp-ergometri) toteutettavaa 30-s Wingate-testiä ja sovellettua pp-ergometrin kynnystestiä arvioidessa ja määrittäessä pelaajien energia-aineenvaihduntakapasiteetin tilaa (Burr ym. 2008; Cohen ym. 2022; Gledhill & Jamnik 2007).

Pp-ergometrillä viitataan paikallaan poljettavaan pyörään, joka ilmoittaa polkemisvastuksen tehon määränä (W), ja kynnystestillä tarkoitetaan testiä, jossa kuormitusta kasvatetaan määrätystä aloituskuormasta nousujohteisesti kohti maksimaalista kuormitusta (Gosselink ym. 2004; Jones ym. 1985). Durocher ym. (2010) tutkimuksen mukaan pp-ergometrillä tehdyn kynnystestin kuormitus ei vastaa jääkiekkoilijoiden kuormitusta jäällä luistellessa. Tutkimuksen perusteella laktaattikynnykset, maksimisykkeet ja  $VO_{2max}$  olivat korkeampia jäällä tehdyssä testissä verrattuna pp-ergometritestiin, kun tutkittavia testattiin samanpituisella kuormitusjaksolla (Durocher ym. 2010). Edellä mainittujen muuttujien vaihteluiden erot viittaavat eri tasoiseen kehon kuormitukseen luistelun ja pp-ergometrin aikana. Mahdollisesti pp-ergometrillä suoritettavat arvioinnit energia-aineenvaihduntakapasiteetista eivät välttämättä ole oikea keino arvioida jääkiekkoilijoiden aerobisia ja anaerobisia ominaisuuksia jäällä, ja täten suunnitella oikeanlaista harjoittelua. Energia-aineenvaihdunnan lisäksi myös lihasten kuormitus tapahtuu eri tavoin liikkeiden ollessa erilaiset (Millet ym. 2009). Luistelua on tutkittu jäällä tehdyn testin lisäksi myös luistelumatolla, joka toimii samalla tavoin kuin juoksumatto. Nobes ym. (2003) tutkivat luistelumatotestin ja jäällä tehdyn testin kuormituksen eroja, jonka mukaan korkeilla submaksimaalisilla vauhdeilla luistelumatolla hapenotto, luistelufrekvenssi ja syke olivat korkeampia kuin jäällä luistellessa. Kirjallisuuden perusteella edellä mainittuja muita tutkimuksia ei ole tehty tai on toteutettu vähän.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää juoksutestin, jäätestin ja pp-ergometritestin soveltuvuutta kynnysykearviointiin tutkittaessa jääkiekkoilijoita ja hyödyntämällä tietoa tutkittavien veren laktaattipitoisuuksista ja sykkeistä. Tutkimuksessa jokaisen testimenetelmän avulla tutkittaville määritetään aerobiset ja anaerobiset kynnysykkeet samalla tutkien tarkemmin kynnysykkeiden eroavaisuuksia näiden testimenetelmien välillä. Määritetyt kynnysykkeet mahdollistavat esimerkiksi kuormituksen seuranta ja täten tarkempaa harjoittelun suunnittelua ja seuranta jääkiekkoilijoilla. Durocher ym. (2010) tutkimuksesta poiketen, tässä tutkimuksessa luistelutestin ja pp-ergometritestin lisäksi jääkiekkoilijoiden kynnysykkeitä tutkitaan myös juoksemalla. Pp-ergometrista eroten juokseminen tapahtuu koko kehonmassalla jalkojen päällä samalla tavoin kuin luistelu, joten juoksemisen avulla määritetyt kynnysykkeet voivat vastata jääkiekkoilijoiden jäällä mitattuja kynnysykkeitä. Laktaattien ja sykkeiden avulla määritetyt kynnysykkeet mahdollistavat näiden kolmen eri testimenetelmän tarkemman vertailun ja analysoimisen.



## 2 JÄÄKIEKON LAJIANALYYSI

Jääkiekko on nopea tempoinen palloilulaji, jossa pelaajat luistelevat eri mittaisia jaksoja vaihtelevalla intensiteetillä. Jaksollisten luistelujen intensiteetti määrää aerobisten ja anaerobisten energiantuottosysteemien hyödyntämisen suorituksen aikana. Aktiivisen jäällä oloajan lisäksi pelaajat viettävät jääkiekko-ottelun aikana passiivista aikaa pelikatkoilla sekä valmistautumalla vaihtopenkillä ennen seuraavaa aktiivista jaksoa jäällä. (Montgomery 1988; Vigh-Larsen & Mohr 2022.) Jääkiekko-ottelun monitahoisuus vaatii pelaajilta kestävyys, nopeus ja voimaominaisuuksien lisäksi pitkälle kehittyneitä teknisiä, taktisia ja kognitiivisia taitoja, jotka mahdollistavat nopean päätöksenteon ja tiettyjen pelin sisäisten liikkeiden ja taitojen suorittamisen (Lignell ym. 2017; Vigh-Larsen ym. 2019).

### 2.1 Fyysiset ominaisuudet jääkiekossa

Aiempien tutkimusten mukaan ammattilaispelaajien aerobiset, anaerobiset sekä voimantuottokapasiteetit ovat suurempia kuin ei-ammattipelaajien (Montgomery 2006; Peterson ym. 2015a). Jääkiekko-ottelut vaativat pelaajilta toistuvaa sprinttikykä, joka perustuu aerobisen ja anaerobisen energiantuottosysteemien monimutkaiseen toimintaan. Toistuva sprinttikykä on yleistä joukkuepalloilulajeissa, joissa edistynyt suorituskyky vaatii toistamaan useaan kertaan lyhytkestoisia sprinttejä eri mittaisilla palautuksilla. (Girard ym. 2011.) Aerobisen ja anaerobisen energiantuottosysteemien lisäksi myös vetyionien käsittely ja laktaatin puskurointi voivat mahdollisesti selittää edistynyttä suorituskykyä jääkiekko-otteluiden aikana (Hostrup & Bangsbo 2016), kuten myös kehonkoostumus, lihaksien rakenne ja hermolihasjärjestelmän toiminta (Brocherie ym. 2015).

Nykypäivän jääkiekossa havaitaan kohtalaisen korkeita maksimaalisen hapenottoyvyn arvoja (~55–60 ml/(kg\*min)) huippupelaajien keskuudessa pp-ergometrillä tehdyissä kynnystesteissä, jotka vertautuvat klassisempaan aerobisen kestävyuden palloilulajiin jalkapalloon kohtalaisen hyvin ottaen huomioon jääkiekkopelaajien suuremmat kehonmassat (Ferland ym. 2021; Lignell ym. 2017). Kirjallisuuden perusteella korkea  $VO_{2max}$  näyttäisi takaavan pelaajille paremman suoritusyvyn (Green ym. 2006; Montgomery 1988; Peterson ym. 2015b). Huolimatta aerobisen kunnan hyödyntämisestä jääkiekossa on aerobisen energiantuottosysteemin merkitystä jääkiekon parissa tutkittu vähän. Carey ym. (2007) tutkimuksen mukaan jääkiekkoilijoiden aerobisen kunnan parantaminen ei paranna ottelun aikaista suorituskykyä

enää merkittävästi, kun tietty aerobisen kunnan taso on yksittäisen pelaajan kohdalla saavutettu.  $VO_{2max}$  näyttäisi selittävän noin 17.8 % väsymyksen vaihtelusta (Carey ym. 2007).

Jääkiekossa olennaisessa osassa oleva pelaajien luistelulähdön nopeus suorassa luistelussa näyttäisi kehittyvän kokemuksen myötä, kun kokeneimmilla pelaajilla (pelikokemus  $19.7 \pm 3.9$  vuotta, ikä  $24.7 \pm 3.1$  vuotta) ja vähemmän kokeneilla pelaajilla (pelikokemus  $9 \pm 6$  vuotta, ikä  $23.9 \pm 3.1$  vuotta) havaitaan samanlaisia voimantuotto-ominaisuuksia ja lonkka-, polvi ja nilkkanivelten liikeominaisuuksia (Renaud ym. 2017). Lisäksi vertikaalihypyn ja sprinttijuoksun tuloksien sekä luistelunopeuden ja -kiihdytyksen välillä on havaittu vahva positiivinen korrelaatio (Bracko & George 2001). Juoksun ja luistelun nopeuteen vaikuttaa mm. askelluksen frekvenssi ja askelpituus, joissa jalat toimivat eri nivelkulmissa näiden kahden liikkumismuotojen välillä (Behm ym. 2005). Jääkiekossa luistelun aikana tapahtuu myös liikkumisen aikana enemmän isometristä työtä luistelupotkun jälkeisen liukuvaiheen aikana kuin esimerkiksi juoksussa, joka voi suuremmalla lihasmassalla aiheuttaa sykkeen nousua merkittävämmiin luistelun aikana lihassupistuksen intensiteetin ollessa korkea (Galvez ym. 2000). Yksilöiden lihasmassan määrällä ei ole havaittu korrelaatiota jäällä tapahtuvaan luistelun suorituskykyyn, joka selittyy mahdollisesti sillä, että pelaajat kannattelevat kehonmassaansa luistimien päällä (Gilenstam ym. 2011).

Jääkiekkoilijoiden ottelun aikaiseen suorituskykyyn vaikuttaa myös hermolihasjärjestelmän toiminta kauden aikana, minkä on todettu olevan heikoimmillaan kauden lopulla (Gannon ym. 2021). Voimantuoton ja hermolihasjärjestelmän näkökulmasta on myös havaittu lyhyen 2.5 viikon HIIT-harjoittelun (High Intensity Interval Training) parantavan maksimaalista voimantuottoa ja räjähtävän lihasvoimantuotannon toiminnallisia mekanismeja, mutta luistelunopeuteen sillä ei ollut vaikutusta (Kinnunen ym. 2019).

## **2.2 Jääkiekko-ottelun kuormittavuus**

Täysimittaisen 60 minuutin jääkiekko-ottelun aikana pelaajat toistavat useaan kertaan 30–80 sekunnin mittaisia vaihtoja, joiden jälkeen pelaajat pääsevät palautumaan ensisijaisesti vaihtopenkille. Ottelutapahtumien aikana pelaajat hyödyntävät kentällä pääasiallisesti anaerobista energiantuottosysteemiä ja passiivisten aikojen aikana enemmän aerobista energiantuottosysteemiä. Yleisimmin pelaajat ehtivät palautumaan vaihtopenkillä muutamia

minuutteja ennen seuraavaa intensiivistä vaihtoa - jopa 5 minuuttia. Tähän vaikuttaa olennaisesti ottelun tapahtumat, kuten esimerkiksi pelikatkojen määrä. Kokonaispelaikaan otteluiden aikana kertyy pelaajalle noin 10–25 minuuttia. (Lignell ym. 2017; Montgomery 1988; Vigh-Larsen & Mohr 2022.) Palautumisen kannalta aerobisen energiantuottosysteemin lisäksi myös fosfokreatiinin (PCr) uudelleensynteesi on ensisijaisessa roolissa takaamaan mahdollisuuden parhaaseen suorituskykyyn vaihdon aikana (Glaister, 2005; Sahlin & Harris, 2011). Jääkiekko-ottelun aikana pelaajat liikkuvat jäällä yhteensä noin 4–6 kilometriä, joka tyypillisesti määräytyy pelaajan jääajan sekä pelipaikan ja -roolin mukaisesti (Brocherie ym. 2018; Douglas & Kennedy 2020; Lignell ym. 2017).

Anaerobisen energiantuoton näkökulmasta jääkiekko-ottelua on tutkittu muun muassa Vigh-Larsen ym. (2020) toimesta. Tutkimuksen perusteella glykokeenin käyttöaste ja kohonnut laktaattitasot ottelun aikana osoittavat, että reiden lihasten anaerobisen energian vaihtuvuus oli huomattavasti kohonnut ottelun huippuhetkillä yleisen aerobisen kuormituksen lisäksi. Ennen ottelua pelaajien laktaattitasot olivat perustasolla noin  $0.8 \pm 0.3$  mmol/l ja ottelun ensimmäisen erän jälkeen tutkittavien laktaattitasoiksi mitattiin  $4.7 \pm 2.6$  mmol/l. Vastaavasti ottelun kolmannen erän jälkeen arvot olivat  $4.9 \pm 2.7$  mmol/l. (Vigh-Larsen ym. 2020.) Hieman suurempia laktaattitasoja on löydetty Noonan (2010) tutkimuksessa, jossa tutkittiin laktaattitasoja ottelun aikana eri pituisten vaihtojen jälkeen. Laktaattitasot vaihtelivat ottelun eri vaihtojen ja tilanteiden jälkeen 4.4–13.7 mmol/l välillä ja keskiarvillisesti laktaattitasot olivat 8.2 mmol/l (Noonan 2010).

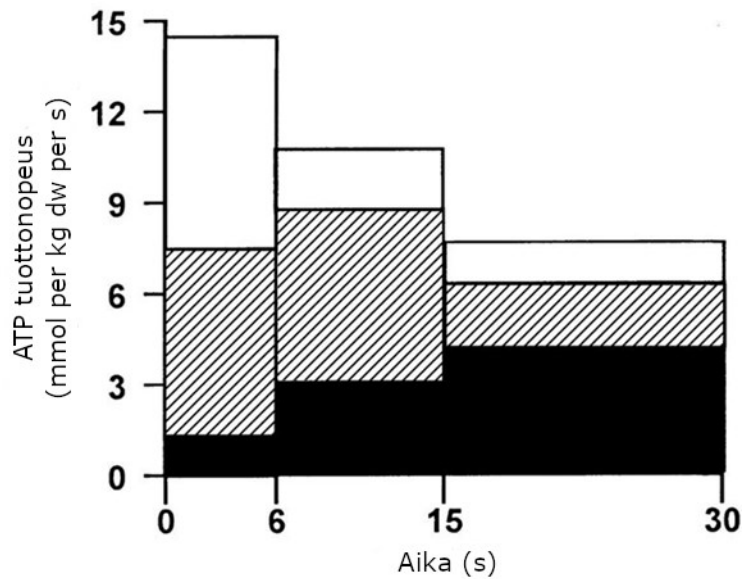
Tutkimusten mukaan jääkiekkoilijoiden keskimääräinen syke jäällä ollessa vaihtelee ottelun aikana 82–87 prosentin välillä maksimisykkeestä (Linseman 2014; Montgomery 1988; Twist & Rhodes 1993; Vigh-Larsen ym. 2020). Douglas & Kennedy (2020) sekä Lignell ym. (2017) esittävät tutkimuksissaan, että pelaajat pelaavat noin puolet pelin ajasta kovalla intensiteetillä ja kovasta intensiteetistä pelaajat pelaavat noin 25 % maksimivauhtisella teholla. Verrattaessa ottelutapahtumia ottelun ensimmäisessä erässä ja ottelun lopussa pelaajien intensiteetin on nähty laskevan osittain väsymyksen takia. Lisäksi tutkimuksissa on selvitetty, että esimerkiksi hyökkääjät luistelevat keskimäärin enemmän sprinttiluistelua kuin puolustajat. (Douglas & Kennedy 2020; Lignell ym. 2017.) Pelin loppupuolen tapahtumista on löydetty viitteitä, jonka mukaan pienemmän rasvaprosentin ja paremman laktaatin sietokyvyn omaavat pelaajat kykenevät suoriutumaan ottelun lopun aikaisista vaiheista paremmin ja tehokkaammin kuin pelaajat, joilla rasvaprosentti on suurempi ja laktaatinsietokyky heikompi (Green ym. 2006).

### 3 ENERGIANTUOTTO JA TALOUDELLISUUS

#### 3.1 Energiantuottosysteemien fysiologinen tausta

Ihmisen kehon lihaksien toiminta perustuu välttämättömään ja perimmäiseen energialähteeseen adenosiniinrifosfaattiin (ATP). ATP:a tuotetaan energia-aineenvaihduntareittien kautta aerobisesti sekä anaerobisesti. Aerobinen - ja anaerobinen energiantuottotapa eivät ole toisiaan poissulkevia, sillä ne toimivat samanaikaisesti. Käsitteet aerobinen ja anaerobinen viittaavat lihastyössä sen hetkiseen hallitsevaan energiantuottotapaan. Kirjallisuudessa anaerobinen energiantuotto jaetaan vielä kahteen osaan eli alaktiseen (ATP-PCr-systeemi) ja laktiseen (glykolyysi) energiantuottosysteemiin. Aerobinen ja molemmat anaerobiset energiantuottosysteemit ovat kaikki aktivoituneina erittäin lyhyen ja intensiivisen suorituksen aikana. Näistä aineenvaihduntareiteistä anaerobiset energiantuottosysteemit mahdollistavat nopeamman ATP:n tuoton kuin aerobinen systeemi. Mitä pidemmästä suorituksesta on kyse, sitä enemmän aerobinen energiantuottosysteemi dominoi ATP:n tuotossa. (Gastin 2001; Hargreaves & Spriet 2020; Plowman & Smith 2007.)

Kuvassa 1. on hahmoteltu ATP:n tuottonopeutta edellä mainittujen energiantuottosysteemien avulla pyöräiltäessä 30 sekuntia täydellä teholla. Aerobisen energiantuoton on arvioitu tuottavan 1.32 mmol ATP/kg ensimmäisen kuuden sekunnin ajalta maksimaalisen 30 sekunnin sprintin aikana, joka vastaa noin 9 prosenttia kokonaisesta ATP:n muodostumisesta. (Parolin ym. 1999.)



KUVA 1. Pyöräilijöiden energiantuottosysteemien tuottama ATP:n tuottonopeus (mmol/lihaksen kuivapaino/sekunti) poljettaessa 30 sekuntia täydellä teholla. Valkoisella alueella kuvataan ATP-PCr-systeemin toiminta, mustavalkoisella glykolyysin toiminta ja mustalla aerobinen toiminta. (Parolin ym. 1999.)

Adenosiinitrifosfaattia muodostetaan energiaravintoaineista: hiilihydraateista, rasvoista sekä proteiineista, joista ensimmäiset kaksi toimivat pääasiallisina energialähteinä ATP:n muodostumiselle. Ylimääräinen energiaravintoaineista saatu energia, jota ei voida hyödyntää energian tuottoon ja säilytykseen lihaksille varastoituu rasvana kehoon. (Plowman & Smith 2007.) Lihastyöhön tarvittava energia muodostuu ATP:n hydrolyysissa (ATPaasi), jossa ATP pilkkoutuu adenosiinidifosfaatiksi (ADP) ja ortofosfaatiksi (Pi). Pilkkoutumisen sivutuotteena vapautuu samalla energiaa lihastyöhön sekä lämpöä. Energia mahdollistaa esimerkiksi lihassupistuksen. ATP:n pilkkoutumisen seurauksena tapahtuva lihassupistus hahmoteltu seuraavan kaavan mukaisesti. (Baker ym. 2010; Glaister 2005.):



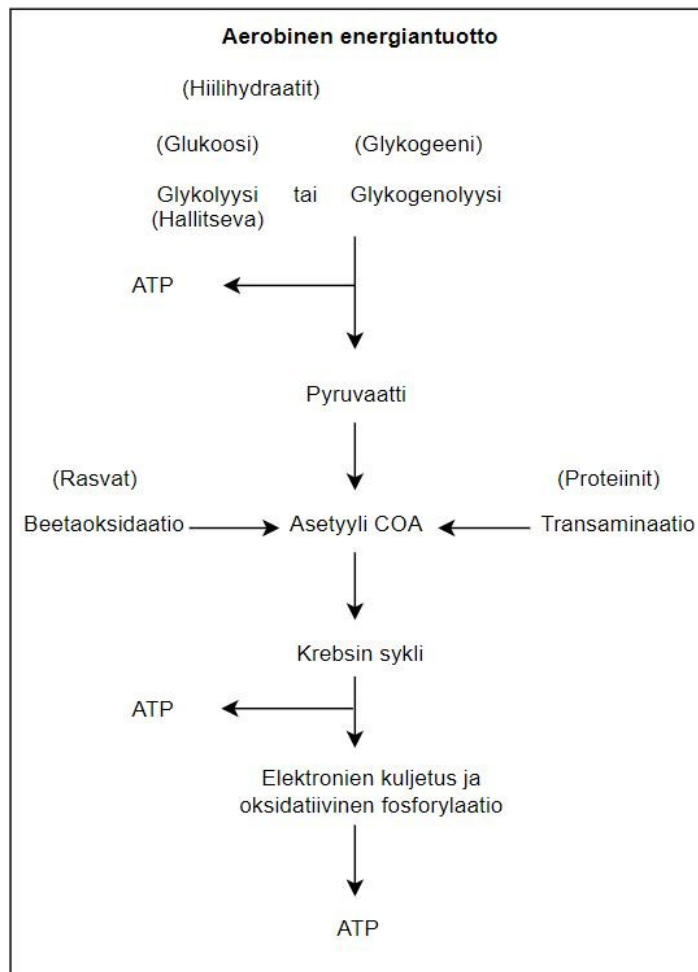
Lihassupistuksen aikana ATP:a käytetään poikittaissiltojen muodostumiseen aktiini- ja myosiinifilamenttien välille, joka mahdollistaa lihaksen voimantuoton (Cairns 2006). Ihmisen kehon kuivapainoisessa lihaksessa on tyypillisesti varastoituneena noin 20-25 mmol/kg ATP:a, joka maksimaalisella ATP:n vaihtuvuuden tasolla (~15mmol/kg/s) riittänee maksimaalisella

lihastyöllä vain 1–2 sekunnin ajaksi (Bogdanis ym. 1998; Gaitanos ym. 1993; Parolin ym. 1999). Pienet ATP-varastot tyhjenevät kuitenkin nopeasti maksimaalisen lihastyön aikana ja keho alkaa tuottamaan ATP:a kemiallisten reaktioiden avulla aerobisesti sekä anaerobisesti mahdollistaakseen ATP:n uudelleentuottamiseen ja lihastyön jatkumisen (Gastin 2001). ATP:n tuoton määrään ja vaihtuvuuteen vaikuttaa myös ulkoinen lämpötila, jossa työskennellään tai levätään paikallaan (Clarke 2004). Koska ym. (2002) mukaan 30 minuutin kylmäältistus (4° C), johtaa verenkierron heikkenemiseen ja rasva-aineenvaihdunnan lisääntymiseen.

### **3.1.1 Aerobinen energiantuotto**

Aerobinen energiantuotto hyödyntää happea energian muodostuksessa ja toimii lähes loputtomana energianlähteenä (Plowman & Smith 2007). Ensisijaisesti lihassolut hyödyntävät aerobisessa energiantuotossa ATP:n muodostamiseen hiilihydraatteja plasman glukoosista ja lihasglykokeenista sekä rasvoja vapaista rasvahapoista ja lihastriglyserideistä (Romijn ym. 1993). Myös proteiinien aminohappoja hyödynnetään pienemmissä määrin energianlähteenä (Frontera & Ochala 2015).

Urheilusuorituksen alkaessa kohtalaisella teholla, keho alkaa muodostamaan ATP:a aerobisesti glykolyysin, Krebsin syklin (sitruunahappokierto) ja oksidatiivisen fosforylaation avulla. Levossa Krebsin sykli ja oksidatiivinen fosforylaatio huolehtivat lähes kaikesta tarvittavasta energiasta keholle. (Plowman & Smith 2007.) Glykolyysin jälkituotteena syntyy pyruvaattia ja hieman ATP:a lihaksien käyttöön (Bonora ym. 2012). Pyruvaatin muodostuessa se voi kovan rasituksen aikana muuttua muotoaan laktaatiksi soluliman nestemäisessä osassa sytosolissa, mutta matalamman intensiteetin harjoitteissa mitokondrioihin kulkeutuva pyruvaatti hapettuu asetyylikoentsyymi-A:ksi, josta se on sitten käytettävissä Krebsin syklissä. Krebsin syklin seurauksena syntyy ATP:a ja pelkistetyt ekvivalentit siirtyvät elektronien kuljetusketjun kautta oksidatiiviseen fosforylaatioon, jossa ATP:a tuotetaan lisää. (Cairns 2006; Doenst ym. 2013; Spriet ym. 2000.) Muista energiaravintoaineista rasvat muutetaan beetaoksidaatiolla ja mahdolliset hyödynnettävät proteiinit transaminaation avulla asetyylikoentsyymi-A:ksi, josta ne siirtyvät hiilihydraattien jälkituotteen pyruvaatin lailla Krebsin sykliin ja sitä kautta oksidatiiviseen fosforylaatioon (Bonora ym. 2012; Hargreaves & Spriet 2020). Aerobista energiantuottoa on kuvattu kuvassa 2.



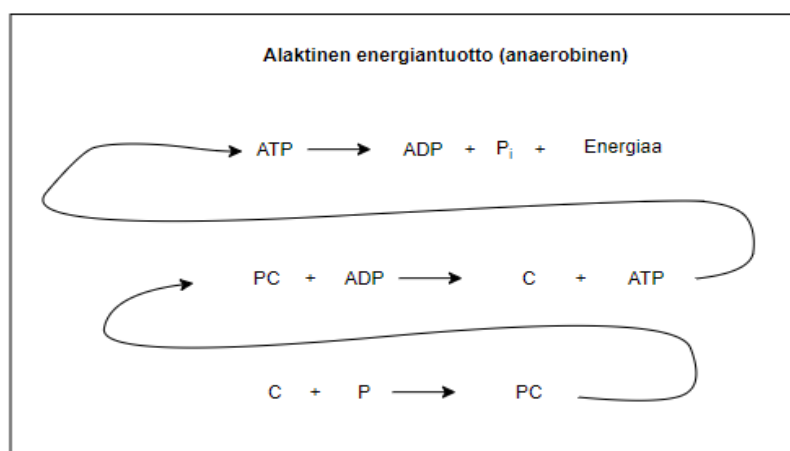
KUVA 2. Aerobisessa energiantuotossa kuvattu hiilihydraattien, rasvojen ja proteiinien muuttumista asetyylikoentsyymi-A:ksi (Asetyyli COA), josta se jatkaa matkaa Krebsin sykliin ja lopulta oksidatiiviseen fosforylaatioon. Aerobisen energiantuoton aikana lihaksille syntyy välttämätöntä ATP:a. (mukailtu Plowman & Smith 2007.)

Aerobisen energiantuoton tehokkuutta ja toimintaa mitataan  $VO_{2max}$  avulla, joka ilmaisee maksimaalisen hapen määrän, jonka keho voi käyttää yhden minuutin aikana dynaamisessa lihastyössä (Williams ym. 2017). Liikuttaessa alle 100 %:n  $VO_{2max}$ -intensiteetillä kestävyysharjoittelun aikana, aerobinen energiantuotto hallitsee ATP:n tuotantoa (Hargreaves & Spriet 2020), josta noin 60–70 % teholla  $VO_{2max}$  rasvojen käyttö energianlähteenä on kaikkein tehokkainta (Achten & Jeukendrup 2003; Carey ym. 2007).

### 3.1.2 Anaerobinen energiantuotto

Anaerobisten energiantuottoreittien ATP:n tuottonopeus on merkittävästi suurempi kuin aerobisilla, mutta niiden kapasiteetti on vastaavasti pienempi kuin aerobisilla (Hargreaves & Spriet 2020). Anaerobinen energiantuotto tapahtuu hyödyntäen ATP-PCr-systeemiä ja glykolyysia, joista yleensä puhutaan myös kirjallisuudessa alaktisena ja laktisena energiantuottosysteemeinä. ATP-PCr-systeemi ei hyödynnä happea energiantuotossa eikä sen lisäksi tuota glykolyysista poiketen laktaattia. (Plowman & Smith 2007.)

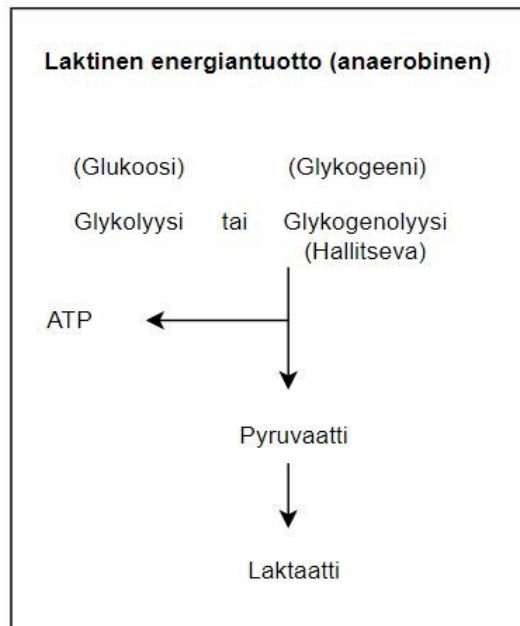
Maksimaalisella teholla suorituksen alussa elimistö hyödyntää ensisijaisesti lihaksien omat ATP-varastot tyhjentäen ne muutaman sekunnin aikana (Bogdanis ym. 1996). Tämän jälkeen kovassa rasituksessa lihasten suurin energian saanti perustuu ATP-PCr-systeemin toimintaan (Cairns 2006; Withers ym. 1991). ATP-PCr-systeemin varastot ovat kuitenkin rajalliset ja maksimaalisella teholla niiden on todettu tutkimusten mukaan riittävän 5–7 sekunnin suoritukseen, jonka jälkeen glykolyysi on merkittävimmässä osassa energiantuottoa (Greenhaff & Timmons 1998; Hirvonen ym. 1987; Newsholme 1980). Maksimaalisella teholla työskennellessä ATP-PCr-systeemin varastojen on myös todettu tyhjenevän viimeistään 10 sekunnin kuluttua suorituksen alusta (Walter ym. 1997). ATP-PCr-systeemissä energiaa lihaksille tuotetaan fosfaatin (P) ja kreatiinin (C) yhdisteestä fosfokreatiinista, joka yhdessä adensiinidifosfaatin (ADP) kanssa fosforyloituu ATP:ksi ja ylimääräinen kreatiini voidaan fosforyloidu uudelleen mitokondrioiden sisäkalvoilla. ATP pilkotaan ATPaasin avulla ADP:ksi ja fosfaatiksi, jonka yhteydessä syntyy energiaa (kuva 3). (Plowman & Smith 2007.)



KUVA 3. Anaerobisen ATP-PCr-systeemin (alaktinen energiantuotto) toiminta (mukailtu Plowman & Smith 2007).



ATP-PCr-systeemin varastojen loppuessa kovan intensiivisen urheilusuorituksen aikana elimistö alkaa hyödyntämään pääasiallisesti lihaksien glykogeenivarastoja sekä veren ja solujen ulkopuolista glukoosia anaerobisen glykolyysin kautta lihaksien energiantuottoon (Gastin 2001). Kun elimistön soluihin varastoitunutta glykogeenia pilkotaan lihaksien hyödyntämäksi energiaksi, kutsutaan sitä tapahtumaa nimellä glykogenolyysi (kuva 4).



KUVA 4. Anaerobinen glykolyysi (laktinen energiantuotto), jossa energiaa pilkotaan hiilihydraateista: verensokerista (glukoosi) tai soluihin varastoituneista glykogeeneistä. Molemmat pilkkoutumiset mahdollistavat ATP:n sekä pyruvaatin tuoton, joka pelkistyy kovalla rasituksella laktaatiksi. (mukailtu Plowman & Smith 2007.)

Vastaavasti anaerobisessa glykolyysissa solun ulkopuolelta solulimasta glukoosia pilkotaan energiaksi. (Baker ym. 2010; Plowman & Smith 2007.) Aerobisen sekä anaerobisen glykolyysin ja glykogenolyysin ATP:n tuoton seurauksena syntyy jälkituotteena pyruvaattia, joka kevyen intensiteetin kuormituksessa hapetetaan aerobisen aineenvaihdunnan prosessina mitokondrioissa (Cairns 2006). Mitokondriot eivät kuitenkaan pysty hapettamaan kaikkea intensiivisen kuormituksen aikana syntyvää pyruvaattia, joten hapettamaton pyruvaatti muuttuu laktaatiksi lihaksen supistuvassa osassa myoplasmassa (Gladden 2004; Spriet ym. 2000). Laktaatin avulla voidaan epäsuorasti arvioida lihaksen väsymisen tasoa, joka alkaa kumuloitumaan lihaksissa suorituksen intensiteetin mukaan – mitä suuremmasta

harjoitustehosta on kyse, sitä suurempia laktaattitasoja havaitaan (Acevedo & Goldfarb 1989; Beneke ym. 2011; Billat ym. 2003; Jacobs 1986).

Lihaksen toiminnan heikkenemisessä on olennaisessa osassa vetyionien määrän lisääntyminen, joka johtaa lihaksen happamuuden nousuun ja toimintakyvyn heikkenemiseen (Metzger & Moss 1990; Wan ym. 2017). Terveillä harjoittelemattomilla henkilöillä veren laktaattipitoisuus alkaa kumuloitumaan lepotasosta noin 50–55 % suoritella teholla maksimaalisesta aerobisesta kapasiteetista (McArdle, Katch, F.I. & Katch V.L., 2010, s. 163). Kirjallisuuden perusteella on myös havaittu maksimaalisen suorituksen jälkeisen palautumisen olevan nopeampaa aktiivisen palautuksen aikana kuin passiivisen laktaatin huuhtoutumisen näkökulmasta. Aktiivisessa palautuksessa myös intensiteetillä on vaikutus laktaatin huuhtoutumisnopeuteen. (Devlin ym. 2014.)

### **3.2 Mekaaninen hyötysuhde ja taloudellisuus**

Mekaaninen hyötysuhde kuvataan yleensä työn tuoton ja energiapanoksen suhteena. Kehon kyky tarjota lihaksille riittävästi energiaa ATP:n muodossa kovassa kuormituksessa on rajallista, jonka vuoksi tehokkuuden lisääminen eli toisin sanoen tehdyn työn määrän lisääminen pienellä energiamäärän lisäyksellä on kannattavaa paremman urheilusuorituksen toiveissa. (Coyle 1995; Keir ym. 2012.) Mekaanisen hyötysuhteen tutkimista pidetään erityisen tärkeänä pidempi kestoisissa kohtuullisen kovatehoisissa suorituksissa, joissa lihasglykokeenin riittävyys voi olla suorituskykyä rajoittava tekijä (Ørtenblad ym. 2013). Mekaaniselle hyötysuhteelle määritellään yleensä erilaisia alakäsitteitä, joista yleisimpinä tutkitaan mm. delta - sekä kokonaishyötysuhdetta (bruttohyötysuhde). Deltahyötysuhteessa mitataan tehdyn työn muutosta suhteessa kulutetun energian muutokseen. (Gaesser & Poole 1996; Sidossis ym. 1992.) Kokonaishyötysuhteessa suhteutetaan tehon määrä kokonaisenergian kulutukseen (Coyle 1995; Moseley & Jeukendrup 2001).

Pyöräilyssä kadenssin tiedetään vaikuttavan energiankulutukseen ja erityisesti matalalla teholla (W) polkeminen aiheuttaa brutto hyötysuhteen laskemista kadenssin kasvaessa (Berry ym. 1993; MacDougall ym. 2022). Huipputriathlonisteilla tehdyn tutkimuksen mukaan kokonaishyötysuhde vaikuttaisi olevan suurempi pyöräilyssä kuin juoksussa. Tutkimuksessa tutkittavat työskentelivät 2.5 asteen kulmaan, jonka perusteella pyöräilyssä

kokonaishyötysuhteeksi laskettiin 21.1 %, kun taas juoksun aikana 8.2 %. Tutkimuksen perusteella huipputriathlonisteilla, joilla havaitaan korkea kokonaishyötysuhde juoksun aikana, havaitaan myös korkea kokonaishyötysuhde pyöräilyn aikana, kuitenkin siten, että triathlonistit ovat energiatehokkaampia pyöräilyssä kuin juoksussa riippumatta työmäärästä. (Carlsson ym. 2020.) Vastaavasti deltatehokkuus vaikuttaisi tutkimusten mukaan olevan suurempi juoksussa kuin pyöräilyssä. Bijker ym. (2001) tutkimuksessa deltahyötysuhde juoksun aikana oli 45.5 %, kun taas pyöräilyn aikana lukema oli 25.7 %.

Kokeneilla pyöräilijöillä kokonaishyötysuhteeksi on saatu arvoja vaihteluvälillä 20.4–21.0 % pyöräillessä 60–80 RPM:llä ja lisäämällä eritasoisia kuormituksia (Sidossis ym. 1992), sekä perinteisemmässä pp-ergometrikyynnystestissä keskiarvolla 19.8 % (Moseley & Jeukendrup 2001). Jääkiekossa luistelun aikaisen liikkumisen aikana mekaanista hyötysuhdetta ei ole kirjallisuuden perusteella tutkittu. Pikaluistelun aikana on havaittu, että keskiarvoinen kokonaishyötysuhde on submaksimaalisen luistelun aikana 15.8 % kokeneilla pikaluistelijoilla (De Koning ym. 2005) ja toisen tutkimuksen mukaan 14.8 % (Houdijk ym. 2000). Vaikkakin pikaluistelun staattisempi luistelutyyli ei vastaa täysin jääkiekossa tapahtuvaa luistelua, edellä mainitut arvot ovat suuntaa antavia saman tapaisessa liikkumismuodossa.

Vaikka jääkiekossa ei mekaanista hyötysuhdetta ole tarkemmin tutkittu, on kuitenkin esitetty joitakin karkeita arviointeja taloudellisuudesta. Jääkiekossa luistelun tutkiminen on kompleksinen kokonaisuus, sillä jalkojen lihakset ja nivelet voivat toimia hyvin monin eri tavoin, mutta käytännössä taloudellisempi luistelija voi saada luistelun aikana etua väsymisen välttämiseen (Peterson ym. 2015a). Lamoureux ym. (2018) tutkimuksen mukaan parempi luistelun taloudellisuus vaikuttaisi ylläpitävän parempaa suorituskykyä toistuvien sprinttiluisteluiden aikana, jossa suorituskyky määräytyy sprinttiluistelun nopeudesta. Jääkiekossa takaperinluistelu on yleensä vähemmän käytössä etenkin hyökkäävien pelaajien keskuudessa, jonka vuoksi etenkin hyökkäävillä pelaajilla mekaanisesta tehokkuudesta johtuva hapenkulutus on luultavasti takaperin luistelussa suurempi kuin etuperin luistelussa (Allisse ym. 2021).

## 4 KYNNYSSYKKEEN MÄÄRITELMÄT

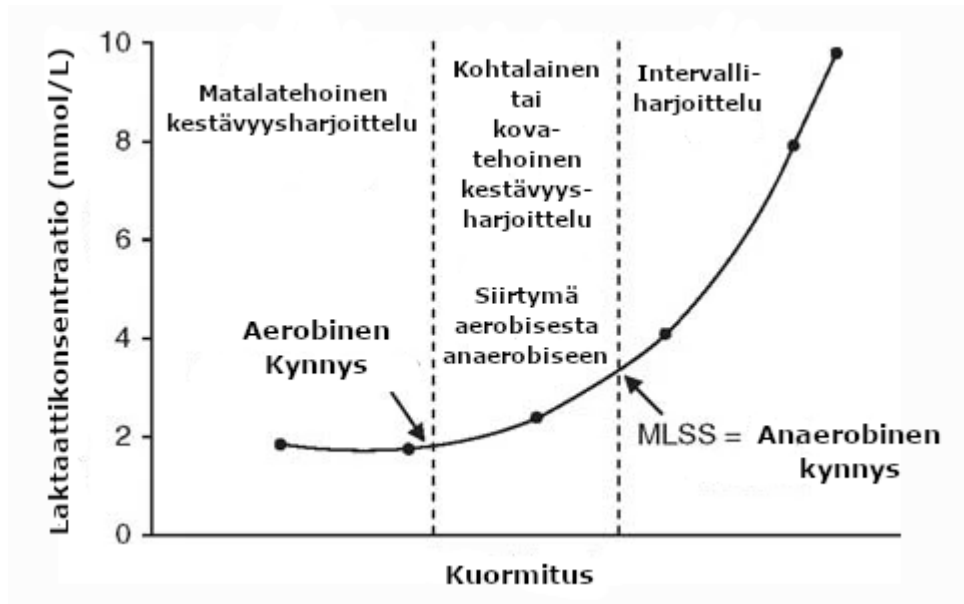
Sykkeen mittaaminen urheilusuoritusten aikana on vuosien saatossa muodostunut yhdeksi keinoksi arvioida urheilusuorituksen kuormittavuutta sekä epäsuorasti taloudellisuutta myös jääkiekon parissa (Carey ym. 2007; Durocher ym. 2008; Vigh-Larsen ym. 2020). Suorituksen taloudellisuus kehittyy siinä suorituksessa ja nopeudessa, jota harjoitetaan. Toisin sanoen yksittäisessä liikkumismuodossa annetulla nopeudella suoritettu suoritus ei siirry liikkumistavasta toiseen. (Keskinen ym. 2018, s.101.) Jokaisella yksilöllä sydämensyke ja hapenkulutus vaihtelevat harjoittelun intensiteetin mukaan. Sydämensykkeen avulla voidaan arvioida hapenkulutusta ja osittain myös energiankulutusta harjoittelun aikana. Syke vaihtelee kuitenkin yksilöittäin ja erityisesti kestävyysurheilijoilla on havaittu suurempi iskutilavuus eli sydämen yhden lyönnin aikana pumppaama verimäärä kuin harjoittelemattomilla henkilöillä. (McArdle ym. 2010, s. 203 & s.464.)

### 4.1 Laktaattikynnyksien määrittäminen

Pyruvaatin jälkituotetta laktaattia esiintyy ihmiskehossa levon ja kuormituksen aikana (Brooks 2020; Mazzeo ym. 1982). Erityisesti kuormituksen aikana laktaatin tuotto korreloi vahvasti aineenvaihdunnan tason kanssa (Donovan & Brooks 1983; Stanley ym. 1985). Veren laktaattipitoisuuksia tutkimalla on havaittu lihaksien kuormituksen kasvaessa veren laktaattipitoisuuden kasvavan samansuuntaisesti (Coyle ym. 1988; Gollnick ym. 1986; Farrell ym. 1979). Kuormituksen lisääntyessä on myös todettu sykkeen kasvavan samansuuntaisessa suhteessa kuin laktaatin (Conconi ym. 1982). Laktaatin määrä veressä ei kuitenkaan kasva tasaisesti ja lineaarisesti suhteessa kuormituksen määrään (kuva 5). Tämän takia tutkimuksien avulla on pyritty löytämään yhtäläisyyksiä laktaatin käyttäytymiselle veressä erilaisten intensiteettisten kuormitustapojen aikana. Esimerkiksi anaerobinen kynnyksen havaittiin jo ainakin 1960-luvulta lähtien ja on siitä asti ollut valmennuskäytössä (Davis 1985).

Anaerobisen kynnyksen lisäksi tutkimuksien perusteella on havaittu veren laktaattipitoisuuden muuttuvan myös kevyemmällä kuormituksella. Tätä kohtaa kutsutaan suomen kielessä termillä aerobinen kynnyksen (*eng. aerobic threshold, first lactate threshold*), jonka alapuolella olevilla kuormituksilla laktaattipitoisuuksien nousu veressä on hitaampaa kuin aerobisen kynnyksen yläpuolella. Aerobiselle ja anaerobisille kynnyksille on vuosien aikana ollut olettamus, jonka

mukaan yksilön aerobinen kynnyks määrytyy karkeasti laktaattipitoisuuden ollessa noin ~2 mmol/l ja anaerobinen vastaavasti laktaattipitoisuudella ~4 mmol/l. Aerobisen ja anaerobisen välistä aluetta on kutsuttu siirtymäksi aerobisesta energiantuotosta anaerobiseen energiantuottoon. (Kindermann ym. 1979; Skinner & McLellan 1980.)

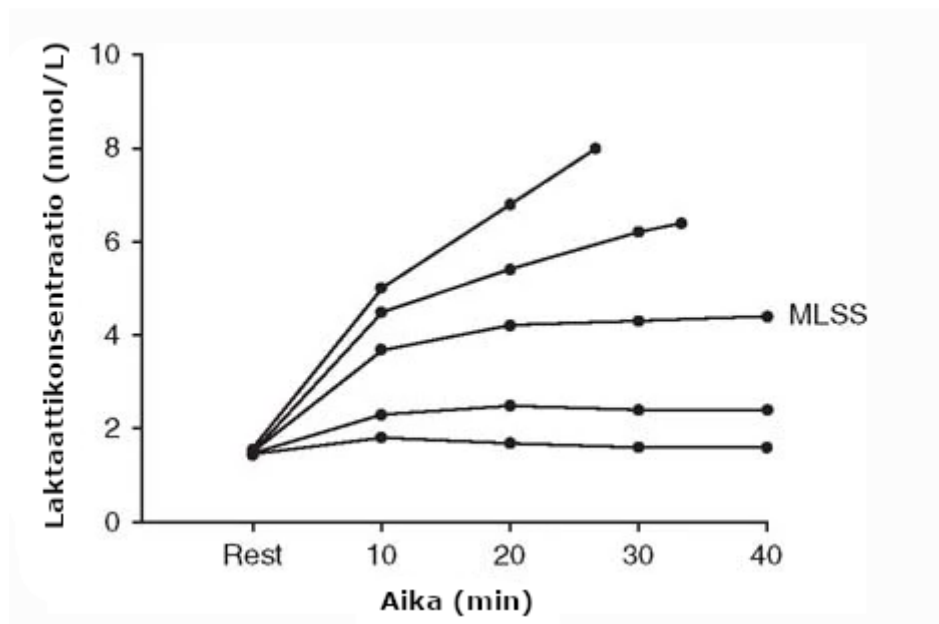


KUVA 5. Hahmoteltu aerobisen ja anaerobisen kynnyksien määrytyminen pystyakselin mukaisesti laktaattikonsentraation (mmol/l) sekä vaaka-akselin kasvavan kuormituksen perusteella. Kuvassa myös kuvailtu kynnyksien mukaisia yleisimpiä harjoittelutehomoitoja. (mukailtu Faude ym. 2009.)

Aerobisen ja anaerobisen kynnyksien määryttämisessä hyödynnetään usein kynnystestiä, jossa yksilölle määrätään kevyt aloituskuorma ja kuormitusta lisätään nousujohteisesti testin aikana uupumukseen asti. Kuormituksen lisääntyessä yksilön laktaattitasot ja syke kasvavat, joiden perusteella on mahdollista tutkia yksilön fysiologisia ominaisuuksia. Lisäksi kuormituksen perusteella määrytyt tehoalueet mahdollistavat harjoittelun suunnittelua oikealle tasolle. (Bentley ym. 2007; Faude ym. 2009.)

Kansainvälisessä kirjallisuudessa on vuosien saatossa havaittu ilmiö MLSS (Maximal Lactate Steady State), joka kuvaa suurinta laktaattitasoa, jossa laktaatin poisto on tasapainossa laktaatin kumuloitumisen kanssa (kuva 6), ja jonka jälkeen laktaattipitoisuus veressä lähtee merkittävään nousuun. (Beneke ym. 2011; Skinner & McLellan 1980.) MLSS-käsitteen määryttäminen poikkeaa kirjallisuudessa useasti, mutta yleensä se viittaa lähes poikkeuksetta tutkimuksissa

jälkimmäiseen (toiseen) laktaattikynnykseen tai kohtaan jälkimmäisen kynnyksen jälkeen. Suomen kielessä termistä käytetään käsitettä anaerobinen kynnyks. (Poole ym. 2021.) Veren laktaattipitoisuudet määritetään Suomessa yleisimmin hyödyntämällä sormenpäältä otettuja pieniä verinäytteitä, joita analysoimalla voidaan määrittää kuormitusten laktaattipitoisuudet (Keskinen ym. 2018, s.96).



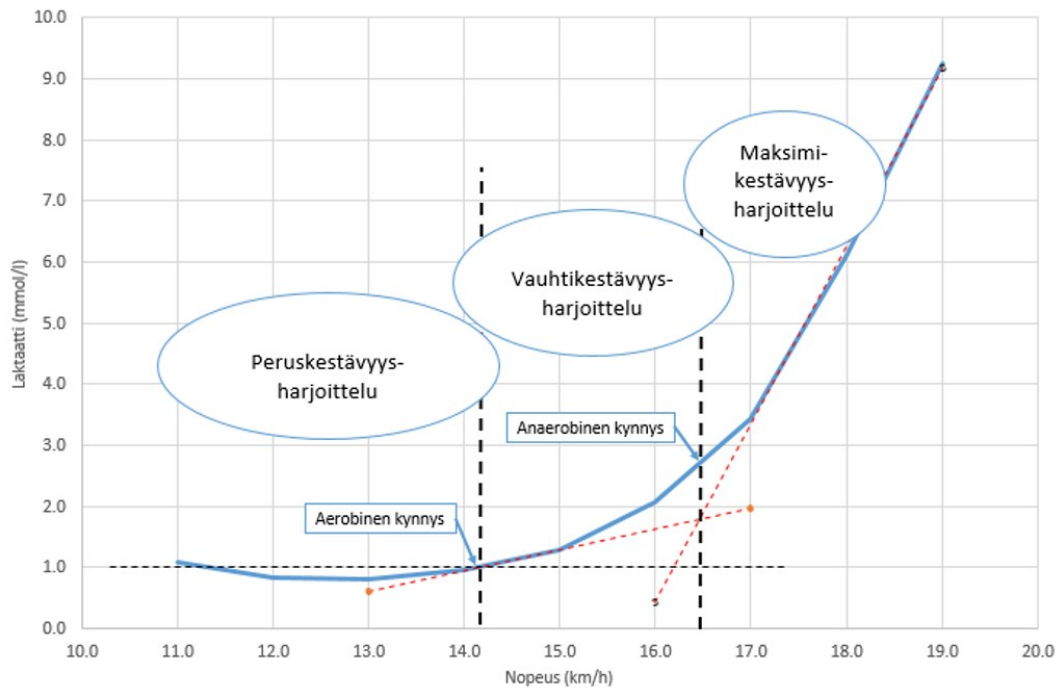
KUVA 6. Havainnollistettu MLSS-käsite, jossa kovalla kuormituksen tasolla saavutettu ~4 mmol/l laktaattitaso ei lähde nousemaan, sillä laktaatin kumuloituminen ja laktaatin poisto ovat tasapainossa. Kuvassa pystyakselilla laktaattikonsentraation määrä veressä (mmol/l) ja alhaalla vaaka-akselilla kuvattu kuormitusjakson aika (minuuttia). (mukailtu Faude ym. 2009.)

Kirjallisuuden perusteella aerobisen kynnyksen määrittämistä varten on hyödynnetty ~2 mmol/l arviota laktaattitason rajana vielä viime vuosienkin aikana (Sitko ym. 2022). Tämän lisäksi aerobisen kynnyksen määrittämiseen on myös käytetty erilaisia menetelmiä, joiden avulla on pyritty objektiivisemmin tutkimaan laktaattitasoja perustuen yksilöiden fysiologisiin eroihin (Faude ym. 2009). Hughson ja Green (1982) määrittelivät tutkimuksessaan aerobiseksi kynnykseksi 0.5 mmol/l nousua lepotasolta, kun taas 1 mmol/l nousua lepotasolta on myös hyödynnetty määrittettäessä aerobista kynnystä (Hagbehg & Coyle 1983).

Kansainvälisessä kirjallisuudessa aerobista kynnystä määritetään merkittävästi vähemmän kuin anaerobista kynnystä. Vastaavanlaisesti arvioidun aerobisen kynnyksen ~2 mmol/l rajan kanssa

on anaerobisen kynnyksen testauksessa ja määrittämisessä hyödynnetty ~4 mmol/l rajaa vielä viime vuosikymmentenkin aikana (Edwards ym. 2003; Hering ym. 2018; Wahl ym. 2017). Absoluuttinen tai arvioiva ~4 mmol/l laktaattipitoisuuden raja anaerobisen kynnyksen kohdalla ei välttämättä ole toimivin tapa arvioida laktaattikynnyksiä, sillä yksilöiden välillä on merkittäviäkin eroja fysiologisissa ominaisuuksissa, harjoittelustaustassa sekä glykogeenivarastojen koossa (Svedahl & MacIntosh 2003). Lisäksi useat muutkin tekijät voivat vaikuttaa veren laktaattipitoisuuskäyriin, kuten lihassäikeen koostumus, mitokondriotiheys sekä glykolyyttinen ja lipolyyttinen entsyymiaktiivisuus (Midgley ym. 2007). Yksilöiden eroihin eri tutkimuksissa on kuitenkin kiinnitetty huomiota ja anaerobista laktaattikynnystä on esimerkiksi määritetty tutkimuksissa 1.5 mmol/l nousulla testin matalimmasta arvosta (Dickhuth ym. 1999; Roecker ym. 1998).

Suomessa on viime vuosien aikana hyödynnetty uutta menetelmää tasoittain nousevatehoisessa kynnystestissä, jonka avulla määritetään aerobiset sekä anaerobiset kynnykset laktaattien perusteella (kuva 7) (Keskinen ym. 2018, s.96). Menetelmää varten kilpa- ja huippu-urheilun instituutissa KIHU:lla on tutkittu sadan juoksumattotestin tuloksia, joiden perusteella luotiin matemaattinen malli, jonka avulla kynnyksiä on mahdollista tutkia. (Liikuntatieteellinen seura 2018). KIHU:n menetelmää hyödynnetään myös tässä tutkimuksessa, kun analysoidaan ja määritetään aerobisia sekä anaerobisia kynnysyyskkeitä sykkeiden ja laktaattien perusteella eri testimenetelmien välillä.



KUVA 7. Kynnyksien määrittäminen Keskinen ym. 2018 mukaan. Ensimmäinen lineaarisovite (loivempi punainen katkoviiva) piirretään testin alimman arvon +0.3 mmol/l nousun sekä seuraavan kuorman välille. Toinen lineaarisovite (jyrkempi punainen katkoviiva) piirretään testin viimeisten kuormien välille, jossa laktaattipitoisuus nousee yli 0.8 mmol/l. Pystyakselilla kuvattu laktaattipitoisuudet (mmol/l) ja vaaka-akselilla nopeus (km/h). Sininen viiva kuvaa kuorman jälkeisen laktaattipitoisuuden annetulla vauhdilla. (Keskinen ym. 2018, s.96.)

#### 4.2 Kynnyssykkeet pyöräilyssä ja juoksussa

Kuormituksen, laktaatin ja sykkeen välillä on todettu olevan vahva korrelaatio anaerobista kynnystä määrittäessä (Conconi ym. 1982; Ribeiro ym. 1985). Nykyään aerobista ja anaerobista kynnystä varten tutkitaan usein em. muuttujia, joiden perusteella molemmille kynnyksille on mahdollista määrätä kynnyssyke tietyllä kuormituksen tasolla (Mikkola ym. 2011; Urhaisen ym. 1993). Kynnyssykkeiden tutkiminen erilaisten kuormitustapojen, kuten juoksu- ja pyörätestin välillä on haasteellista, koska liikkeet ja täten myös lihaksien kuormitus tapahtuu eri tavalla (Millet ym. 2009). Lisäksi juoksussa ja pyöräilyssä vartalonasennot ovat erilaisia, jotka voivat vaikuttaa sydämen tekemän työn määrään. Esimerkiksi tasaisella alustalla juoksun aikana sydän työskentelee kohtisuorassa painovoimaa vasten, jonka vuoksi sydän joutuu



pumppaamaan useamman kerran kuljettaakseen riittävän määrän verta elimistölle verraten pyöräilyasentoon, jossa ylävartalo on yleensä hieman kumarassa. (Fedorovich ym. 2021.)

Submaksimaalisen juoksuharjoituksen aikana yksilöillä on havaittu olevan suurempia hapenkulutuksia, korkeampia sykkeitä sekä todennäköisesti samalla suurempia energiankulutuksia kuin pyöräilyssä (Sedlock 1992). Kuormituksen aikaisen mekaanisen työn kasvaessa on havaittu, että pyöräilyssä jalkojen lihasaktiivisuus kasvaa merkittävämmiin kuin juoksussa (Bijker ym. 2002). Lisäksi voidaan ajatella hermolihasliitosten adaptoituvan tietynlaiseen kuormitustyyliin, jonka vuoksi vähän pyöräilleet ja paljon juosseet yksilöt voivat olla suhteessa parempia juoksijoita kuin pyöräilijöitä (Bonacci ym. 2009; Millet ym. 2009).

Triathlonistit harjoittelevat systemaattisesti juoksua, pyöräilyä ja uintia, joten heidän tutkimisensa on ainakin osittain mielekästä vertailtaessa juoksun ja pyöräilyn välisiä kynnyssykkeitä tutkimuksissa. Triathlonistien kynnyssykkeiden perusteella on havaittu, että anaerobisen kynnyksen sykkeet ovat korkeampia juoksussa kuin pyöräilyssä absoluuttisesti sekä suhteessa maksimisykkeeseen (Roecker ym. 2003; Schneider ym. 1990; Zhou ym. 1997). Zhou ym. (1997) tutkimuksen mukaan anaerobinen kynnys oli tilastollisesti suurempi pyöräilyssä kuin juoksussa ventilaatiokynnyksen (hapenkulutuksen avulla määrätty kynnys) ja sykkeen perusteella. Tutkimuksen mukaan juoksussa anaerobiseksi kynnykseksi määritettiin  $175 \pm 5$  bpm ja vastaavasti pyöräilyssä  $166 \pm 8$  bpm (Zhou ym. 1997). Huippunaistriathlonistien joukossa on myös löydetty samanlaisia tuloksia. Ventilaatiokynnyksen ja sykkeen avulla mitatussa tutkimuksessa havaittiin anaerobisen kynnyssykkeiden olevan pyöräilyssä  $148 \pm 3$  bpm ja vastaavasti juoksussa  $165 \pm 4$ . (Schneider & Lacroix 1991.)

Kynnyssykkeiden lisäksi tutkimuksissa on myös vertailtu triathlonistien sekä harjoittelemattomien yksilöiden maksimisykkeiden vaihtelua juoksun ja pyöräilyn välillä. Maksimisykkeiden on todettu olevan noin 5 prosenttia korkeampi harjoittelemattomilla yksilöillä, kun vertaillaan juoksukynnyksestä pyöräilyllä toteutettuun kynnystettiin (Fernhall & Kohrt 1990; Roecker ym. 2003). Vastaavasti triathlonisteilla on havaittu pyöräilyssä olevan noin 6–10 bpm matalampia maksimisykkeitä kuin juoksun aikana (Hue ym. 1999; Kohrt ym. 1989).

## 5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kuinka laktaattien perusteella määritellyt kynnyssykkeet eroavat toisistaan, kun jääkiekkoilijoita testataan juoksumatolla juosten, jäällä luistelemalla ja pp-ergometrillä pyöräillen. Tästä muotoutuu tämän tutkimuksen tutkimuskysymys:

Kuinka jääkiekkoilijoiden kynnyssykkeet eroavat juoksun, luistelun ja pyöräilyn välillä?

Oletamus: Durocher ym. (2010) tutkimuksen mukaan pyöräilyssä määritetty anaerobinen kynnys on matalampi kuin jäällä luistellessa. Pyöräilyn ja luistelun välillä aerobisen kynnyksen kohdalla voidaan olettaa pyöräilyssä olevan matalampi kynnys, kuten anaerobisessakin. Luistelun lisäksi myös, juoksussa on todettu korkeampia kynnyssykeitä kuin pyöräilyssä (Shneider & Lacroix 1990; Zhou ym. 1997). Juoksun kynnyssykkeiden oletetaan tämän perusteella olevan korkeampia kuin pp-ergometrillä. Juoksun ja jäällä tapahtuvan luistelun välisiä kynnyssykeitä ei ole aiemman kirjallisuuden perusteella tutkittu, mutta molemmat vaikuttaisivat olevan samansuuntaisia, sillä molempien kynnyssykkeet on todettu pyöräilyä korkeammiksi samanlaisessa suhteessa.

Tässä tutkimuksessa vertaillaan jokaisen aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välistä merkitsevyyttä ja merkittävyyttä kaikkien kolmen testimenetelmän välillä. Oletetaan testimenetelmien välillä määritettävien kynnyssykkeiden olevan samansuuntaisia tämän tutkimuksen tutkittavien joukossa. Tämän avulla voidaan luoda nollahypoteesit, joissa oletetaan, että aerobisten ja anaerobisten kynnysten välillä ei ole eroavaisuutta testimenetelmien välillä. Tutkimuksen riskitason perusteella ( $p < 0.05$ ) voidaan nollahypoteesi hylätä ja käyttää vaihtoehtoista hypoteesia todeten, että eroavaisuuksia löytyy testimenetelmien välillä. Aerobisen ja anaerobisen kynnysvertailun vuoksi tutkimukselle luodaan kaksi nollahypoteesia. Hypoteesien lyhenteet: a = aerobinen kynnys, an = anaerobinen kynnys, J = juoksu, L = luistelu, P = pp-ergometri.

$$\text{Nollahypoteesi 1: } H_{aJ} = H_{aL} = H_{aP}$$

$$\text{Nollahypoteesi 2: } H_{anJ} = H_{anL} = H_{anP}$$

## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 6.1 Tutkittavat

Tutkittavat olivat iältään 17-19-vuotiaita miespuolisia jääkiekkoilijoita U20 SM-sarjasta eli alle 20-vuotiaiden korkeimmalta kansalliselta sarjatasolta ( $n = 15$ , ikä  $17.8 \pm 0.8$  vuotta, pituus  $1.83 \pm 0.07$  m, paino  $82.4 \pm 9.4$  kg, BMI  $24.4 \pm 1.7$  kg/m<sup>2</sup>). Tutkimuksen aluksi tutkittavia oli yhteensä 17, mutta sairastumisten takia kaksi tutkittavaa joutui keskeyttämään osallistumisen tutkimukseen. Tutkittavien terveydentila selvitettiin esitietolomakkeella ja tutkimukseen osallistumisen edellytyksenä oli, että viimeisen kuukauden aikana tutkittava oli kyennyt harjoittelemaan täydellä 100 prosentin suorituskyvyllä. Tutkittavia ohjeistettiin välttämään kovatehoisia harjoitteita ja jalkojen kuormitusta kaksi päivää ennen jokaista kynnystestiä. Tutkittavia ohjeistettiin myös välttämään kofeiinia ja nikotiinia 12 h ennen jokaista mittauskertaa sekä välttämään alkoholin käyttöä vähintään 24 h ennen jokaista mittauskertaa. Lisäksi tutkittavia ohjeistettiin syömään kevyesti 2 h ennen jokaista mittauskertaa sekä nesteyttämään elimistöä sopivasti. Tutkittavat perehdytettiin tutkimuksen jokaiseen testimenetelmään kattavasti ennen testin aloittamista. Jokaista mittauskertaa ennen tutkittaville korostettiin tutkimukseen osallistumisen vapaaehtoisuus, sekä mahdollisuudesta keskeyttää osallistuminen missä tahansa tutkimuksen vaiheessa ilman seuraamuksia. Lisäksi alle 18-vuotiaiden vanhemmille ilmoitettiin tutkimuksesta. Tutkimukselle myönnettiin Jyväskylän yliopiston Eettisen toimikunnan puoltava lausunto.

### 6.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin poikittaistutkimuksena kahden viikon aikana. Mittaukset suoritettiin Jyväskylän harjoitusjäähallissa (lämpötila  $5.5^{\circ}$  -  $6.3^{\circ}$  C) sekä Jyväskylän yliopiston laboratoriossa (lämpötila  $21.0^{\circ}$  -  $22.5^{\circ}$  C) keväällä 2023. Tutkimukseen vapaaehtoisesti osallistuneet tutkittavat muodostivat tutkimuksen otannan ( $n = 15$ ). Jokainen tutkittava suoritti kaikki kolme kynnystestiä ja jokaista testiä ennen tutkittavilla oli kaksi vapaapäivää testeistä. Testien lisäksi tutkittaville järjestettiin ennen ensimmäisten testien alkua InBody-mittaus, jossa tutkittavat täyttivät esitieto- ja suostumuslomakkeen ennen mittaustilannetta.

Tutkittavat jaettiin kolmeen ryhmään A, B ja C, joille testit järjestettiin satunnaisessa järjestyksessä (taulukko 1). Satunnaistamisen avulla varmistettiin testien vaikutus suorituskykyyn, sillä yksilöllisellä tasolla testien aiheuttama kuormitus tai adaptoituminen saattaa vaikuttaa tutkimustuloksiin kaikkien tutkittavien tehdessä testit samassa järjestyksessä. Testejä ennen tutkittavilta mitattiin lepolaktaattitaso 10 minuutin passiivisen ajan jälkeen, jonka jälkeen tutkittavat suorittivat tutkimukselle suunnitellun 10 minuutin lämmittelyprotokollan. Lämmittelyprotokollassa tutkittavat tutustuivat testin mukaiseen kuormitustyyliin kevyellä kuormitusentasolla 6 minuutin ajan, jonka jälkeen tutkittavat suorittivat kevyitä dynaamisia venyttelyjä kohdentaen venyttelyn eniten kuormitettaville lihaksille noin 4 minuutin ajan. Lämmittelyn jälkeen tutkittavilla oli 5 minuuttia aikaa valmistautua ennen testin aloittamista.

Testeissä tutkittavat suorittivat 3 minuutin mittaisia kuormitusjaksoja, jossa kuorman aktiivinen työaika oli 2.5 minuuttia ja palautusjakso 30 sekuntia. Jokainen kuormitustesti sisälsi kevyen alkukuormituksen, jonka jälkeen kuormitusta lisättiin portaittain nousujohteisesti, kunnes tutkittavat saavuttivat RPE-asteikolla (Rating of Perceived Exertion -asteikko) arvon 9 (0–10) (Ritchie 2012), jonka jälkeen testi keskeytettiin. Muista testeistä poiketen pp-ergometritestiä jatkettiin uupumukseen asti tutkittavien harjoittelukauden ohjelman mukaisesti. Palautusjakson aikana tutkittavilta otettiin veren kapillaarilaktaatinäyte sormenpästä. Sormenpää suojattiin asianmukaisesti ja jäällä testattaessa sormenpää suojattiin muovisella suojalla ehkäisemään bakteerien tarttumista haavan kontaktipintaan. Laktaatinäytteet analysoitiin laktaattianalysointilaitteella (Biosen S\_line Lab+ lactate analyzer, EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa). Sykettä seurattiin Polar Vantage V2 sykemittarilla ja -vyöllä (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) jokaisessa testissä testin aloitushetkestä loppuun asti. Sykevyö asetettiin tutkittavien iholle rintalastan alapuolelle ennen testin aloittamista. Kynnyssykkeet arvioitiin Keskinen ym. 2018, s.96 menetelmällä (kuva 7). Kaikkien testien kuormien sykkeet laskettiin keskiarvallisesti ajalta 2min – 2min 20 sekuntia. Tutkittavia ohjeistettiin ja kannustettiin verbaalisesti mittaustilanteiden aikana.

TAULUKKO 1. Tutkimuksen lopullinen otanta (n=15) jaettuna kolmeen testiryhmään.

Ryhmä A (n=5)	Ryhmä B (n=5)	Ryhmä C (n=5)
InBody-mittaus	InBody-mittaus	InBody-mittaus
Juoksutesti	Luistelutesti	Pp-ergometritesti
2 lepopäivää	2 lepopäivää	2 lepopäivää
Luistelutesti	Pp-ergometritesti	Juoksutesti
2 lepopäivää	2 lepopäivää	2 lepopäivää
Pp-ergometritesti	Juoksutesti	Luistelutesti

## 6.3 Mittaukset

### 6.3.1 Juoksumattotesti

Juoksumattotesti suoritettiin Jyväskylän yliopiston laboratorion juoksumatolla (h/p/cosmos® Quasar Med, Saksa). Juoksumattotestin aikana käytettiin valjaita estääkseen mahdollisia tapaturmia (kuva 8). Testissä tutkittava aloitti juoksemisen aloitusvauhdilla 8 km/h ja kuormaa kasvatettiin uudelle kuormalle 1 km/h. Juoksumattotestiin osallistuessa tutkittavalla oli yllään t-paita, shortsit ja juoksukengät.



KUVA 8. Juoksumattotestin mittaustilanne, jossa tutkittavalla yllään turvavaljaat.

### 6.3.2 Luistelutesti

Luistelutesti suoritettiin Jyväskylän harjoitusjäähallin (HH1) kaukalossa. Luistelutestin uutta protokollaa varten järjestettiin kaksi pilotointi kertaa ennen tutkimuksen aloittamista. Pilotointien avulla määritettiin luistelutestille aloituskuorma sekä kuorman lisäys kuormien välille. Pilotointeihin osallistui kolme U18 SM-sarjataso pelaajaa, jotka eivät osallistuneet varsinaiseen tutkimukseen. Pilotointien perusteella testin aloitusvauhdiksi määritettiin 14 km/h ja 1 km/h kuorman lisäys uudelle kuormitukselle. Jääradan pituus laskettiin matemaattisesti ympyrän kaaren ja suorien pituuksien avulla.

Luistelutestin suoritti samanaikaisesti kaksi tutkittavaa, joiden lähtöpaikka vakioitiin kaukalon keskialueen punaiselle viivalle, kumisen kartion viereen. Kuormien lähtötilanteessa tutkittavat sijoittuivat mittauspöydästä katsoen toinen vasemmalle ja toinen oikealle puolelle. Jokaisen tason alussa tutkittavat saivat äänellisen lähtömerkin, jonka jälkeen aloittivat luistelun kartioiden ulkoreunalla samansuuntaisesti kohti toisen puolen punaista viivaa. Lähtömerkistä seuraavan äänimerkin kohdalla tutkittavan tuli saavuttaa punaviivojen välinen 50 metrin matka. Tätä jatkettiin tason viimeiseen äänimerkkiin asti, jonka jälkeen tutkittavat luistelivat mittauspöydän luokse laktaattinäytteenottoa varten. Kuormitusta jatkettiin, kunnes tutkittavat saavuttivat RPE-asteikolla (0–10) arvon 9. Äänimerkkiä varten hyödynnettiin mobiilisovellusta Interval Timer (dreamspark) sekä kaiutinta (JBL Flip3). Tutkittavilla oli luistelutestien aikana normaalisti yllään kaikki jääkiekkoon kuuluvat suojat ja maila.



KUVA 9. Luistelutestin jäärata. Kartioiden ulointa reunaan luistelemalla yhden kierroksen pituudeksi muodostuu 100 metrin matka.

### 6.3.3 Polkupyöraergometritesti

Polkupyöraergometritesti suoritettiin juokсутestin tavoin samassa Jyväskylä́n yliopiston laboratoriossa. Pp-ergometrina käytettiin Monarkin LC4-mallia (kuva 10). Aloituskormaksi määrättiin polkupyöraergometriin 100 wattia. Jokaisen tason jälkeen kuormitusta lisättiin 30 watilla. Pp-ergometritestin aikana tutkittavat valitsivat itselleen sopivan polkemisfrekvenssin väliltä 60–80 RPM. Kahdesta muusta testistä poiketen pp-ergometritesti suoritettiin harjoittelukauteen kuuluvan testauksen takia uupumukseen asti tai siihen kunnes tutkittava ei pystynyt ylläpitämään alinta (60 RPM) polkemisfrekvenssiä. Pp-ergometritestiin osallistuessa tutkittavalla oli yllään t-paita, shortsit ja pyörailyyn sopivat kengät.



KUVA 10. Pp-ergometritestin mittaustilanne, jossa mittauspöytä tutkittavan vasemmalla puolella.

## 6.4 Tilastolliset analyysit

Tutkimuksen tuloksia on esitetty pääasiassa keskiarvojen ja keskihajontojen avulla. Lisäksi tuloksien kuvaajissa käsitellään tutkimuksen todellisia yksilöiden anonyymejä kynnysykearvoja. Pienen otoskoon takia mitattujen muuttujien normaalisuuden testauksessa on hyödynnetty Shapiro-Wilkin normaalisuustestiä. Shapiro-Wilk-testin perusteella tutkimuksen data ei osoittautunut tilastollisesti normaalijakautuneisuudesta poikenneeksi ( $W > 0.90$ ,  $p > 0.05$ ). Tuloksien analysoinnissa hyödynnettiin toistettujen mittausten varianssianalyysia tutkittaessa otosten keskiarvojen poikkeavuutta. Keskiarvollisia eroja testimenetelmien välillä tutkittiin tarkemmin hyödyntämällä Tukeyn testiä. Tilastollisen testauksen merkitsevyyden tutkimisessa hyödynnettiin rajaa  $p < 0.05^*$ . Tuloksien analysoinnissa käytettiin Microsoft Exceliä (Microsoft 365 MSO v.2306) sekä R-tilastoanalyysiohjelmaa (v. 4.3.1).



## 7 TULOKSET

### 7.1 Otoksen keskiarvolliset kynnyssykkeet

Toistettujen mittausten varianssianalyysin perusteella havaittiin tilastollisesti merkitseviä keskiarvollisia poikkeamia aerobisessa kynnyksvertailussa ( $F(15, 2) = 2.06, p < 0.04^*$ ) sekä anaerobisessa kynnyksvertailussa ( $F(15, 2) = 2.32, p < 0.02^*$ ). Tukeyn testin perusteella tilastollisesti merkitsevät erot löydettiin aerobisella kynnyksellä juoksun ( $M = 157, SD = 11, p < 0.05^*$ ) sekä pp-ergometrin ( $M = 147, SD = 12, p < 0.05^*$ ) välillä ja anaerobisella kynnyksellä pp-ergometrin tulos ( $M = 172, SD = 5, p < 0.05^*$ ) poikkesi tilastollisesti sekä juoksusta ( $M = 179, SD = 7, p < 0.05^*$ ) että luistelusta ( $M = 177, SD = 5, p < 0.05^*$ ). Muiden testimenetelmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa aerobisella eikä anaerobisella kynnyksellä. Testimenetelmien aerobisen ja anaerobisen keskiarvolliset kynnyksen vertailujen tulokset on esitetty taulukossa 2.

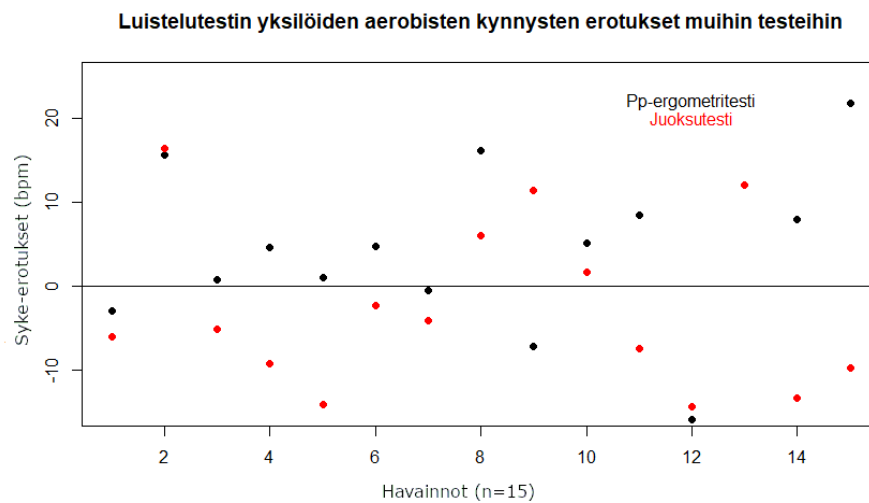
TAULUKKO 2. Aerobisten ja anaerobisten kynnysten keskiarvolliset sykkeet (bpm), kuormitukset (W tai km/h) ja laktaatit (mmol/l) testimenetelmien mukaan.

Testimenetelmä:	Juoksutesti	Luistelutesti	Pp-ergometritesti
<b>Aerobinen kynnyks</b>			
Syke	157 ± 11 bpm*	154 ± 9 bpm	147 ± 12 bpm
Kuormitus	10.4 ± 0.9 km/h	18.9 ± 0.9 km/h	157.7 ± 33.3 W
Laktaatti	2.1 ± 0.4 mmol/l	1.6 ± 0.2 mmol/l	2.0 ± 0.3 mmol/l
<b>Anaerobinen kynnyks</b>			
Syke	179 ± 7 bpm*	177 ± 5 bpm*	172 ± 5 bpm
Kuormitus	13.3 ± 0.8 km/h	21.4 ± 1 km/h	240 ± 40.7 W
Laktaatti	3.9 ± 0.2 mmol/l	3.5 ± 0.6 mmol/l	3.9 ± 0.3 mmol/l

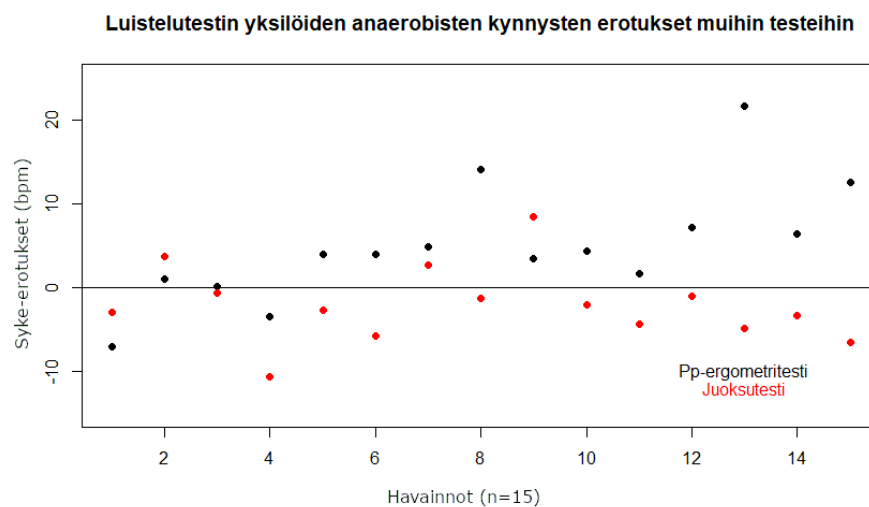
### 7.2 Tutkimuksen yksilölliset kynnyssykehavainnot

Luistelutestin kynnyssykkeiden (bpm) erotukset juoksutestin ja pp-ergometritestin välillä kuvattu yksilöittäin aerobisella (kuva 11) ja anaerobisella kynnyksellä (kuva 12). Kuvien nollatason viiva kuvaa tasoa, jonka mukaan luistelutestin kynnyssykkeeseen ja toisen lasketun testimenetelmän kynnyssykkeeseen välillä ei havaita eroavaisuutta. Viivan yläpuolella olevat arvot

kuvaavat luistelutestin kynnyksen suurempaa arvoa suhteessa juoksu- tai pp-ergometritestiin. Nollatason alapuolella olevissa havainnoissa juoksutestissä tai pp-ergometritestissä on havaittu yksilön kohdalla suurempi kynnyssyke kuin luistelutestissä. Kuvien indeksit kuvaavat testattuja yksilöitä (n = 15). Kuvassa 11 on jätetty yksi tutkimustulos kuvaamatta, sillä tulos ei skaalautunut kuvaajaan. Puuttuva havainto on kuvan 11 indeksissä 13 (puuttuva musta piste), jonka todellinen arvo oli 49.2. Puuttuvan havainnon pois jättäminen ei vaikuttanut tutkimuksen tilastollisiin analyysiin merkittävästi.



KUVA 11. Yksilöiden aerobisten kynnyssykkeiden erotukset juoksutestissä ja pp-ergometritestissä verrattuna luistelutestiin.



KUVA 12. Yksilöiden anaerobisten kynnyssykkeiden erotukset juoksutestissä ja pp-ergometritestissä verrattuna luistelutestiin.

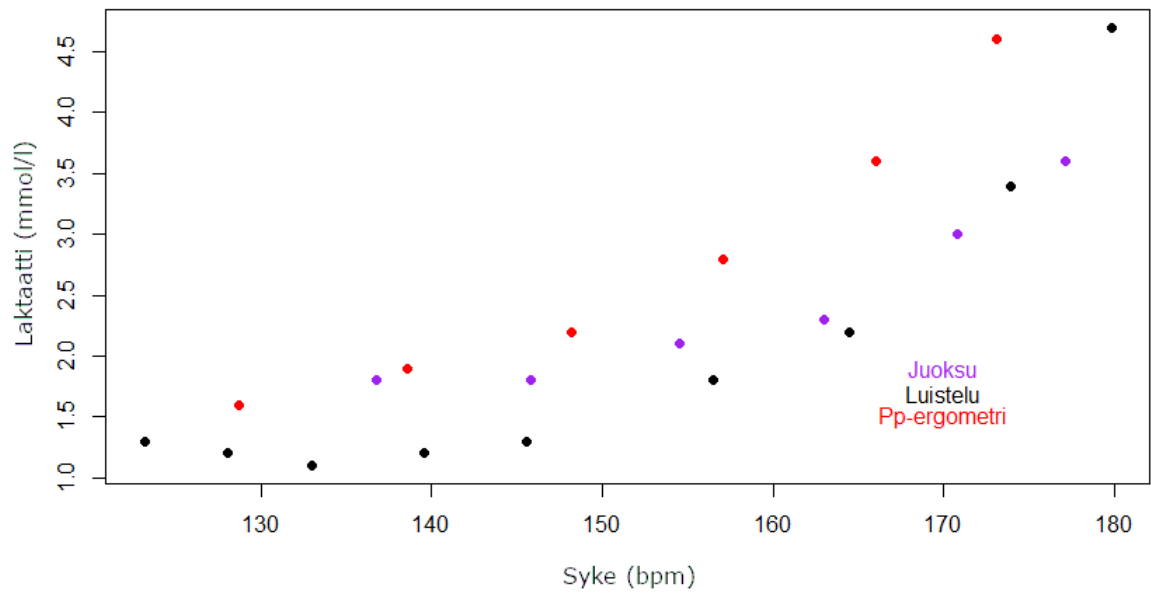
### 7.3 Tuloksien lisähavainnot

Taulukossa 3 on kuvattu keskiarvolliset sykkeet (bpm) ja laktaatit (mmol/l) testimenetelmien kuormilta, jotka kaikki tutkittavat (n = 15) suorittivat loppuun saakka. Myös jokaista tutkimusta ennen mitatut lepolaktaattitasot ovat keskiarvoistettu taulukkoon. Taulukossa on ilmaistu myös kuormitukset kyseisiltä tasoilta: juoksussa ja luistelussa vauhtina (km/h) sekä pp-ergometrissä vastuksena (W).

TAULUKKO 3. Testimenetelmien protokollien mukaisten kuormitusten mukaan lasketut keskiarvolliset (n = 15) laktaatit (mmol/l) ja sykkeet (bpm) määritetyn kuormituksen (W tai km/h) lopulla.

	Juoksu			Luistelu			Pp-ergometri		
	Syke (bpm)	Laktaatti (mmol/l)	Kuorma (km/h)	Syke (bpm)	Laktaatti (mmol/l)	Kuorma (km/h)	Syke (bpm)	Laktaatti (mmol/l)	Kuorma (W)
Lepo	-	1.5	-	-	1.5	-	-	1.4	-
Taso 1	137	1.8	8	123	1.3	14	129	1.6	100
Taso 2	146	1.8	9	128	1.2	15	139	1.9	130
Taso 3	155	2.1	10	133	1.1	16	148	2.2	160
Taso 4	163	2.3	11	140	1.2	17	157	2.8	190
Taso 5	171	3	12	146	1.3	18	166	3.6	220
Taso 6	177	3.6	13	157	1.8	19	173	4.6	250
Taso 7	184	5	14	165	2.2	20	180	6.1	280
Taso 8				174	3.4	21	186	8	310
Taso 9				180	4.7	22			

Lepotasolta kuormituksen noustessa juoksun ja pp-ergometrin aikana laktaattitasot nousevat sykkeiden kanssa ja pysyttelevät keskiarvollisesti koko ajan yli lepotason. Vastaavasti luistelutestin aikana laktaattitasot putoavat lepotasolta keskiarvollisesti ensimmäisten kolmen kuorman aikana ja nousevat ensimmäisen kerran yli lepotason keskiarvollisesti vauhdilla 19 km/h (taso 6), jossa keskiarvollinen syke on 157. Taulukon 3 perusteella laktaatin määrä vähenee ensimmäisen kolmen tason aikana, jonka jälkeen laktaatti alkaa kumuloitumaan uudelleen. Tutkittavien kynnysten keskiarvosykkeet ja -laktaatit on kuvattu kuvassa 13. Kuvassa taulukon 3 mukaiset arvot on kuvattu eri väreillä. Juoksun kuormien laktaatit ja sykkeet merkitty violetilla värillä, pp-ergometrin punaisella ja luistelun mustalla.



KUVA 13. Laktaattitasojen vertailua kuormien sykkeisiin verrattuna. Pystyakselilla laktaatit (mmol/l) ja vaaka-akselilla syke (bpm).

## 8 POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kuinka aerobiset sekä anaerobiset kynnyssykkeet eroavat juoksutestin, luistelutestin ja pp-ergometritestin välillä. Tuloksien perusteella aerobiset ja anaerobiset kynnyssykkeet vaihtelevat juoksutestin, luistelutestin ja pp-ergometritestin välillä yksilöllisesti sekä keskiarvallisesti. Aerobisella kynnyksellä pp-ergometrillä määritetyt kynnyssykkeet olivat keskiarvallisesti matalampia muihin testimenetelmiin verrattuna, joista pp-ergometrin ja juoksun välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero. Vastaavasti anaerobisella kynnyksellä pp-ergometrin kynnyssykkeet keskiarvallisesti olivat matalampia kuin juoksutestissä ja luistelutestissä tilastollisesti merkitsevällä erolla. Luistelutestissä molempien kynnysten sykkeet olivat matalampia kuin juoksussa ilman tilastollista merkitsevyyttä.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat samansuuntaisia aiempaan kirjallisuuteen verraten. Luistelun ja pp-ergometrin välistä ylemmän laktaattikynnyksen eroavaisuutta on tutkittu aiemmin Durocher ym. (2010) toimesta, jonka tulokset ovat linjassa tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Tutkimuksessa jäällä toteutettu luistelutesti sekä pp-ergometritesti suoritettiin jäähalli-ilmastossa, jossa pyrittiin luomaan samanlainen ilman lämpötila ja -kosteus testimenetelmille. Toisaalta tutkimuksessa sykkeen steady-state-tilaa haettiin 80 sekunnin tasoilla pp-ergometrillä ja luistelemalla, joista jälkimmäisessä testimenetelmässä pelaajat pysähtyivät 10 sekunnin välein muuttaakseen etenemissuuntaansa jäällä (Durocher ym. 2010). Tästä poiketen tässä tutkimuksessa steady-statea haettiin pidemmällä työpätkällä jäällä ilman pysähtymisiä kuormituksen aikana.

Myös juoksun ja pp-ergometrin välistä anaerobisen kynnyksen eroa on tutkittu aiemmin, ja tämän tutkimuksen tulokset ovat linjassa aiemman kirjallisuuden perusteella triathlonisteilla tehtyjen tutkimusten kanssa (Roecker ym. 2003; Schneider ym. 1990; Zhou ym. 1997). Kansainvälisissä tutkimuksissa hyödynnetään harvoin aerobista kynnystä, joten tämä tutkimus antaa suuntaa antavia eroavaisuuksia myös aerobisen kynnyksen osalta juoksun, luistelun ja pp-ergometrin välillä. Aerobisella kynnyksellä syke-erotukset olivat suurempia kuin anaerobisella.

Juoksun sekä jäällä luistelun välisiä kynnyssykykeitä ei kuitenkaan ole aiemman kirjallisuuden perusteella tutkittu jääkiekon parissa. Rullaluistelun ja juoksun välisen maksimaalisen sykkeen ero näyttäisi aiemman tutkimuksen mukaan olevan hieman suurempi juoksussa kuin luistelussa (Wallick ym. 1995). Toisaalta rullaluistelu asfaltilla ei vastaa luistelutekniikan osalta täysin jääkiekon luistelua eikä myöskään kitka käyttäydy jäällä ja asfaltilla samalla tavoin. Kitka määritellään kahden kiinteän toisiaan koskevan kappaleen väliseksi vastusvoimaksi, joka vastustaa kappaleiden koskettavien pintojen välillä olevaa liikehdintää (Blau 2001). Nobes ym. (2003) ovat tutkineet luistelumatolla luistelun ja jäällä tapahtuvan luistelun välisiä eroja, jonka mukaan luistelumatolla luistelu näyttäisi nostavan merkittävästi enemmän sykettä, askellustiheyttä ja hapenkulutusta kuin jäällä. Tähän perustuen luistelun kynnyssykykeiden testaaminen jääkiekkoilijoilla on mahdollisesti kannattavampaa jäällä. Kuitenkin tästä tutkimuksesta on jo 20 vuotta aikaa, joten nykypäivän kehittyneet luistelumatot ja niillä mitatut tulokset voivat vastata tarkemmin jäällä tapahtuvaa kuormitusta.

Testimenetelmiä ennen mitatut lepolaktaattitasot olivat samalla tasolla, jonka perusteella aerobisen ja anaerobisen energiantuoton suhde lepotasolla näyttäisi olevan olleen samansuuntainen (Brooks 2020). Kuormitukset eivät kuitenkaan ole laktaattien ja sykkeiden perusteella samanlaiset näiden testimenetelmien välillä (kuva 13), jossa veren laktaattipitoisuudet ovat selvästi matalampia luistelemalla kuin juoksemalla tai pp-ergometrillä, kun kuormitustaso johtaa samansuuntaiseen sykkeeseen. Erityisesti merkittävimmät erot laktaattipitoisuuksissa ovat luistelun ja pp-ergometrin välillä. Tämä ero voi selittyä mahdollisesti luistelutekniikan ja luistelun aikaisen liikemäärän kautta. Luistelun aikana kehon lihakset ovat kokonaisvaltaisemmin liikkeessä, kuten erilainen käsien ja keskivartalon käyttö luistellessa verrattuna pyöräilyyn ja juoksuun, joka voi selittää sykkeen nousemisen kuormittaessa eri lihasryhmiä eri aktivaatitasoilla (Hebestreit & Bar-Or 1998). Testimenetelmien välisiä laktaatti- sekä sykearvojen muutosten eroja voi selittää myös aktiivinen lihassmassa (Schneider ym. 2000). Luistelun aikana jalkojen lihakset tekevät hieman pidemmän ajan isometristä työtä kuin juoksun ja pp-ergometrin aikana, joka voi selittää veren virtauksen hidastumista ja laktaatin vähempää vapautumista vereen (Maughan ym. 1986). Samaan aikaan lihaksien kuormitus on kuitenkin kevyempää luistelun aikana, jolloin laktaattia ei ehdi muodostumaan verenkiertoon pyruvaatista anaerobisen glykolyysin kautta (Gladden 2004).

Korkeampia laktaattitasoja juoksun ja pp-ergometrin aikana voi selittää esimerkiksi hiilihydraattien lisääntynyt käyttö luistelua kovemmallalla lihastyöllä, joka laskee rasvojen hapetusta ja lisää laktaatin määrää veressä (Achten & Jeukendrup 2004). Toisaalta riittävän kevyellä kuormituksella tapahtuva luistelu voi mahdollisesti pienentää veren laktaattikonsentraatiota lepotasolta tehostuneen rasvojen hapettumisen ja pienentyneen anaerobisen glykolyysin seurauksena (Romijn ym. 1993; Yang ym. 2020). Mahdollisesti myös pääosin aerobisia energia-aineenvaihduntareittejä hyödyntävät lihassäikeet (hapen avulla toimivat) voivat aktivoitua eri tavoin näiden liikkeiden välillä (Gladden 2000). Rasva-aineenvaihdunnan tehokas hyödyntäminen luistelutestissä viittaa parempiin kestävyysominaisuuksiin luistelutestin aikana kuin juoksu- tai pyörätestin (Scharhag-Rosenberger ym. 2010), toisin sanoen tutkittavien kestävyysominaisuudet ovat mahdollisesti parempia luistelun aikana kuin juoksussa ja pyöräilyssä. Tutkittavien pääasiallisen harjoittelumuodon luistelun adaptoituminen ja taloudellisuus voivat selittää myös matalampia laktaattitasoja samansuuntaisella sykkeellä. Sykkeen eroja voi selittää myös se, että juoksun aikana keho on kohtisuorassa maata vasten, jolloin kaikista eniten kuormitettavat jalkojen lihakset ovat pystysuunnassa suhteessa sydämeen (Fedorovich ym. 2021). Pp-ergometrin ja luistelun aikana ylävartalon asento on hieman etukumarassa, jolloin sydän ei joudu mahdollisesti työskentelemään painovoimaa vasten yhtä paljon.

Tässä tutkimuksessa testejä suoritettiin jäähalliolosuhteissa (5.5°-6.3° C) ja laboratorioolosuhteissa (21.0°-22.5° C), joissa lämpötilat erosivat merkittävästi toisistaan. Tutkimusten perusteella on löydetty viitteitä laktaatin hitaampaan kumuloitumiseen lihaksissa lämpötilan ollessa lähellä 0° C kuin 20° C ja työskenneltäessä kovilla intensiteeteillä (Parkin ym. 1999; Therminarias ym. 1989). Mahdollisesti kylmäältistus aiheuttaa muutoksia aineenvaihdunnassa, joka vaikuttaa myös laktaattiaineenvaihduntaan. Tätä voi selittää esimerkiksi glykogenolyysin hidastuminen, hapenkulutuksen sekä energia-aineenvaihdunnassa rasvojen hyödyntämisen lisääntyminen, ja mahdollinen verenkierron heikkeneminen kylmäältistumisen myötä (Therminarias ym. 1989), jotka voivat osittain selittää myös tämän tutkimuksen tuloksia.

Aiempien tutkimusten lämpötilat eivät kuitenkaan vastaa täysin tämän tutkimuksen lämpötiloja. Toisaalta jo kylmettyneessä lihaksessa laktaatti kumuloituu mahdollisesti nopeammin lihasvärinän vuoksi, sillä keho pyrkii homeostaasiin (Mourtzoukou & Falagas 2007). Tämän seurauksena energiantarve kasvaa, joka johtaa lisääntyneeseen glykogeenin

käyttöasteeseen (Badjatia ym. 2008). Tässä tutkimuksessa lepolaktaatti mitattiin tutkittavilta heti heidän saapuessaan normaalilämpöisestä pukuhuoneesta jäähalliolosuhteisiin ja tämän jälkeen aloittivat heti lämmittelyn jäällä, joten lihaksien kylmettymistä ei todennäköisesti tapahtunut ainakaan merkittävässä määrin. Lisäksi tutkittavilla oli jäätetien aikaan yllään jääkiekkovarusteet sekä niiden alla käytettävät alusvaatetukset, jotka suojaavat kylmyyttä vastaan. Kuitenkin kylmäilma vaikuttaa hengityselimistön toimintaan jäähalliolosuhteessa, joka voi muuttaa elimistön toimintaa aineenvaihdunnallisesti (Mourtzoukou & Falagas 2007). Suoritusten kestoissa, ei kuitenkaan ole havaittu eroavaisuuksia työskennellessä submaksimaalisella 70 %  $VO_{2max}$  teholla lämpötiloissa 4° C ja 21° C (Galloway & Maughan 1997).

Pohdittaessa sopivinta testimenetelmää määrittää kynnyssykkeet jääkiekkoilijalle, ilman lämpötilan tutkiminen on kuitenkin toissijainen asia. Juoksutestit ja pp-ergometritestit tehdään normaalisti laboratorio-olosuhteissa lämpötilan ollessa noin 20° C. Jäällä kynnyssykkeiden tutkiminen on riippuvainen jäähalliolosuhteista, joissa on myös vaihtelua jäähallien välillä, mutta yleisesti ilman lämpötila on matalampi kuin laboratorio-olosuhteissa. Haluttaessa tutkia tarkemmin fysiologisia eroja näiden kolmen eri testimenetelmän välillä olisi juoksumatto ja pp-ergometri tuotava jäähalliolosuhteisiin, jolloin lämpötilan ja ilman kosteuden erot voitaisiin stabiloida samanlaiseksi. Lisäksi jääkiekkoilijoiden jääharjoittelu tapahtuu jäähalliolosuhteissa, joten luistelun tutkiminen samassa olosuhteessa validoi kuormitustavan lisäksi myös olosuhteet. Myös jääkiekkovarusteiden tuottama lisäpaino voi mahdollisesti lisätä kuormituksen määrää jäätetissä. Tässä tutkimuksessa varusteiden painoa ei käsitelty tarkemmin, sillä jääkiekkoilijat harjoittelevat jäällä täydessä varustuksessa.

Muista testeistä poiketen, jäätetissä alusta muuttuu testin aikana. Juoksutestissä ja pp-ergometritestissä polkimet ja juoksumattoalusta pysyvät vakioina koko testin ajan. Jäätetin aikana tutkittavat luistelivat testin aikana samaa rataa pitkin ja erityisesti käänöksissä kovien vauhtien aikana jäähän muodostui luistimen terän aiheuttamia railoja ja kulumia jään pintaan. Tämä voi johtaa jään kitkakertoimen muuttumiseen testin aikana, joka taas voi osittain vaikuttaa kuormitukseen (De Koning ym. 1992). Tosin muista testeistä poiketen, jäällä liikkumisasento ei ole vakio kuormien aikana vaan se muuttuu kaarteiden ja suoraluistelun välillä, joka taas vaikuttaa omalta osaltaan kuormitukseen.



## 8.1 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitteet

Tutkimuksen yhtenä vahvuutena voidaan pitää samanlaista kuormitustasoa ennen jokaista testimenetelmää. Lepolaktaattitasojen perusteella aineenvaihduntatasot ovat olleet saman suuntaisia ennen testejä (Brooks 2020). Lisäksi ennen jokaista testipäivää tutkittaville järjestettiin kaksi lepopäivää, jolla varmistettiin riittävä palautuminen ennen testejä. Toisena vahvuutena voidaan erityisesti pitää sitä, että jäähalliolosuhteessa tapahtuvassa kuormituksessa huolehdittiin siitä, että lihakset eivät kerenneet kylmettyä ennen luistelutestin aloittamista. Kylmässä lihaksessa mahdollisesti laktaatti kumuloituu herkemmin lisääntyneen energiantarpeen ja sitä kautta lisääntyneen glykolyysin myötä (Badjatia ym. 2008; Therminarias ym. 1989). Tämän lisäksi kylmän lihaksen lämmittäminen kylmässä olosuhteessa voi olla hankalaa. Kolmantena vahvuutena voidaan pitää testimenetelmien sykkeen steady-state-tilan hakemista saman pituisilla kuormitusjaksoilla. Jokaisessa testimenetelmässä kuormien kuormitusjakso oli 2.5 minuuttia annetulla kuormituksella, jonka jälkeen 30 sekunnin levon aikana tutkittavilta otettiin veren laktaattinäyte. Parhaassa mahdollisessa tilanteessa kuormitusjaksot olisivat 3 minuuttia ilman pysähtymisiä, mutta jäätestin vuoksi pelaajien laktaattitasojen mittaaminen liikkeessä olisi ollut tässä tapauksessa mahdotonta. Steady-state syke analysoitiin keskiarvollisesti jokaiselta tutkittavalta samalta kohdalta kuormitusjaksoa (2min- 2min 20sekuntia). Tutkimuksen datan perusteella syke oli kerennyt tasaantua jokaisen tason mukaiseen kuormitukseen. Lisäksi tutkimuksen yhdeksi vahvuudeksi voidaan laskea tutkimuksen ainutlaatuisuus. Tietävästi tutkimusta, jossa jääkiekkoilijoita testataan näiden kolmen eri testimenetelmän välillä ei ole aiemmin toteutettu.

Yhtenä rajoituksena tutkimukselle voidaan pitää sitä, että kellonajat testeille eivät olleet täysin samat päivän mukaan, sillä sykkeessä voidaan havaita vuorokauden aikana muutoksia (Valentini & Parati 2009). Luistelutestit suoritettiin kaikilla ryhmillä kello 14–18 välillä, mutta esimerkiksi pp-ergometritestejä sekä juoksutestejä suoritettiin resurssien puutteiden vuoksi pitkin päivää 8–18 välillä kuitenkin siten, että yli 60 prosenttia testeistä suoritettiin aikavälillä 14–18. Toisena rajoitteena tutkimukselle voidaan pitää sitä, että tutkittaville ei voitu järjestää kolmea maksimaalista kynnystestiä tärkeän harjoittelukauden aikana. Testeistä vain pp-ergometritestiä jatkettiin tutkittavien harjoittelukauden ohjelman mukaisesti RPE-asteikolla 0–10 tason 9 jälkeen uupumukseen asti, kun muut testit keskeytettiin tasolla 9. Kolmantena rajoituksena voidaan pitää tutkimuksen otoskoko (n = 15). Kaksi tutkittavaa alkuperäisestä otoskoosta jäivät pois kesken tutkimuksen sairastumisen vuoksi. Tutkimuksen otoskoko antaa

suuntaa antavia tuloksia, mutta tarkempaa tilastoanalyysia varten otoskoon tulisi olla merkittävästi suurempi. Esimerkkinä tutkimuksen aineistosta koitettiin rakentaa lineaarisia regressiomalleja, joiden perusteella koitettiin etsiä selitettävälle metodille selittävää metodologiaa. Tässä tapauksessa selitettävä metodi olisi voinut olla esimerkiksi luistelutestin anaerobinen kynnyksensä ja sitä olisi pyritty selittämään joko juoksutestin tai pp-ergometritestin anaerobisella kynnyksellä otokseen perustuen. Aineisto kuitenkin jäi liian pieneksi, sillä testimenetelmien väliset jäännöstermit eivät olleet normaalisti jakautuneita, joten regressioanalyysiä ei hyödynnetty tässä tutkimuksessa.

Tutkimusaihe tarvitsee kuitenkin lisätutkimusta. Tutkimuksen resurssien vuoksi testimenetelmien aikana ei pystytty mittaamaan esimerkiksi hapenkulutusta. Hapenkulutuksen avulla kynnykset voitaisiin määrittää ventilaatiokynnyksien avulla, jonka lisäksi hapenkulutusta voisi testimenetelmien välillä tutkia tarkemmin. Todellisten fysiologisten erojen tutkimisen näkökulmasta näissä kolmessa eri kuormitustavassa tulisi testimenetelmien olosuhteet vakioida. Yhtenä jatkotutkimusaiheena tulevaisuudessa voitaisiin sykkeen lisäksi mitata sykevälivaihtelua, jonka avulla voitaisiin tutkia autonomisen hermoston tilaa tarkemmin testimenetelmien aikana. Luistelun aikaisen kuormittavuuden eroja voitaisiin tutkia myös jatkuvan liikkeen ja pysähdyksistä muodostuvan puolijatkuvan liikkeen välillä. Tämän avulla voitaisiin päästä lähemmäksi jääkiekon jääharjoittelun ja -ottelun todellista kuormittavuutta.

## **8.2 Käytännön sovellukset**

Tutkimuksen perusteella kynnyssykkeet tulisi määrittää sillä kuormitustavalla, jossa niitä käytetään harjoittelun ja kilpailun kuormituksen seurannassa. Jääkiekkoilijoiden kesäharjoittelukauden aikana, jossa juostaan ja pyöräillään paljon, on kannattavaa määrittää kynnyssykkeet kyseisellä liikkumismuodolla. Kuitenkin jääkuormituksen seurantaan ja suunnitteluun jäällä määritetyt kynnyssykkeet näyttäisivät mahdollistavan tarkimman keinon.

Onko aerobisen ja anaerobisen kynnyssykkeiden määrittäminen ylipäättänsä jääkiekkoilijoille oleellista? Mitä lähempänä toimitaan kilpa- ja huippu-urheilun parissa, voidaan pienillä marginaaleilla tehdä merkittäviä eroja kilpakumppaneihin. Erityisesti oikein määritetyt kynnyssykkeet mahdollistavat harjoittelun sisäisen kuormittavuuden seurannan kohtalaisen tarkasti ja täten edes auttaa harjoittelun suunnittelua erityisesti jää- sekä oheisharjoittelussa, kun

halutaan kehittää yksilöiden jääkiekon vaatimia ominaisuuksia (Halson 2014). Kuormituksen ja palautumisen seuranta ja allokointi ovat ensisijaisessa roolissa jääkiekossa, sillä otteluita sekä harjoitteita kertyy varsinkin ammattilaistasolla suuria määriä kauden aikana.

Harjoittelun seurannassa ja suunnittelussa tulee lisäksi ottaa huomioon yksilöiden kehittyminen siten, että myös ottelutilanteissa pelaajat kykenevät parhaaseen mahdolliseen sen hetkiseen suorituskykyyn. Jäällä tapahtuvassa harjoittelu- tai ottelutilanteessa liike ei ole kuitenkaan koko ajan jatkuvaa, kuten se on tämän tutkimuksen kynnystestissä. Jäällä tapahtuvat nopeat käännökset ja pysähdykset kuormittavat lihaksia ja niveliä eri tavoin kuin tasainen eteenpäin suuntautuva liike (Renaud ym. 2017; Twist & Rhodes 1993). Määritetyt kynnysyökkeet voivat todellisuudessa olla matalampia kuin jääharjoittelun tai ottelun aikainen sykkeen sisäinen kuormitus. Toisaalta jäällä määritetyt kynnysyökkeet tarjoavat tarkemman seurannan kuin juoksun tai pyöräilyn aikana määritetyt.

Kuormituksen sykkeen seurannassa tulisi myös ottaa huomioon erilaiset pelityylit ja pelipaikat yksilöiden välillä, jotka voivat vaikuttaa sykkeeseen ja täten kuormitukseen jääharjoittelun tai ottelun aikana, joka tulee huomioida hyödyntäessä jäällä määritettyjä kynnysyökkeitä kuormituksen seurannassa ja harjoittelun suunnittelussa. Yksilöiden peli voi esimerkiksi perustua pelaajien taitoon, kun taas toinen liikkuu kentällä enemmän taktisen pelisysteemin mukaisesti. Myös pelipaikkojen välillä on havaittu eroja liikkumisessa ja täten kuormituksessa, kuten esimerkiksi puolustavat pelaajat luistelevat keskimäärin enemmän takaperin kuin hyökkäävät pelaajat (Montgomery ym. 2004).

Lopulta kynnysyökkeiden seurannassa tulee ottaa huomioon sykkeen päivittäisvaihtelu, joka voi olla merkittävän suurta yksilöllisesti (Valentini & Parati 2009). Määritetyt kynnysyökkeet mahdollistavat kuitenkin tehoalueiden jaottelun harjoittelun tueksi, kuten hyvin perinteisellä tavalla: peruskestävyys, vauhtikestävyys, maksimikestävyys (kuva 7). Tämän lisäksi jääkiekossa tulisi huomioida myös nopeuskestävyys yksilöiden harjoittelun tukena (Spencer ym. 2004). Kynnysyökkeet ovat loppujen lopuksi yksi harjoittelun ja mahdollisesti kilpailutilanteiden seurannan ja suunnittelun apuväline urheilussa.

### **8.3 Johtopäätökset**

Tutkimuksen tulosten perusteella aerobiset ja anaerobiset kynnyssykkeet vaihtelevat juoksutestin, luistelutestin ja pp-ergometritestin välillä. Keskiarvolliset kynnyssykkeet olivat suurimmat juoksussa, toiseksi suurimmat luistelussa ja pienimmät pp-ergometrin aikana. Lisäksi yksilöiden välillä sykkeissä havaittiin vaihtelua eri testimenetelmien välillä. Myös veren laktaatti näyttäisi käyttäytyvän eri tavoin näiden kolmen eri testimenetelmän välillä tämän otannan perusteella. Tutkimuksen perusteella jääkiekkoilijoiden kynnyssykkeiden määrittämisessä luistelutesti näyttäisi olevan tehokkain keino testata, kun halutaan kynnyssykkeitä hyödyntää jäällä tapahtuvan kuormituksen seurantaan.

## LÄHTEET

- Acevedo, E. O. & Goldfarb, A. H. (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Medicine and science in sports and exercise* 21 (5), 563-568.
- Achten, J. & Jeukendrup, A. E. (2003). Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *International journal of sports medicine* 24 (08), 603-608.
- Achten, J. & Jeukendrup, A. E. (2004). Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. *International journal of sports medicine*, 25(01), 32-37.
- Allisse, M., Bui, H. T., Desjardins, P., Léger, L., Comtois, A. S. & Leone, M. (2021). Assessment of on-ice oxygen cost of skating performance in elite youth ice hockey players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 35 (12), 3466-3473.
- Badjatia, N., Strongilis, E., Gordon, E., Prescutti, M., Fernandez, L., Fernandez, A. & Mayer, S. A. (2008). Metabolic impact of shivering during therapeutic temperature modulation: the Bedside Shivering Assessment Scale. *Stroke* 39 (12), 3242-3247.
- Baker, J. S., McCormick, M. C. & Robergs, R. A. (2010). Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during intense exercise. *Journal of nutrition and metabolism* 2010. doi.org/10.1155/2010/905612.
- Behm, D. G., Wahl, M. J., Button, D. C., Power, K. E. & Anderson, K. G. (2005). Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 19(2), 326-331.
- Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *International journal of sports physiology and performance* 6 (1), 8-24.
- Berry, M. J., Storsteen, J. A., & Woodard, C. M. (1993). Effects of body mass on exercise efficiency and VO<sub>2</sub> during steady-state cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(9), 1031-1037.
- Bijker, K. E., De Groot, G. & Hollander, A. P. (2001). Delta efficiencies of running and cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33 (9), 1546-1551.
- Bijker, K., De Groot, G. & Hollander, A.P. (2002). Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *European journal of applied physiology* 87, 556-561.

- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J. P. & Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports medicine* 33, 407-426.
- Blau, P. J. (2001). The significance and use of the friction coefficient. *Tribology International* 34 (9), 585-591.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H. & Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of applied physiology* 80 (3), 876-884.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. A. & Boobis, L. H. (1998). Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica* 163 (3), 261-272.
- Bonacci, J., Chapman, A., Blanch, P., & Vicenzino, B. (2009). Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. *Sports Medicine*, 39, 903-921.
- Bonora, M., Patergnani, S., Rimessi, A., De Marchi, E., Suski, J. M., Bononi, A. & Pinton, P. (2012). ATP synthesis and storage. *Purinergic signalling* 8, 343-357.
- Bracko, M.R. & George, J.D. (2001). Prediction of ice skating performance with off-ice testing in women's ice hockey players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 15 (1), 116-122.
- Brocherie, F., Girard, O. & Millet, G. P. (2018). Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biology of Sport* 35 (3), 261-267.
- Brocherie, F., Millet, G. P. & Girard, O. (2015). Neuro-mechanical and metabolic adjustments to the repeated anaerobic sprint test in professional football players. *European journal of applied physiology* 115, 891-903.
- Brooks, G. A. (2020). Lactate as a fulcrum of metabolism. *Redox biology* 35, 101454. doi.org/10.1016/j.redox.2020.101454.
- Burr, J. F., Jamnik, R. K., Baker, J., Macpherson, A., Gledhill, N. & McGuire, E. J. (2008). Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 22 (5), 1535-1543.
- Cairns, S. P. (2006). Lactic acid and exercise performance: culprit or friend?. *Sports medicine* 36, 279-291.

- Carey, D. G., Drake, M. M., Pliego, G. J. & Raymond, R. L. (2007). Do hockey players need aerobic fitness? Relation between VO<sub>2</sub>max and fatigue during high-intensity intermittent ice skating. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 21 (3), 963-966.
- Carlsson, M., Wahrenberg, V., Carlsson, M. S., Andersson, R. & Carlsson, T. (2020). Gross and delta efficiencies during uphill running and cycling among elite triathletes. *European Journal of Applied Physiology* 120, 961-968.
- Clarke, A. & Fraser, K. P. P. (2004). Why does metabolism scale with temperature?. *Functional ecology* 18 (2), 243-251.
- Cohen, J. N., Thompson, K. M., Jamnik, V. K., Gledhill, N. & Burr, J. F. (2022). Relationship of fitness combine results and national hockey league performance: a 25-year analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 17 (6), 908-916.
- Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P. G., Droghetti, P. & Codeca, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied physiology* 52 (4), 869-873.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hopper, M. K. & Walters, T. J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of applied physiology* 64 (6), 2622-2630.
- Coyle, E. F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and sport sciences reviews*, 23, 25-63.
- Davis, J. A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in sports and Exercise* 17 (1), 6-21.
- De Koning, J. J., De Groot, G. & Van Ingen Schenau, G. J. (1992). Ice friction during speed skating. *Journal of biomechanics* 25 (6), 565-571.
- De Koning, J. J., Foster, C., Lampen, J., Hettinga, F. & Bobbert, M. F. (2005). Experimental evaluation of the power balance model of speed skating. *Journal of Applied Physiology* 98 (1), 227-233.
- Devlin, J., Paton, B., Poole, L., Sun, W., Ferguson, C., Wilson, J. & Kemi, O. J. (2014). Blood lactate clearance after maximal exercise depends on active recovery intensity. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 54 (3), 271-278.
- Dickhuth, H. H., Yin, L., Niess, A., Roecker, K., Mayer, F., Heitkamp, H. C. & Horstmann, T. (1999). Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *International journal of sports medicine* 20 (2), 122-127002E. doi: 10.1055/s-2007-971105.

- Doenst, T., Nguyen, T. D., & Abel, E. D. (2013). Cardiac metabolism in heart failure: implications beyond ATP production. *Circulation research*, 113(6), 709-724.
- Donovan, C. M. & Brooks, G. A. (1983). Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism* 244 (1), E83-E92. doi.org/10.1152/ajpendo.1983.244.1.E83.
- Douglas, A. S. & Kennedy, C. R. (2020). Tracking in-match movement demands using local positioning system in world-class men's ice hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 34 (3), 639-646.
- Durocher, J. J., Leetun, D. T. & Carter, J. R. (2008). Sport-specific assessment of lactate threshold and aerobic capacity throughout a collegiate hockey season. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 33 (6), 1165-1171.
- Durocher, J. J., Guisfredi, A. J., Leetun, D. T. & Carter, J. R. (2010). Comparison of on-ice and off-ice graded exercise testing in collegiate hockey players. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 35 (1), 35-39.
- Edwards, A. M., Clark, N. & Macfadyen, A. M. (2003). Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *Journal of sports science & medicine* 2 (1), 23-29.
- Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E. & Costill, D. L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports* 11 (4), 338-44.
- Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they?. *Sports medicine* 39, 469-490.
- Fedorovich, A. A., Loktionova, Y. I., Zharkikh, E. V., Mikhailova, M. A., Popova, J. A., Suvorov, A. V. & Zherebtsov, E. A. (2021). Body position affects capillary blood flow regulation measured with wearable blood flow sensors. *Diagnostics* 11 (3), 436. doi.org/10.3390/diagnostics11030436.
- Ferland, P. M., Marcotte-L'Heureux, V., Roy, P., Carey, V. D., Charron, J., Lagrange, S. & Comtois, A. S. (2021). Maximal oxygen consumption requirements in professional North American ice hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 35 (6), 1586-1592.
- Fernhall, B. & Kohrt, W. (1990). The effect of training specificity on maximal and submaximal physiological responses to treadmill and cycle ergometry. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 30 (3), 268-275.



- Frontera, W. R. & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified tissue international* 96, 183-195.
- Gaesser, G. A. & Poole, D. C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and sport sciences reviews* 24 (1), 35-70.
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H. & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of applied physiology* 75 (2), 712-719.
- Galloway, S. D. & Maughan, R. J. (1997). Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Medicine and science in sports and exercise* 29 (9), 1240-1249.
- Galvez, J. M., Alonso, J. P., Sangrador, L. A. & Navarro, G. (2000). Effect of muscle mass and intensity of isometric contraction on heart rate. *Journal of applied physiology* 88 (2), 487-492.
- Gannon, E. A., Higham, D. G., Gardner, B. W., Nan, N., Zhao, J. & Bisson, L. J. (2021). Changes in neuromuscular status across a season of professional men's ice hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 35 (5), 1338-1344.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports medicine* 31, 725-741.
- Gilenstam, K. M., Thorsen, K. & Henriksson-Larsén, K. B. (2011). Physiological correlates of skating performance in women's and men's ice hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 25 (8), 2133-2142.
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A. & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability part I: factors contributing to fatigue. *Sports medicine* 41, 673-694.
- Gladden, L. B. (2000). Muscle as a consumer of lactate. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (4), 764-771.
- Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *The Journal of physiology* 558 (1), 5-30.
- Glaister, M. (2005). Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports medicine* 35, 757-777.
- Gollnick, P. D., Bayly, W. M. & Hodgson, D. R. (1986). Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood. *Medicine and science in sports and exercise* 18 (3), 334-340.

- Green, M. R., Pivarnik, J. M., Carrier, D. P. & Womack, C. J. (2006). Relationship between physiological profiles and on-ice performance of a National Collegiate Athletic Association Division I hockey team. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 20 (1), 43-46.
- Greenhaff, P. L. & Timmons, J. A. (1998). Interaction between aerobic and anaerobic metabolism during intense muscle contraction. *Exercise and sport sciences reviews* 26 (1), 1-30.
- Hagberg, J. M. & Coyle, E. F. (1983). Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15 (4), 287-289.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*, 44 (2), 139-147.
- Hargreaves, M. & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, 2(9), 817-828.
- Hering, G. O., Hennig, E. M., Riehle, H. J., & Stepan, J. (2018). A lactate kinetics method for assessing the maximal lactate steady state workload. *Frontiers in Physiology*, 9, 310.
- Houdijk, H., Heijnsdijk, E. A., de Koning, J. J., de Groot, G. & Bobbert, M. F. (2000). Physiological responses that account for the increased power output in speed skating using klapskates. *European journal of applied physiology*, 83, 283-288.
- Hue, O., Le Gallais, D., Boussana, A., Chollet, D. & Prefaut, C. (1999). Ventilatory responses during experimental cycle-run transition in triathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 31, 1422-1428.
- Hughson, R. L., & Green, H. J. (1982). Blood acid-base and lactate relationships studied by ramp work tests. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(4), 297-302.
- Jacobs, I. (1986). Blood lactate: implications for training and sports performance. *Sports medicine* 3 (1), 10-25.
- Jones, N. L., Makrides, L., Hitchcock, C., Chypchar, T. & McCartney, N. (1985). Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *American Review of Respiratory Disease* 131 (5), 700-708.
- Keir, D. A., Zory, R., Boudreau-Larivière, C. & Serresse, O. (2012). Mechanical efficiency of treadmill running exercise: effect of anaerobic-energy contribution at various speeds. *International journal of sports physiology and performance* 7 (4), 382-389.
- Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. (2018). *Fyysisen kunnan mittaaminen: käsi- ja oppikirja kuntotestaajille*. Helsinki: Liikuntatieteellisen Seuran, 93.

- Kindermann, W., Simon, G. & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 42, 25-34.
- Kinnunen, J-V., Piitulainen, H. & Piirainen, J.M. (2019). Neuromuscular adaptations to short-term high-intensity interval training in female ice-hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 33 (2), 479-485.
- Kohrt, W. M., O'connor, J. S. & Skinner, J. S. (1989). Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21 (5), 569-575.
- Koska, J., Ksinantova, L., Šeböková, E., Kvetnansky, R., Klimeš, I., Chrousos, G. & Pacak, K. (2002). Endocrine regulation of subcutaneous fat metabolism during cold exposure in humans. *Annals of the New York Academy of Sciences* 967 (1), 500-505.
- Lamoureux, N. R., Tomkinson, G. R., Peterson, B. J. & Fitzgerald, J. S. (2018). Relationship between skating economy and performance during a repeated-shift test in elite and subelite ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 32 (4), 1109-1113.
- Lignell, E., Fransson, D., Krstrup, P. & Mohr, M. (2017). Analysis of high-intensity skating in top-class ice hockey match-play in relation to training status and muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 32 (5), 1303-1310.
- Liikuntatieteellinen seura. (2018). Anaerobinen kynnys, aerobinen kynnys, ventilaatiokynnys, laktaattikynnys – mitä ihmettä? Verkkosivu. Viitattu 29.6.2023. <https://www.lts.fi/liikunta-tiede/artikkelit/anaerobinen-kynnys-aerobinen-kynnys-ventilaatiokynnys-laktaattikynnys-mita-ihmetta.html>.
- Linseman, M. E., Palmer, M. S., Sprenger, H. M. & Spriet, L. L. (2014). Maintaining hydration with a carbohydrate–electrolyte solution improves performance, thermoregulation, and fatigue during an ice hockey scrimmage. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 39 (11), 1214-1221.
- MacDougall, K. B., Falconer, T. M. & MacIntosh, B. R. (2022). Efficiency of cycling exercise: Quantification, mechanisms, and misunderstandings. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 32 (6), 951-970.
- Maughan, R. J., Harmon, M., Leiper, J. B., Sale, D. & Delman, A. (1986). Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 55, 395-400.

- Mazzeo, R. S., Brooks, G. A., Budinger, T. F. & Schoeller, D. A. (1982). Pulse injection, <sup>13</sup>C tracer studies of lactate metabolism in humans during rest and two levels of exercise. *Biomedical Mass Spectrometry* 9 (7), 310-314.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Metzger, J. M. & Moss, R. L. (1990). Effects of tension and stiffness due to reduced pH in mammalian fast-and slow-twitch skinned skeletal muscle fibers. *The Journal of physiology* 428 (1), 737-750.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R. & Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge?. *Sports medicine* 37, 857-880.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K. & Nummela, A. (2011). Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *Journal of sports sciences* 29 (13), 1359-1371.
- Millet, G. P., Vleck, V. E. & Bentley, D. J. (2009). Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes. *Sports Medicine* 39, 179-206.
- Montgomery, D. L. (1988). Physiology of ice hockey. *Sports medicine* 5, 99-126.
- Montgomery, D. L., Nobes, K., Pearsall, D. J. & Turcotte, R. A. (2004). Task analysis (hitting, shooting, passing, and skating) of professional hockey players. *Safety in ice hockey* 4.
- Montgomery, D. L. (2006). Physiological profile of professional hockey players - a longitudinal comparison. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 31 (3), 181-185.
- Moseley, L. & Jeukendrup, A. E. (2001). The reliability of cycling efficiency. *Medicine and science in sports and exercise* 33 (4), 621-627.
- Mourtzoukou, E. G. & Falagas, M. E. (2007). Exposure to cold and respiratory tract infections. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease* 11 (9), 938-943.
- Newsholme, E. A. (1980). A possible metabolic basis for the control of body weight. *New England Journal of Medicine* 302 (7), 400-405.
- Nobes, K. J., Montgomery, D. L., Pearsall, D. J., Turcotte, R. A., Lefebvre, R. & Whittom, F. (2003). A comparison of skating economy on-ice and on the skating treadmill. *Canadian journal of applied physiology* 28 (1), 1-11.

- Noonan, B. C. (2010). Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 24 (9), 2290-2295.
- Ørtenblad, N., Westerblad, H. & Nielsen, J. (2013). Muscle glycogen stores and fatigue. *The Journal of physiology* 591 (18), 4405-4413.
- Parkin, J. M., Carey, M. F., Zhao, S. & Febbraio, M. A. (1999). Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *Journal of applied physiology* 86 (3), 902-908.
- Parolin, M. L., Chesley, A., Matsos, M. P., Spriet, L. L., Jones, N. L. & Heigenhauser, G. J. (1999). Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. doi.org/10.1152/ajpendo.1999.277.5.E890.
- Peterson, B. J., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Ziegler, K. S., Ingraham, S. J., Baker, S. E. & Snyder, E. M. (2015a). Division I hockey players generate more power than division III players during on-and off-ice performance tests. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29 (5), 1191-1196.
- Peterson, B. J., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Ziegler, K. S., Ingraham, S. J., Baker, S. E. & Snyder, E. M. (2015b). Aerobic capacity is associated with improved repeated shift performance in hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29 (6), 1465-1472.
- Plowman, S. A. & Smith, D. L. (2007). *Anaerobic metabolism during exercise*. Saint Louis, MO: Churchill Livingstone, 39-63.
- Poole, D. C., Rossiter, H. B., Brooks, G. A. & Gladden, L. B. (2021). The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *The Journal of physiology* 599 (3), 737-767.
- Renaud, P. J., Robbins, S. M., Dixon, P. C., Shell, J. R., Turcotte, R. A. & Pearsall, D. J. (2017). Ice hockey skate starts: a comparison of high and low calibre skaters. *Sports Engineering* 20, 255-266.
- Ribeiro, J. P., Fielding, R. A., Hughes, V., Black, A., Bochese, M. A. & Knuttgen, H. G. (1985). Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. *International journal of sports medicine* 6 (4), 220-224.
- Ritchie, C. (2012). Rating of perceived exertion (RPE). *Journal of physiotherapy* 58 (1), 62.
- Roecker, K., Schotte, O, Niess, A.M., Horstmann, T. & Dickhuth, H. H. (1998). Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Medicine and science in sports and exercise* 30, 1552-1557.

- Roecker, K., Striegel, H. & Dickhuth, H. H. (2003). Heart-rate recommendations: transfer between running and cycling exercise?. *International journal of sports medicine* 24 (03), 173-178.
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E. & Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism* 265 (3), E380-E391. doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380.
- Sahlin, K. & Harris, R. C. (2011). The creatine kinase reaction: a simple reaction with functional complexity. *Amino acids* 40 (5), 1363-1367.
- Scharhag-Rosenberger, F., Meyer, T., Walitzek, S. & Kindermann, W. (2010). Effects of one year aerobic endurance training on resting metabolic rate and exercise fat oxidation in previously untrained men and women. *International journal of sports medicine* 31 (7), 498-504.
- Schneider, D. A., Lacroix, K. A., Atkinson, G. R., Troped, P. J. & Pollack, J. (1990). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22 (2), 257-264.
- Schneider, D. A. & Pollack, J. (1991). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in female triathletes. *International Journal of Sports Medicine* 12 (4), 379-383.
- Schneider, D. A., McLellan, T. M. & Gass, G. C. (2000). Plasma catecholamine and blood lactate responses to incremental arm and leg exercise. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (3), 608-613.
- Sedlock, D. A. (1992). Post-exercise energy expenditure after cycle ergometer and treadmill exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 6 (1), 19-23.
- Sidossis, L. S., Horowitz, J. F. & Coyle, E. F. (1992). Load and velocity of contraction influence gross and delta mechanical efficiency. *International journal of sports medicine* 13 (5), 407-411.
- Sitko, S., Cirer-Sastre, R., Corbi, F. & López-Laval, I. (2022). Functional threshold power as an alternative to lactate thresholds in road cycling. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 36 (11), 3179-3183.
- Sjøgaard, G., Savard, G. & Juel, C. (1988). Muscle blood flow during isometric activity and its relation to muscle fatigue. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 57, 327-335.

- Skinner, J. S. & McLellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research quarterly for exercise and sport* 51 (1), 234-248.
- Spencer, M., Bishop, D. & Lawrence, S. (2004). Longitudinal assessment of the effects of field-hockey training on repeated sprint ability. *Journal of science and medicine in sport* 7 (3), 323-334.
- Spriet, L. L., Howlett, R. A. & Heigenhauser, G. J. (2000). An enzymatic approach to lactate production in human skeletal muscle during exercise. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (4), 756-763.
- Stanley, W. C., Gertz, E. W., Wisneski, J. A., Morris, D. L., Neese, R. A. & Brooks, G. A. (1985). Systemic lactate kinetics during graded exercise in man. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 249 (6), E595-E602. doi.org/10.1152/ajpendo.1985.249.6.E595.
- Svedahl, K. & MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian journal of applied physiology* 28 (2), 299-323.
- Therminarias, A., Flore, P., Oddou-Chirpaz, M. F., Pellerei, E. & Quirion, A. (1989). Influence of cold exposure on blood lactate response during incremental exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 58 (4), 411-418.
- Twist, P. & Rhodes, T. (1993). Exercise physiology: A physiological analysis of ice hockey positions. *Strength & Conditioning Journal* 15 (6), 44-46.
- Urhausen, A., Coen, B., Weiler, B. & Kindermann, W. (1993). Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *International journal of sports medicine* 14 (3), 134-139.
- Valentini, M. & Parati, G. (2009). Variables influencing heart rate. *Progress in cardiovascular diseases* 52 (1), 11-19.
- Vigh-Larsen, J. F., Beck, J. H., Daasbjerg, A., Knudsen, C. B., Kvorning, T., Overgaard, K. & Mohr, M. (2019). Fitness characteristics of elite and subelite male ice hockey players: A cross-sectional study. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 33 (9), 2352-2360.
- Vigh-Larsen, J. F., Ermidis, G., Rago, V., Randers, M. B., Fransson, D., Nielsen, J. L. & Mohr, M. (2020). Muscle metabolism and fatigue during simulated ice hockey match-play in elite players. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 52 (10), 2162-2171.
- Vigh-Larsen, J. F., & Mohr, M. (2022). The Physiology of Ice Hockey Performance: An Update. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. doi.org/10.1111/sms.14284.

- Wahl, P., Manunzio, C., Vogt, F., Strütt, S., Volmary, P., Bloch, W. & Mester, J. (2017). Accuracy of a modified lactate minimum test and reverse lactate threshold test to determine maximal lactate steady state. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 31 (12), 3489-3496.
- Wallick, M. E., Porcari, J. P., Wallick, S. B., Berg, K. M., Brice, G. A. & Arimond, G. R. (1995). Physiological responses to in-line skating compared to treadmill running. *Medicine and science in sports and exercise* 27 (2), 242-248.
- Walter, G., Vandenborne, K., McCully, K. K. & Leigh, J. S. (1997). Noninvasive measurement of phosphocreatine recovery kinetics in single human muscles. *American Journal of Physiology-Cell Physiology* 272 (2), 525-534.
- Wan, J. J., Qin, Z., Wang, P. Y., Sun, Y. & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & molecular medicine* 49 (10), e384-e384.
- Williams, C. J., Williams, M. G., Eynon, N., Ashton, K. J., Little, J. P., Wisloff, U. & Coombes, J. S. (2017). Genes to predict VO<sub>2</sub>max trainability: a systematic review. *BMC genomics*, 18(8), 81-110.
- Withers, R. T., Sherman, W. M., Clark, D. G., Esselbach, P. C., Nolan, S. R., Mackay, M. H. & Brinkman, M. (1991). Muscle metabolism during 30, 60 and 90 s of maximal cycling on an air-braked ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 63, 354-362.
- Yang, W. H., Park, H., Grau, M. & Heine, O. (2020). Decreased blood glucose and lactate: is a useful indicator of recovery ability in athletes?. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (15), 5470. doi.org/10.3390/ijerph17155470.
- Zhou, S., Robson, S. J., King, M. J. & Davie, A. J. (1997). Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 37 (2), 122-130.