

**SISÄISEN JA ULKOISEN FYYSISEN KUORMITUKSEN YHTEYDET JÄÄKIEKON
PELEISSÄ**

Antti Rantanen

Biomekaniikan pro gradu -tutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2020
Ohjaajat: Janne Avela ja Marko Haverinen

TIIVISTELMÄ

Rantanen, A. 2020. Sisäisen ja ulkoisen fyysisen kuormituksen yhteydet jääkiekon peleissä. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, biomekaniikan pro gradu -tutkielma, 62 s.

Johdanto. Kuormitus on elimistöön kohdistuva stressitekijä, joka saa aikaan muutoksia sen toiminnassa. Kuormitus voidaan jakaa teoreettisesti ulkoiseen ja sisäiseen kuormitukseen. Ulkoinen kuormitus tarkoittaa ulkoisesti havaittavia asioita, eli dynaamisessa liikkeessä työtä ja tehoa. Sisäinen kuormitus tarkoittaa elimistön vastetta ulkoiseen kuormitukseen, joka on aina kuormitusspesifiä sekä yksilöllistä. Erityisesti sisäinen kuormitus on hyvin monitahoinen asia, jonka mittaaminen on joissain tapauksissa haastavaa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sisäisen ja ulkoisen kuormituksen yhteyksiä sekä tutkia sisäisen kuormituksen mittaamismenetelmiä jääkiekon peleissä.

Menetelmät. Ulkoista kuormitusta mitattiin lähipaikannusjärjestelmän avulla. Ulkoisen kuormituksen muuttujia olivat kokonaismatka, matka eri nopeusalueilla sekä kiihdytysten ja jarrutusten määrä eri intensiteettialueilla. Kaikkia ulkoisen kuormituksen muuttujia tutkittiin myös peliaikaan suhteutettuna. Sisäistä subjektiivista kuormitusta mitattiin pelaajan itse antamalla arviolla Borgin muokatun asteikon (1–10) eli session-RPE:n (sRPE) sekä peliajalla kerrotun session-RPE-training load:n (sRPE-TL) ja objektiivista kuormitusta erilaisten sykemuuttujien, kuten TRIMP:n eli sykkeen avulla mitatun rasituskertymän perusteella. Tutkimukseen osallistui yksi suomalaisen jääkiekon pääsarjan eli Liigan joukkue. Tutkittavia oli yhteensä 25. Tutkimus toteutettiin mittaamalla sisäistä ja ulkoista kuormitusta yhden kauden, eli yhteensä 59 SM-liigapelin osalta.

Tulokset. Ulkoinen kuormitus vastasi suurimmaksi osaksi kansainvälisen maajoukkue-tason ja NHL:n pelien ulkoista kuormitusta. Sisäisen kuormituksen mittaamismenetelmät olivat yhteydessä toisiinsa kohtalaisesti tai melko vahvasti (sRPE vs. TRIMP: $r = 0,44$; $p < 0,001$; sRPE-TL vs. TRIMP $r = 0,60$; $p < 0,001$), mutta heikommin kuin muissa joukkuepalloilulajeissa aikaisemmissa tutkimuksissa. Subjektiivinen arvio kuormittumisesta oli johdonmukaisemmin ja vahvemmin yhteydessä eri ulkoisen kuormituksen muuttujiin (sRPE-TL vs. matka: $r = 0,86$; $p < 0,001$; TRIMP vs. matka: $r = 0,45$; $p < 0,001$). Kuormituksen korkeaa intensiteettiä kuvaaviin muuttujiin oli vahvimmin yhteydessä subjektiivinen arvio kuormittumisesta (sRPE vs. nopeusalue 5–6: $r = 0,52$; $p < 0,01$; TRIMP_{min} vs. nopeusalue 5–6: $r = 0,34$; $p < 0,01$). Sykemuuttujat olivat pääsääntöisesti yhteydessä ulkoisen kuormituksen matalaa intensiteettiä kuvaaviin muuttujiin.

Pohdinta ja johtopäätökset. Jääkiekon ulkoinen kuormitus on hyvin intervalliluonteista ja korkean intensiteetin suhteellinen määrä on suuri. Korkeaintensiteettiset suoritukset ovat pääsääntöisesti myös lyhytkestoisia. Mahdollisesti näistä syistä syke ei vaikuttanut olevan yhtä hyvä sisäisen kuormituksen mittari, kuin muissa joukkuepalloilulajeissa ja aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu. Subjektiivinen arvio kuormittumisesta vaikuttaisi olevan toimiva menetelmä jääkiekon pelien aiheuttaman sisäisen kokonaiskuormittumisen mittaamiseen.

Avainsanat: kuormitus, sisäinen kuormitus, ulkoinen kuormitus, jääkiekko, subjektiivinen kuormitus, objektiivinen kuormitus

ABSTRACT

Rantanen, A. 2020. Comparing internal and external training load in ice hockey games. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's Thesis, 62 pp.

Introduction. Training load is a stressor that causes changes in the body's homeostasis. Training load can be theoretically divided into external and internal load. External training load means externally visible things, i.e. work and power in dynamic motion. Internal training load refers to the body's response to the external training load, which is always training load specific as well as individual. Internal load in particular is a complex issue and measuring it is challenging in some cases. The purpose of this study was to find out the connections between internal and external training load and to study the methods of measuring them in ice-hockey games.

Methods. External training load was measured using local positioning system. The variables of the external load were the total distance, the distance in different speeds, and the number of accelerations and decelerations with different intensities. All external training load variables were also analysed in relation to playing time. Internal subjective training load was measured using sRPE and sRPE-TL. Internal objective training load was analysed with different heart rate variables, such as TRIMP. One team from the Finnish ice hockey main series, the League, participated in the study. There were a total of 25 subjects. The study was carried out by measuring internal and external training load for one season, i.e. total of 59 games.

Results. The external training load of this study corresponded to the external training load of previous international and NHL games. Session-RPE and heart rate based measurements were moderately correlated and weaker than in the previous studies (sRPE vs. TRIMP: $r = 0.44$; $p < 0.001$; sRPE-TL vs. TRIMP: $r = 0.60$; $p < 0.001$). Session-RPE correlated more consistently and more strongly with different external training load variables (sRPE-TL vs. total distance: $r = 0.86$; $p < 0.001$; TRIMP vs. total distance: $r = 0.45$; $p < 0.001$). The variables associated with the high intensity external training load correlated most strongly with sRPE and sRPE-TL (sRPE vs. high-intensity distance: $r = 0.52$; $p < 0.01$; TRIMP_{/min} vs. high-intensity distance: $r = 0.34$; $p < 0.01$). Heart rate variables correlated mainly to variables associated with the low intensity of external training load.

Discussion and conclusion. The external training load and the nature of ice hockey is very high intensity and intermittent. The high intensity bursts are also usually very short compared to other team sports. Maybe because of these reasons, heart rate derived variables did not appear to be as good measures of internal training load as has been observed in previous studies and in other team sports. Subjective measures of internal training load seem to be suitable methods for measuring the total internal training load in ice hockey games.

Key words: training load, internal load, external load, ice-hockey, subjective training load, objective training load

KÄYTETYT LYHENTEET

ATP	adenosiinitrifosfaatti
AU	arbitrary unit, mielivaltainen luku
CR-10	<i>category-ratio –scale</i> , eli skaala välillä 1-10, jonka avulla voidaan subjektiivista kuormittumista
EE _{total}	kokonaisenergiankulutus
EPOC	excessive post-exercise oxygen consumption, kuormituksen jälkeinen lepotason ylittävä hapenkulutuksen määrä
EPOC _{peak}	EPOC:n huippuarvo
GPS	global positioning system
HR _{avg}	keskisyke
HR _{ex}	kuormituksen aikainen syke
HR _{max}	maksimisyke
HR _{rest}	leposyke
ICC	intraclass correlation coefficient, sisäkorrelaatio
LPS	local positioning system
NHL	national hockey league
sRPE	session rating of perceived exertion, subjektiivisesti arvioitu kuormituksen suuruus asteikolla 1–10
sRPE-TL	subjektiivisesti arvioitu kuormituksen suuruus kerrottuna kuormituksen kestolla
TRIMP	training impulse, kuormituksen syketason (%HRR) ja keston perusteella laskettu sisäisen kuormituksen arvo, kuormituksen rasituskertymä
TRIMP _{/min}	kuormituksen rasituskertymän kertymänopeus, kuvaa kuormituksen intensiteettiä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
2 KUORMITUKSEN MITTAAMINEN	5
2.1 Sisäinen kuormitus ja sen mittaaminen	6
2.1.1 Subjektiiivinen arvio kuormittumisesta	7
2.1.2 Sykkeen mittaaminen kuormituksesta	9
2.2 Ulkoisen kuormituksen mittaaminen.....	10
2.3 Sisäisen ja ulkoisen kuormituksen mittaaminen ja yhteydet intervallityyppisissä joukkuelajeissa.....	12
2.4 Jääkiekko lajina kuormituksen mittaamisen näkökulmasta.....	15
3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET.....	19
4 TUTKIMUSMENETELMÄT	21
4.1 Tutkittavat.....	21
4.2 Tutkimusasetelma.....	21
4.3 Mittaamismenetelmät	22
4.3.1 Sisäinen kuormitus.....	22
4.3.2 Ulkoinen kuormitus	23
4.4 Tilastolliset menetelmät.....	25
5 TULOKSET.....	26
5.1 Sisäisen kuormituksen keskinäiset yhteydet.....	28
5.2 Sisäisen kuormituksen yhteydet ulkoisen kuormituksen määrään.....	29
5.3 Sisäisen kuormituksen yhteydet ulkoisen kuormituksen intensiteettiin	36
6 POHDINTA.....	40
6.1 Sisäisten kuormitusmuuttujien väliset yhteydet.....	40
6.2 Jääkiekon Liigan pelien ulkoinen kuormitus	41
6.3 Ulkoisen kuormituksen määrän yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin	43
6.4 Ulkoisen kuormituksen intensiteetin yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin	48
6.5 Tutkimuksen virhelähteet	52
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSET	55
LÄHTEET	58
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Fyysinen kuormitus on elimistöön kohdistuva stressitekijä, joka saa aikaan muutoksia sen toiminnassa. Kuormitus aiheuttaa hetkellisen homeostaasin järkkymisen, mikä palautuu kuormituksen jälkeisen levon aikana. Kun kuormitusta toistetaan, aiheuttaa ulkoisesti sama kuormitus pienemmän muutoksen kehon sisäisessä toiminnassa. Elimistö on siten adaptoitunut ja kehittynyt. (Borresen & Lambert 2009). Tämä muutos, adaptaatio, on harjoittelun aiheuttama krooninen harjoitusvaikutus. Harjoitusvaikutus syntyy harjoittelun aiheuttaman stimuluksen seurauksena, eikä harjoituksesta itsestään. Tämä ns. harjoitusvaste on yksilöllinen, joten harjoittelunkin täytyisi olla yksilöllistä, jos harjoitusvaste halutaan optimoida. Jotta harjoittelu voisi olla yksilöllistä, sitä täytyy pystyä monitoroimaan eli seuraamaan erilaisten testien avulla tai mittaamalla kuormituksen aikaista akuuttia vastetta. (Impellizzeri ym. 2019; Soligard ym. 2016). Kuormituksen seuranta on oleellinen osa niin urheilijan suorituskyvyn kuin hyvinvoinninkin kannalta. On osoitettu, että tasapaino ulkoisen kuormituksen ja elimistön kapasiteetin välillä on merkittävä asia loukkaantumisten ehkäisyssä (Soligard ym. 2016; Kibler ym. 1992) ja sairastumisten ehkäisyssä (Schwellnus ym. 2016).

Urheilijan kuormitusta voidaan tarkastella teoreettisesti jakamalla se ulkoiseen ja sisäiseen kuormitukseen. Ulkoinen kuormitus voidaan jakaa vielä yleiseen ja lajispesifiin sekä sisäinen kuormitus objektiiviseen ja subjektiiviseen. (McLaren ym. 2018; Soligard ym. 2016). Vanrenterghem ym. (2017) esittävät lisäksi sisäisen kuormituksen jakamista ns. biokemialliseen ja biomekaaniseen kuormitukseen. Ulkoinen kuormitus tarkoittaa nimensä mukaisesti ulkoisesti havaittavia asioita, eli dynaamisessa liikkumisessa käytännössä mekaanista työtä ja työn tekemisen nopeutta eli tehoa. Ulkoisen kuormituksen mittaamisessa tavallista on mitata kuormituksen aikaa, matkaa, tehoa watteina, pelien tai harjoitusten määrää viikossa, heittojen, lyöntien tai törmäysten määrää ja niin edelleen. (McLaren ym. 2018; Soligard ym. 2016). Toisaalta myös urheilun ulkopuoliset kuormitusta lisäävät tekijät voidaan nähdä tärkeinä ulkoisen kuormituksen muuttujina, joita olisi hyvä mitata, kuten esimerkiksi stressaavat elämäntapahtumat tai matkustaminen (Soligard ym. 2016). Eri urheilulajeissa on tarkoituksenomaista mitata erilaisia ulkoisen kuormituksen muuttujia, eli ulkoinen kuormitus on riippuvainen kuormituksen luonteesta. Voimaharjoittelussa ulkoista kuormitusta voidaan seurata esimerkiksi laskemalla nostettua kilomäärää, eli laskemalla kokonaistoistomäärä tietyssä liikkeessä ja kertomalla tämä toistoissa käytetyllä kuormalla. (Impellizzeri ym. 2019)

ja esimerkiksi kestävyysjuoksussa voidaan laskea juoksumatkaa eri nopeuksilla (Foster ym. 2001). Jääkiekossa ulkoista kuormitusta on esimerkiksi kokonaisluistelumatka, peliaika, luistelumatka eri nopeuksilla, kiihdytysten määrä, jarrutusten määrä ja niin edelleen (Brocherie ym. 2018; Lignell ym. 2018).

Sisäinen kuormitus tarkoittaa elimistön reaktiota ulkoiseen kuormitukseen harjoittelun aikana. (Impellizzeri ym. 2019; McLaren ym. 2018; Soligard ym. 2016; Borresen & Lambert 2009; Impellizzeri ym. 2005). Ulkoinen kuormitus ja sisäinen kuormitus ovatkin asioita, joiden välillä voidaan ajatella olevan annos-vaste-suhde. (McLaren ym. 2018; Impellizzeri ym. 2005). Tietty ulkoinen kuormitus aiheuttaa tietyn yksilöllisen vasteen elimistön toiminnassa. Sisäisen kuormituksen käytetyimpiä mittaamismenetelmiä ovat syke ja subjektiivinen arvio kuormittuneisuudesta eli RPE, *rate of perceived exertion* (Borg 1982). Kuten ulkoisen kuormituksen, niin myös sisäisen kuormituksen mittaaminen on järkevää tehdä eri tavalla kuormituksen luonteesta riippuen: tasavauhtisessa pitkäkestoisessa kestävyyskuormituksessa, kuten vaikkapa kestävyysjuoksussa, syke on hyvin luotettava sisäisen kuormituksen mittari. Voimaharjoittelussa syke on vastaavasti huono mittari ja esimerkiksi RPE voi toimia paremmin. Tietyn ”kuormitustyyppin” sisällä on lisäksi eroja siinä, mitä kuormittumisen mittaria on tarkoituksenmukaista käyttää. Jos kestävyysuoritus on esimerkiksi hyvin anaerobinen tai intervallityyppinen, ei syke enää kuvaakaan kuormitusta niin hyvin. (Impellizzeri ym. 2019).

Sisäisen kuormituksen mittaaminen on tärkeää harjoitusvaikutuksen selvittämisessä, sillä se kuvaa urheilijan yksilöllistä reaktiota kuormitukseen. Aina sisäistä kuormitusta ei voida mitata, johtuen joko resurssien puutteesta tai siitä, että sopivaa sisäisen kuormituksen mittaamismenetelmää ei ole olemassa. Esimerkiksi kovatehoinen juokskuormitus aiheuttaa suurta hermolihasjärjestelmän kuormittumista, mutta tähän hermolihasjärjestelmän kuormittumiseen suorituksen aikana ei ole olemassa mittaamismenetelmää. Siksi näissä tapauksissa ulkoisen kuormituksen mittaaminen ja sen perusteella tapahtuva sisäisen kuormituksen arviointi on perusteltua. Tällöin on kuitenkin tärkeä tiedostaa, että ulkoisen kuormituksen perusteella ei voida luotettavasti esimerkiksi vertailla urheilijoiden välistä kuormittumista. Ulkoisesti samanlainen kuormitus aiheuttaa erilaisen vasteen urheilijoiden välillä. Se aiheuttaa todennäköisesti myös erilaisen sisäisen kuormituksen eri päivinä myös saman urheilijan kohdalla hänen palautumistilansa, elämäntilanteensa, suorituskykyisyytensä, ravitsemustilansa ja monen muun tekijän johdosta. Harjoitusvasteen määritelmässä

harjoitusvaste syntyy elimistön sisäisen kuormituksen aiheuttamana, joten vastetta kuormitukseen ei voida luotettavasti mitata pelkästään ulkoisen kuormituksen perusteella eikä urheilijoita voida vertailla keskenään. Edellä mainittujen asioiden lisäksi jopa ”sama sisäinen kuormitus” tietyllä urheilijalla voi aiheuttaa vaimeamman harjoitusvasteen, jolloin puhutaan ns. matalavasteisista urheilijoista (*low-responder*) verrattuna toiseen isomman harjoitusvasteen urheilijaan (*high-responder*). Tämän takia sisäisen kuormituksen mittaaminen on tärkeää nimenomaan harjoitusvasteiden selvittämisessä. (Impellizzeri ym. 2019).

Kuormitus aiheuttaa kuormitustyypistä riippuen erilaista, kuormitusspesifiä, väsymystä. Lihasväsymys voidaan jakaa teoreettisesti sentraaliseen tai perifeeriseen väsymykseen. Sentraalinen väsymys tarkoittaa keskushermoston heikentynyttä kykyä aktivoida lihassoluja ja perifeerinen väsymys tarkoittaa lihastasolla tapahtuvia lihasväsymyksen mekanismeja, kuten glykokeenivarastojen ehtymistä tai lihassupistusta häiritsevien aineenvaihduntatuotteiden kertymistä. Nämä väsymisen mekanismit eivät toimi erillään, vaan kaikessa lihasväsymyksessä on aina mukana molempia lihasväsymyksen muotoja. Tämän lisäksi ihmisen motivaatio ja muut psykologiset tekijät vaikuttavat lihasväsymykseen ja suorituskykyyn. Sekä palautumisen että väsymyksen tutkimuksessa on vielä paljon avoimia kysymyksiä, kuten se, mistä lihasväsymys ylipäätään johtuu. Palautuminen on hyvin yksilöllinen asia, johon vaikuttavat urheilijan henkilökohtaiset ominaisuudet, kuormitustyypit ja harjoittelun ulkopuoliset tekijät, kuten uni ja ravinto. (Bishop ym. 2008).

On olemassa monia eri tapoja kuvata ja mitata sekä sisäistä että ulkoista kuormitusta, mutta kaikissa näissä on omat puutteensa. Todennäköisesti yhdistelemällä useita menetelmiä saadaan luotettavinta ja kokonaisvaltaisinta tietoa kuormituksesta. Kuormituksen seurannan tulisi olla lisäksi säännöllistä, mutta kuitenkin sillä tavalla, että siitä on mahdollisimman vähän vaivaa urheilijalle. (Soligard ym. 2016). Tieto sisäisen ja ulkoisen kuormituksen yhteyksistä voi lisätä sisäisen kuormituksen mittausten validiteettia ja tarkkuutta. Se on hyödyllistä tietoa, sillä tällä hetkellä ei ole olemassa parasta tapaa, niin sanottua kultaista standardia ja selkeitä kriteereitä sisäisen kuormituksen mittaamiseen intervallityyppisissä lajeissa. (McLaren ym. 2018; Lovell 2013). Siksi erilaisten kuormituksen mittaamisen menetelmien tehokkuutta ja luotettavuutta pitäisi tutkia lisää (Soligard ym. 2016). Intervallityyppisiä joukkueurheilulajeja tutkittaessa ollaan havaittu hyvin erilaisia yhteyksiä sisäisten ja ulkoisten kuormitusmuuttujien välillä. Yhteydet ovat vaihdelleet hyvin pienistä hyvin suuriin. Tämä kertoisi siitä, että

yhteyksiä ei vielä täysin ymmärretä sekä se herättää aiheellisesti kysymyksen myös sisäisten kuormitusmuuttujien validiteetista. (McLaren ym. 2018; Nassis & Gabbett 2017; Lambert & Borresen 2010). Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, minkälainen ulkoinen kuormitus jääkiekon pelissä pelaajaan kohdistuu ja minkälaisia yhteyksiä ulkoisen kuormituksen ja sisäisen kuormituksen mittareiden, subjektiivisesti arvioitun kuormituksen ja sykkeen avulla mitatun kuormituksen, välillä on. Tarkoituksena on myös arvioida sisäisen kuormituksen mittareiden validiteettia ulkoisen kuormituksen perusteella ja vertaamalla sisäisiä kuormitusmuuttujia toisiinsa.

2 KUORMITUKSEN MITTAAMINEN

Kuormituksen seurantamenetelmät ovat kehittyneet huomattavasti viimeisen vuosisadan aikana. Ennen nykyisiä menetelmiä urheilijan kuormittumisen seurannassa valmentajan valvova silmä standardoiduissa harjoituksissa on ollut ensimmäisiä yrityksiä kuormituksen mittaamiseen. Sykemittareiden, laktaattimittareiden, hengityskaasuanalysointilaitteiden, tehomittareiden, videokuvaamisen menetelmien ja paikannusjärjestelmien kehittyminen on tuonut objektiivisia mittareita myös kuormituksen seurantaan ja mittaamiseen. Laboratoriolaitteiden lisäksi kehittyneitä laitteita on kehitetty paljon myös kentälle, käytännön urheiluvalmennukseen. Sisäisen kuormituksen ja ulkoisen kuormituksen määrittelyssä sekä yhteyksien ymmärtämisessä on tosin edelleen suuria puutteita. Teknologian ja menetelmien kehittymisen myötä kuormituksesta kerättävä ja saatava tietomäärä on kuitenkin lisääntynyt valtavasti. Urheilijoiden ja valmentajien olisikin tärkeää pystyä ”näkemään metsä puilta” eli ymmärtämään kokonaisuus kuormituksen seurannassa. (Foster ym. 2017).

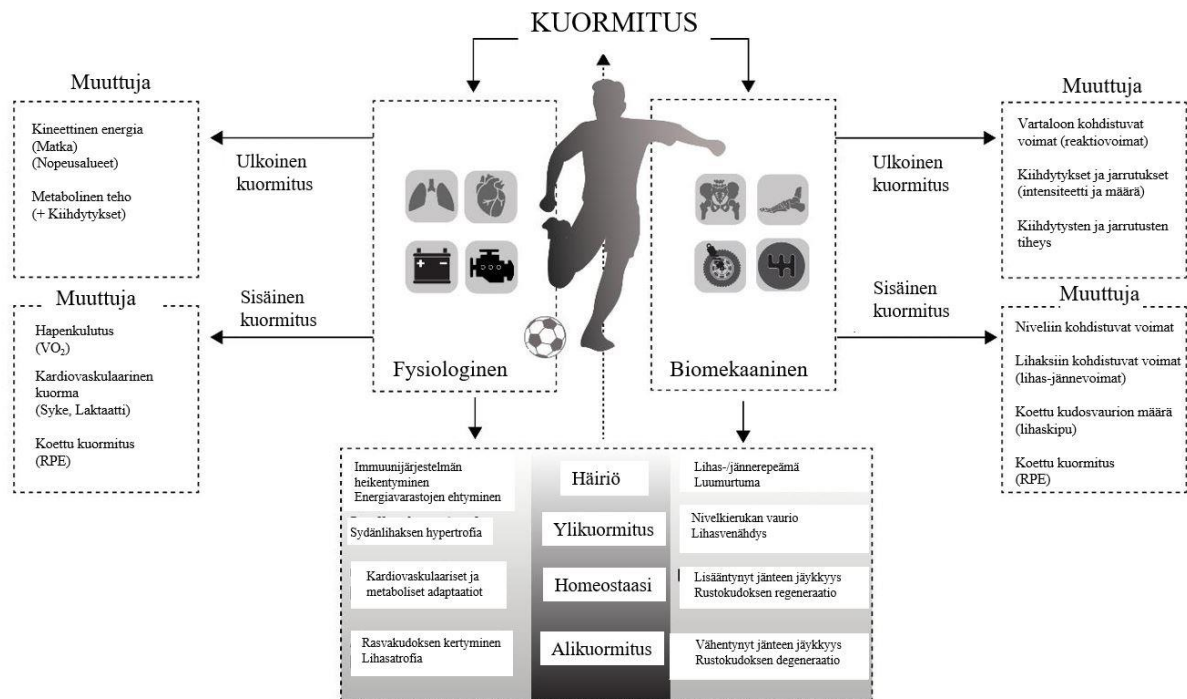
Myös Vanreterghem ym. (2017) korostavat sitä, miten lisääntyneitä datamääriä tulisi tulkita kuormituksen seurannan näkökulmasta. He ehdottavat jakamaan kuormituksen sisäisen ja ulkoisen lisäksi biokemialliseen tai ”fysiologiseen” ja biomekaaniseen kuormitukseen (kuva 1). Fysiologisella kuormituksella he tarkoittavat hengitys- ja verenkiertoelimistön ja eri energiantuottojärjestelmien kuormittumista. Sisäisen fysiologisen kuormituksen mittarina he ehdottavat hapenkulutuksen mittaamista, sykkeen ja veren laktaatin mittaamista sekä subjektiivisesti arvioitua kuormitusta. Ulkoisen fysiologisen kuormituksen menetelminä he näkevät kokonaismatkan ja matkan eri nopeusalueilla, joista voidaan arvioida myös metabolista tehoa, sekä kiihdytysten määrän. Sisäisen biomekaanisen kuormituksen muuttujina he näkevät olevan niveliin ja lihaksiin kohdistuvat voimat, subjektiivisesti arvioitu lihasarkuus ja subjektiivisesti arvioitu kuormitus. Ulkoisia biomekaanisen kuormituksen muuttujia ovat reaktivoimien mittaaminen, kiihdytysten ja jarrutusten määrä, tiheys ja intensiteetti sekä eri tasossa tapahtuvien kiihdytysanturin keräämien liikkeiden avulla laskettava ns. Player Load (joissain tutkimuksissa käytetään myös termiä *accelerometer load* eli kiihdytyskuorma). Seuraavissa kappaleissa on kuvattu keskeisiä sisäisen kuormituksen muuttujia ja mittaamisen menetelmiä tämän tutkimuksen kannalta.

2.1 Sisäinen kuormitus ja sen mittaaminen

Sisäinen kuormitus voidaan tiivistää olevan summa kaikista fysiologisten ja psykologisten kuormitustekijöiden aiheuttamista elimistön reaktioista. Sen johdosta sisäistä kuormitusta ei voida mitata yhdellä ainoalla tavalla, vaan sen mittaamista tulisi lähestyä monesta eri suunnasta. Kuormitus aiheuttaa aina kuormitustyyppin mukaisen spesifin vaikutuksen, joten kuormituksen tyyppi tulisi aina mitatessa ottaa huomioon. (Impellizzeri ym. 2019; Cardinale & Varley 2017; Impellizzeri ym. 2005; Viru & Viru 2000). Sisäinen kuormitus on usein käsitetty lähinnä hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittumisena, koska mekaanisen kuormituksen mittaaminen on haastavaa. Vanreterghem ym. (2017) esittävätkin aiheellisesti, että sisäinen kuormitus olisi hyvä jakaa sekä biokemialliseen että biomekaaniseen kuormittumiseen ja jälkimmäiseen kuormituksen tyyppiin pitäisi kehittää lisää luotettavia seurantamenetelmiä. Sisäisen biomekaanisen kuormituksen seurantaan ei juurikaan ole olemassa toimivaa tapaa laboratorio-olosuhteiden ulkopuolella tällä hetkellä. Kehon rakenteisiin kohdistuvien voimien mittaaminen on mahdollista esimerkiksi jänteeseen kiinnitettävien anturien avulla, mutta luonnollisesti käytännön urheiluvalmennuksessa se on poissuljettu vaihtoehto. Reaktivoimien mittaaminen tai arvioiminen laskemalla esimerkiksi videokuvan perusteella on myös mahdollista, mutta työlästä ja epäkäytännöllistä. Ulkoisen kuormituksen avulla voidaan arvioida biomekaanista sisäistä kuormittumista, esimerkiksi ulkoisesti havaittavien kiihtyvyyksien perusteella, mutta tämän yhteyden perusteella tapahtuva luotettava arviointi tarvitsee vielä lisää tutkimusta. (Vanreterghem ym. 2017).

On tärkeää erottaa kuormituksen jälkeen tapahtuva mittaaminen kuormituksen aikaisesta mittaamisesta: kuormituksen jälkeinen testaaminen ei ole sisäisen kuormituksen mittaamista, vaan sisäisen kuormituksen aiheuttaman elimistön reaktion mittaamista kuormituksen jälkeen. Jos kuormituksen jälkeen mitattavalla muuttujalla on kuitenkin osoitettu vahva yhteys sisäisen kuormituksen muuttujaan, voidaan sitä käyttää epäsuorana tapana arvioida sisäistä kuormitusta. Yhtenä esimerkkinä tästä on sykevälivaihtelu. (Impellizzeri ym. 2019). Kuormituksen jälkeen annettu subjektiivinen arvio kuormittumisesta, eli session-RPE (sRPE) on myös tällainen epäsuora tapa, vaikkakin siinä pyritään arvioimaan kuormituksen aikaista kuormittumista eikä tämän hetkistä olotilaa. Myös muut epäsuorat subjektiiviset mittaustavat, kuten esimerkiksi kyselylomakkeet ovat osoittautuneet luotettaviksi menetelmiksi kuormituksen mittaamiseen ja seurantaan (Saw ym. 2015). Tiivistettynä sisäisen kuormituksen mittaaminen on haastavaa,

erityisesti suoraan kuormituksen aikana mitattuna. Biokemiallisen ja biomekaanisen kuormituksen erottaminen toisistaan voisi olla hyödyllistä (kuva 1). (Vanreterghem ym. 2017).



KUVA 1. Kuormituksen seurannan viitekehys. Kuva muokattu Vanreterghem ym. (2017) artikkelista.

2.1.1 Subjektiiivinen arvio kuormittumisesta

Yksi mahdollinen tapa arvioida sisäistä kuormittumista on subjektiivinen arvio kuormittumisesta eli session-RPE (sRPE). Subjektiiivinen arvio kuormittumisesta kuvaa todennäköisesti sekä fysiologista että biomekaanista kuormitusta. On havaittu, että sRPE on esimerkiksi ollut yhteydessä sekä kiihtyvyyksien avulla mitattuun ulkoiseen kuormitukseen että energiankulutukseen (Gaudino ym. 2015). Niin sanottu erotteleva RPE, *differential RPE*, voi antaa lisäksi parempaa tietoa biokemiallisen ja biomekaanisen kuormituksen eroista (Weston ym. 2015). Lihaskuuden arviointi voi antaa epäsuoraa tietoa hermolihasjärjestelmän kuormittumisesta (McNamara ym. 2013; McLellan ym. 2011) ja POMS –kysely (*profile of mood states*) sekä REST-Q –kysely (*recovery-stress questionnaire*) (Bresciani ym. 2010) ovat

lisäksi mahdollisia kuormituksen ulkopuolella tehtäviä subjektiivisia menetelmiä sisäisen kokonaisvaltaisen kuormituksen arviointiin. Objektiiivinen menetelmä on esimerkiksi seerumin kreatiinikinaasin konsentraation mittaaminen (Raglin ym. 1996). Viimeisimpänä mainittujen menetelmien huonona puolena on tosin se, että mittaustulosten saamisessa kestää kauemmin kuin esimerkiksi RPE:n kohdalla. Kyselytkin tulisi toteuttaa aina yhden tai kahden päivän jälkeen kuormittumisesta, koska lihasarkuus, DOMS (*delayed onset muscle soreness*) ilmaantuu yleensä nimensäkin mukaisesti vasta kuormituksen jälkeisinä päivinä (Vanrenterghem ym. 2017).

Session-RPE-TL ottaa huomioon kuormituksen intensiteetin ja keston, joiden perusteella lasketaan kokonaisharjoituskuorma, training load (TL). Urheilija antaa kuormituksen intensiteetille arvon RPE –skaalalla, yleensä välillä 1–10. Tämä luku kerrotaan kuormituksen kestolla ja saadaan luku, joka kuvaa kuormittumisen määrää. Tällä luvulla ei ole yksikköä, joten se on ns. mielivaltainen luku, *arbitrary unit* (AU). Periaatteessa urheilijalta kysytään yksinkertainen kysymys: ”Millainen kuormitus oli?” ja kehoitetaan kertomaan, mikä luku kuvaa edeltävän kuormituksen keskimääräistä intensiteettiä. Alun perin Gunnar Borgin kehittämä RPE–asteikko on muokattu siten, että verbaalisia ”ankkureita” on muokattu vastaamaan paremmin tyypillistä puhekieltä. Taulukossa 1 on kuvattu muokattu versio Borgin CR–10 -asteikosta. (Foster ym. 2001; Haddad ym. 2017).

Subjektiivisen kuormituksen taustalla olevat tekijät, eli mitkä asiat vaikuttavat ihmisen arvioon koetusta yrittämisen määrästä, eivät ole täysin selvillä huolimatta pitkään jatkuneista yrityksistä selvittää tätä. On esitetty, että erilaiset keskushermostoon tulevat viestit eli esimerkiksi afferentti palaute ja tieto siitä, milloin kuormitus loppuu, voisivat vaikuttaa arvioon. Toinen esitetty teoria on ns. rinnakkaissyttymisen malli (*corollary discharge*), johon ei liity periferiasta tulevaa palautetta. Tämän mallin mukaan samalla, kun liikekäsky lähtee kohti periferiaa, siitä syntyvä ”kopio” lähtee somatosensorisille aivoalueille tulkittavaksi, jonka perusteella tehdään arvio yrittämisen määrästä (*rate of perceived exertion*, RPE). Tämä rinnakkaissyttymisen malli on saanut tukea muun muassa tutkimuksista, joissa on osoitettu ihmisen pystyvän erottamaan tunteukset kivun ja yrittämisen välillä kuormituksen aikana. (Haddad ym. 2017).

On esitetty, että kuormituksen intensiteetti vaikuttaisi enemmän koetun kuormituksen arvioon verrattuna kuormituksen keston. Erityisesti hyvin korkealla intensiteettialueella vietetty aika

(yli 91 % HRmax) oli RPE:n arvoa selittävä tekijä taekwondourheilijoilla. Tämä havainto antaa tukea sille käytännölle, että sRPE-TL:n laskemisessa kuormituksen keskimääräinen RPE kerrotaan kuormituksen kestolla. (Haddad ym. 2014a). Lisäksi on havaittu, että edellinen ja seuraava peli saattavat vaikuttaa pelaajan arvioimaan kuormitukseen harjoituksissa. Vaikuttavia tekijöitä havaittiin olevan edellisen pelin tulos (voitto, tasapeli tai häviö), vastustajan taso sekä se, oliko kyseessä kotipeli vai vieraspeli. Pelaajien väliset erot itse raportoiduissa kuormituksen arvoissa (sRPE) olivat suuria, joka tarkoittaa, että pelaajat kokivat saman kuormituksen eri tavalla kuormittavana. Tämä korostaa yksilöllisen seurannan merkitystä. (Brito ym. 2015).

TAULUKKO 1. Muokattu CR–10 –asteikko. Mukailtu lähteestä Foster ym. (2001).

Arvio	Kuvaus
0	Lepo
1	Hyvin helppo
2	Helppo
3	Kohtalaisen raskas
4	Melko raskas
5	Raskas
6	
7	Hyvin raskas
8	
9	
10	Maksimaalinen

2.1.2 Sykkeen mittaaminen kuormituksesta

Sykkeen mittaaminen kuormituksesta on suosittu käytäntö kuormituksen intensiteetin ja määrän arvioinnissa. (Achten & Jeukendrup 2003). Se perustuu havaintoon siitä, että syke kasvaa lineaarisesti ns. *steady state*-kuormituksen tehon kasvaessa. (Hopkins 1991; Arts & Kuipers 1994; Robinson ym. 1991). Sykkeen mittaaminen kannattaa yksilöidä urheilijakohtaisesti, eikä käytä absoluuttisia arvoja, koska sykereaktioissa on huomattavia

yksilöllisiä eroja. Tavallinen menetelmä on yksilöidä sykkeen mittaaminen urheilijalta mitatun leposykkeen ja maksimisykkeen avulla, eli käyttää ns. *heart rate reserve* –menetelmää (”sykevara” eli maksimisykkeen ja leposykkeen erotus) (Karvonen & Vuorimaa 1988).

Käytetyin yksittäinen kokonaiskuormitusta kuvaava muuttuja kuormituksen mittaamisessa sykkeen avulla on ns. TRIMP eli *training impulse*, jonka laskeminen perustuu kuormituksen keston, sykkeeseen kuormituksen aikana, leposykkeeseen sekä maksimisykkeeseen. TRIMP:n laskemiseen käytetty kaava on esitetty mittaamismenetelmiä kuvaavassa osiossa. Kun syke nousee, TRIMP:n arvot kasvavat eksponentiaalisesti. Tämän avulla TRIMP pyrkii huomioimaan korkeamman intensiteetin aiheuttaman suuremman kuormituksen. Oletuksena on, että syke kasvaa suorassa suhteessa kuormituksen intensiteettiin. Usein se kasvaakin, mutta siihen vaikuttavat myös monet muut tekijät kuormitusintensiteetin lisäksi: esimerkiksi lämpötila, nesteytys, edeltävä kuormitus tai palautumistila sekä myös monet psykologiset tekijät. Lisäksi TRIMP:n laskennassa käytettyä painokertoimen validiutta voidaan kritisoida ja teknologian käyttämisen riskinä on aina myös datan kadottaminen tai mittauksen epäonnistuminen. (Lambert & Borresen 2010; Borresen & Lambert 2009). Päiväkohtainen sykkeen vaihtelu on noin < 6,5 %, joka vaikuttaa osaltaan sykkeen avulla mitattuun kuormitukseen. (Borresen & Lambert 2009). Sykkeen avulla objektiivisesti arvioitua kuormittumista ollaan useissa tutkimuksissa verrattu subjektiiviseen kuormituksen arvioon. Erilaiset sykemuuttujat, kuten %HRmax, %HRreserve ja TRIMP ovat korreloineet RPE:n ja sRPE:n kanssa yleensä hyvin vahvasti. Tasatehoisessa kuormituksessa korrelaatiot ovat olleet erityisen vahvoja (Herman ym. 2006).

2.2 Ulkoisen kuormituksen mittaaminen

Perinteisin ulkoisen kuormituksen mittaamismenetelmä on todennäköisesti kestävyysurheilussa jo pitkään käytännön valmennustyössä ollut tapa mitata harjoittelun määrää matkassa, eli esimerkiksi kuinka monta kilometriä viikossa urheilija juoksee, pyöräilee tai ui. Myöhemmin käyttöön ollaan otettu myös erilaiset harjoitusalueet ja määrä näillä eri harjoitusalueilla. Kun tietty kuljettu matka ollaan kerrottu tietyn harjoitusalueen kertoimella, ollaan päästy paremmin kiinni harjoittelun määrän lisäksi sen intensiteettiin. (Foster ym. 2001). Maksimaalisen aerobisen tehon alapuolella tapahtuvaan harjoitteluun määrän mittaaminen eri tehoalueilla onkin luotettava tapa, sillä ulkoinen teho ja hapenkulutus kasvavat suhteessa

toisiinsa hyvin lineaarisesti. Tämän tehon yläpuolella anaerobisen energiantuoton osuus kasvaa huomattavasti ja harjoittelun kuormitus myös. Anaerobista energiantuottoa on haastavampi mitata kuormituksen aikana ja vielä haastavampaa sitä on arvioida pelkän ulkoisen kuormituksen muuttujien, kuten ulkoisen tehon perusteella. Sama ulkoinen teho voi luonnollisesti aiheuttaa hyvin erilaisen sisäisen kuormituksen eri yksilöillä.

Hyvin suuri osa joukkuelajien ulkoista kuormitusta ovat myös erilaiset törmäykset, kiihdytykset, jarrutukset ja suunnanmuutokset. Näitä pystytään mittaamaan esimerkiksi GPS – antureilla (satelliittipaikannus, *global positioning system*) ja kiihtyvyyssantureilla. (Harper ym. 2019). Lovellin ym. (2013) tutkimuksessa kiihdytyksien aiheuttamaa kuormaa mitattiin yhdistetyllä GPS- ja kiihtyvyyssanturisysteemillä (TeamAMS Version 17, GPSports, Canberra, Australia). GPS-paikannusmenetelmään perustuva mittaaminen on osoitettu olevan luotettava tapa intervallityyppisissä joukkuelajeissa, joissa juostaan. Tosin mitä enemmän kiihdytyksiä lajissa on, sitä huonompi tarkkuus GPS-menetelmällä on (Vanrenterghem ym. 2017). Ulkoisen kuormituksen analyysia pelistä tai yksittäisestä harjoituksesta kutsutaan aktiivisuusprofiiliksi, *activity profile*, (Aughey 2011). Tavallisesti siinä kuvataan eri nopeusalueilla tai kiihdytysalueilla vietettyä aikaa. Tällaiset alueet määritellään joko absoluuttisiksi tai ne voidaan suhteuttaa pelaajan ominaisuuksien mukaan. Valitettavasti tällä hetkellä ei ole olemassa yhtä tiettyä tapaa, miten alueet tulisi määrittää. Erityisesti korkeimman nopeusalueen, sprinttialueen, määrittämisessä on suuria eroja eri tutkimusten välillä. Siksi vertailu tutkimusten välillä on hankalaa. (Sweeting ym. 2017). Sweeting ym. (2017) suosittelevat review-artikkelissaan käyttämään eri nopeusalueilla kuljetun matkan mittaamiseen intervallityyppisissä joukkuelajeissa tasalevyisiä nopeusalueita. Ulkoisen kuormituksen määrän mittarina voidaan ajatella olevan absoluuttiset luvut, kuten kokonaismatka, kuljettu matka eri nopeusalueilla sekä kiihdytysten, törmäysten ja jarrutusten kappalemäärät. Ulkoisen kuormituksen intensiteetin mittareina voidaan ajatella olevan kuljettu matka minuutissa eli keskinopeus, eri nopeusalueilla kuljettu matka minuutissa, kiihdytysten, jarrutusten ja suunnanmuutosten määrä minuutissa ja törmäykset minuutissa. (McLaren ym. 2018; Lovell ym. 2013).

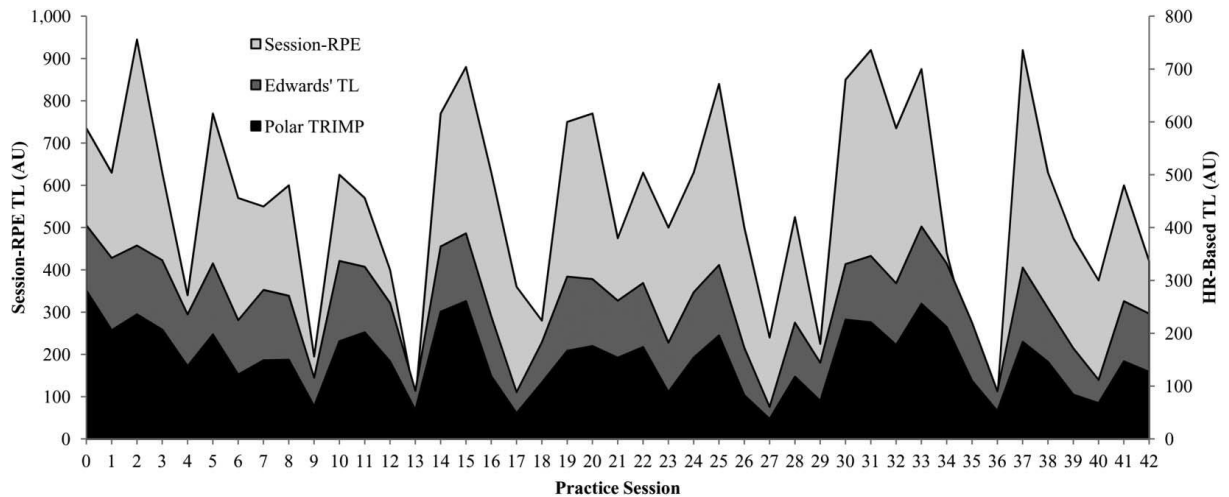
2.3 Sisäisen ja ulkoisen kuormituksen mittaaminen ja yhteydet intervallityyppisissä joukkuelajeissa

McLarenin ym. (2018) meta-analyysissä tutkittiin sisäisten ja ulkoisten kuormitusmuuttujien yhteyksiä intervallityyppisissä joukkuelajeissa, sekä harjoituksissa että peleissä. Siinä tutkittiin myös, onko kuormituksen tyyppillä vaikutusta yhteyksiin. Lopulliseen analyysiin päätyi yhteensä 13 kriteerit täyttävää tutkimusta ja tutkittavien yhteenlaskettu määrä oli 295 urheilijaa. Lajeina tässä meta-analyysissä olivat jalkapallo, rugby, australialainen jalkapallo ja koripallo. Päälöydöksiä havaittiin, että sRPE:n ja sykkeen perusteella mitattu sisäinen kuormitus oli johdonmukaisesti yhteydessä eri ulkoisen kuormituksen mittareiden kanssa, mutta näiden yhteyksien vahvuus ja varmuus olivat käytetystä mittarista ja kuormitustyypistä riippuvaisia. Vahvimmat yhteydet sisäisillä kuormitusmuuttujilla havaittiin kokonaisjuoksumatkan (TD) suhteen. Erityisesti sRPE-TL ja TD olivat hyvin vahvasti yhteydessä toisiinsa ($r = 0,79$; 90 % CI = 0,74–0,83). Lisäksi sRPE-TL oli vahvasti yhteydessä kiihdytyskuormaan ja törmäyksiin ($r = 0,63$ ja $r = 0,57$) sekä kohtalaisesti yhteydessä kovavauhtisen juoksun määrään ($r = 0,47$; 90 % CI = 0,32–0,59). Tässä meta-analyysissä sRPE-TL oli yhteydessä ulkoisen kuormituksen muuttujiin enemmän ja johdonmukaisemmin kuin TRIMP. Ainoastaan kiihdytyskuorma oli yhteydessä TRIMP:n kanssa. Tämän takia McLaren ym. (2018) näkevät subjektiivisen kuormittumisen arvion olevan luotettava sisäisen kuormituksen indikaattori, toisin kuin Nassis & Gabbett (2017), jotka kyseenalaistavat subjektiivisen arvion käyttämisen kuormittumisen mittaamisessa, koska se oli Briton ym. (2015) tutkimuksessa vain kohtalaisesti yhteydessä ulkoiseen kuormitukseen.

Kuormituksen tyyppillä on vaikutusta siihen, minkälaisia yhteyksiä sisäisten ja ulkoisten kuormitusmuuttujien välillä on havaittu. McLarenin ym. (2018) meta-analyysissä havaittiin, että esimerkiksi sRPE-TL:n ja kokonaismatkan sekä kovavauhtisen matkan väliset yhteydet olivat suurempia pelinomaisissa harjoituksissa verrattaessa muihin harjoitusmuotoihin. Myös kiihdytyskuorman suhteen sekä sRPE-TL että TRIMP korreloivat vahvemmin pelinomaisessa kuormituksessa. Weaving ym. (2014) korostavat omassa tutkimuksessaan myös sitä, että kuormituksen tyyppi tulisi aina ottaa huomioon kuormituksen seurannassa. Heidän mukaansa pienpeleihin ja HIIT-harjoitteluun saattaa riittää vain yksi kuormituksen mittaamisen tapa, kun taas taitoharjoittelussa, nopeusharjoittelussa ja voimamiesharjoittelussa olisi parempi käyttää useita menetelmiä ja mahdollisuuksien mukaan yhdistää sisäisen ja ulkoisen kuormituksen

mittaamista. Lambertin ja Borresenin (2010) mukaan sRPE ei sovellu hyvin sellaisiin lajeihin, joissa tulee paljon törmäyksiä ja jotka ovat intervallityyppisiä. Näissä lajeissa pelaajien väliset erot ovat myös heidän mukaan suuria, koska eri pelipaikoilla on erilaisia fyysisiä vaatimuksia, erityisesti törmäysten suhteen. Toisaalta taas esimerkiksi Haddad ym. (2017, 2014b) ja Foster ym. (2001) esittävät sRPE:n olevan luotettava menetelmä intervallityyppisen kuormituksen mittaamiseen. He osoittivat omassa tutkimuksessaan, että sRPE toimi luotettavasti intervallityyppisissä kuormituksissa, kun sitä verrattiin sykemuuttujiin. Myös voimaharjoittelussa sRPE on osoittautunut luotettavaksi ja toistettavuudeltaan hyväksi menetelmäksi kuormituksen arvioimisessa (Day ym. 2004). Toisaalta taas syke itsessään ei ole välttämättä hyvä sisäisen kuormituksen mittari intervallityyppisissä sekä törmäyksiä sisältävässä kuormituksessa, joten Lambertin ja Borresenin (2010) korostama erilaisten lajien vaatima erilainen mittaaminen on perusteltua. Yhdistelemällä erilaisia menetelmiä voidaan saada tarkempaa tietoa kuormittumisesta, kuten lisäämällä subjektiiviseen kuormittumisen arvioon sykemittausta tai liikkeen mittaamista esimerkiksi GPS-menetelmällä (Haddad ym. 2017).

Clarke ym. (2013) tutkivat sRPE:n luotettavuutta kanadalaisessa jalkapallossa, jossa tapahtuu paljon erilaisia törmäyksiä ja jonka luonne on intervallityyppinen. Heidän mukaansa sRPE on luotettava menetelmä tällaisen kuormituksen mittaamiseen. Syke ja sRPE olivat vahvasti yhteydessä toisiinsa, mutta vaihtelu pelaajien välillä oli suurta. Verrattaessa sRPE:tä TRIMP-arvoon (Polar Electro, Suomi, Kempele) ja Edwardsin TL-arvoon korrelaatioiden suuruudet olivat 0,78 ja 0,80. Pienimmät ja suurimmat korrelaatiot vaihtelivat kuitenkin väleillä 0,65–0,91 ja 0,69–0,91. Heidän päätelmänsä olivat, että korkeaintensiteettisten suoritus- sekä törmäysten määrä ja luonne selittivät tätä suurta vaihtelua pelaajien välillä sykkeen ja sRPE:n välisissä yhteyksissä. Tutkimuksessa ei kuitenkaan mitattu ulkoista kuormitusta harjoitusten tai pelien aikana. Kuvassa 2 on esitetty tämän tutkimuksen yhden pelaajan esimerkkikuvaaja eri sisäisten kuormitusmittareiden yhteyksistä. Absoluuttiset lukemat ovat erilaisia johtuen eri mittareiden erilaisista yksiköistä, mutta muutokset ovat hyvin samansuuntaisia. (Clarke ym. 2013). Tällainen visuaalinen esittämistapa voi olla käytännön valmennustyössä hyödyllinen, sillä sen avulla voidaan helposti ja nopeasti arvioida harjoittelun ohjelmoinnin toteutumista



KUVA 2. Esimerkki Clarken ym. (2013) tutkimuksen yksittäisen pelaajan sisäisten kuormitusmuuttujien yhteyksistä. Tämän pelaajan kohdalla yhteyksien vahvuudet olivat $r = 0,82$ (sRPE vs. Polarin TRIMP) ja $r = 0,84$ (sRPE vs. Edwardsin TL).

Sisäisen ja ulkoisen kuormituksen yhteyksiä rugbyssä tutkineen Lovellin ym. (2013) tutkimuksessa havaittiin, että sRPE oli yhteydessä moniin sisäisiin ja ulkoisiin kuormitusmuuttujiin. Vahvimmat yhteydet havaittiin kokonaisjuoksumatkan, TRIMP:n ja keskisykkeen suhteen. Sen lisäksi erilaisten menetelmien yhdistelmä ennusti sRPE:tä paremmin, kuin mikään yksittäinen menetelmä. Tämä tukee sRPE:n luotettavuutta globaalina kuormituksen mittarina rugbyssä. Uutena havaintona tässä tutkimuksessa olivat suuret ja hyvin suuret korrelaatiot sRPE:n ja GPS-antureiden perusteella mitattujen ulkoisen kuormituksen määrän ja intensiteetin suhteen. Tutkimus osoittaa, että sekä kokonaisjuoksumatka että kovavauhtinen juoksumatka ovat yhteydessä subjektiivisesti koettuun kuormitukseen. (Lovell ym. 2013).

Sisäisten kuormitusmuuttujien välillä on havaittu luonnollisesti myös suhteellisen vahvoja yhteyksiä, jolloin voidaan ajatella menetelmien mittaavan suunnilleen samaa asiaa. Sykkeen ja sRPE:n välinen yhteys on havaittu monissa tutkimuksissa. Tasavauhtisessa kestävyyskuormituksessa yhteydet ovat olleet vahvempia kuin intervallikuormituksessa (Lovell ym. 2013). Kuitenkin myös eritehoisissa sekä työ- ja lepojaksuiltaan vaihtelevissa intervallikuormituksessa sRPE:n ja sykkeen yhteys on ollut säännönmukaista (Foster ym. 2001). Ulmer ym. (2019) tutkivat sykkeen perusteella määritetyn TRIMP:n toistettavuutta kahden samanlaisena toistetun jääkiekon harjoituksissa. TRIMP osoitti hyvää toistettavuutta

heidän tutkimuksessaan (ICC: 0,75), joten he päättelivät TRIMP:n olevan hyvä sisäisen kuormituksen seurannan mittari jääkiekossa.

Tiivistettynä kokonaismatka on ollut yhteydessä aikaisemmissa tutkimuksissa vahvimmin sisäisiin määrän ja intensiteetin indikaattoreihin. Tämä on hyvin ymmärrettävää, sillä kyky ylläpitää lihastyötä on suuresti riippuvainen siitä, miten hyvin hengitys- ja verenkiertoelimistö pystyy toimittamaan happea työskenteleville lihaksille ja kuinka hyvin lihakset pystyvät sitä käyttämään ATP:n tuottamiseen. Siten kokonaismatkan kasvaessa myös sykkeen perusteella arvioitu sisäinen kuormitus kasvaa. Hermolihasjärjestelmän toiminnassa on ajateltu, että samanaikaisesti lihaksiin lähtevien motoristen käskyjen kanssa tapahtuisi rinnakkaisyytymisen (*corollary discharge*), jonka arvellaan olevan kuormittumisen tunteen yhtenä syytekijänä. Tämän johdosta sRPE:n kasvaminen samassa suhteessa kokonaismatkan kanssa on myös hyvin ymmärrettävää. (McLaren ym. 2018).

2.4 Jääkiekko lajina kuormituksen mittaamisen näkökulmasta

Jääkiekko on lajina hyvin intervallityyppinen, jossa Brocherien ym. (2018) mukaan noin 18 % ja Lignellin ym. (2018) mukaan jopa lähes puolet pelaajasta kuormitus on hyvin korkeaintensiteettistä (esimerkiksi hyvin kovavauhtista luistelua, sprinttiluistelua, tai kiihdyttämistä) ja loput pelaajasta matalaintensiteettistä (esimerkiksi liukumista tai kevyttä luistelua). Korkean intensiteetin liikkumista on enemmän kuin monissa muissa intervallityyppisissä joukkuelajeissa, kuten jalkapallossa, rugbyssä tai maahockeyssä, jossa ollaan raportoitu noin 90 – 95 % pelaajasta tapahtuvan matalalla intensiteetillä. (Brocherie ym. 2018). Lignellin ym. (2018) NHL:n pelin ulkoista kuormitusta tutkineessa tutkimuksessa yli 17 km/h alueella tapahtuvaa liikkumista oli pelaajilla keskimäärin jopa noin 45 % kokonaismatkasta eli noin 120 metriä yhtä peliminuuttia kohden, mikä on suhteellisesti huomattavasti muita joukkuelajeja enemmän. Kuormitus oli lisäksi hyvin intervalliluonteista, sillä pelaajat tekivät keskimäärin seitsemän noin viidentoista metrin korkeaintensiteettistä luistelusuoritusta minuutissa. Hyökkääjät liikkuivat huomattavasti puolustajia enemmän korkeaintensiteettisellä alueella. Korkeaintensiteettiset kiihdytykset, jarrutukset, suunnanmuutokset ja törmäykset ovat myös lajiin kuuluvia kuormitusta lisääviä tapahtumia (Lignell ym. 2018).

Tyypillinen peli koostuu kolmesta kaksikymmentä minuuttia kestävästä erästä, joiden välissä on viidentoista minuutin tauko. Erien aikana pelikello on käynnissä vain aktiivisen pelin aikana, eli pelikatkojen aikana aika ei kulu. Koko peli taukoineen kestää noin kolme tuntia. Aikaisempien tutkimusten perusteella aktiivisen peliajan pituus huipputasolla yhden vaihdon aikana on noin 45 – 60 sekuntia. Vaihtojen välissä on noin 3 – 5 minuutin passiivinen palautuminen. Yhden vaihdon aikana pelaaja tekee keskimäärin 5 – 7 korkeatehoista suoritusta, jotka kestävät tyypillisesti 2,0 – 3,5 sekuntia. Koko pelin aikana näitä korkeatehoisia suorituksia pelaaja tekee yhteensä siis noin 4 – 6 minuutin ajan. Brocherien ym. (2018) tuoreessa tutkimuksessa maajoukkue-tason kansainvälisessä ottelussa pelaaja pelasi keskimäärin noin $16,1 \pm 3,6$ minuuttia peliä kohden, kokonaismatkan ollessa noin 4441 ± 972 metriä. Yhden vaihdon kokonaispituus oli noin 86 sekuntia, josta aktiivista peliaikaa oli noin 44 sekuntia. Toisin sanoen noin puolet yhden vaihdon kokonaisajasta oli taukoa. Yhden vaihdon aikana pelissä on yleensä siis katkoja, joiden aikana esimerkiksi välittömät energianlähteet pääsevät jonkin verran palautumaan. Tavallisesti yhden vaihdon aikana on 2–3 katkoa (Rhodes & Twist 1993). Brocherien ym. (2018) tutkimuksessa pelaaja teki keskimäärin $7,4 \pm 1,8$ vaihtoa yhden erän aikana. Tutkimuksessa havaittiin myös, että korkeatehoisten suoritusten määrä myös väheni pelin edetessä (Brocherie ym. 2018), kun taas Lignellin ym. (2018) tutkimuksessa määrä lisääntyi, mutta nopeus pieneni pelin edetessä.

Tšekkoslovakian maajoukkueen pelaajilta vuonna 1972 mitatun pelissä keskimääräinen kokonaisluistelumatka oli noin 5160 metriä pelaajaa kohden, kun Brocherien ym. (2018) tutkimuksessa kokonaisluistelumatka oli noin 4441 metriä. Osaltaan tähän vaikuttaa se, että nykyisin pelataan useammin ja yleensä aina neljällä kentällisellä. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kovavauhtisen luistelun ja kiihdytysten määrä on lisääntynyt huomattavasti. Esimerkiksi kiihdytysten määrän on havaittu olevan kaksinkertainen verrattaessa vuoteen 1998 (13 kpl vs. 5–7 kpl yksittäistä pelaajaa kohden ottelussa, keskimäärin noin 3,5 sekunnin mittaisia). (Brocherie ym. 2018). Voidaankin sanoa, että pelin luonne on muuttunut koko ajan nopeampaan suuntaan ja korkeaintensiteettisten suoritusten määrä ja rooli on lisääntynyt. Toisaalta myös pelaajan pelityylillä, pelin luonteella, joukkueen pelitavalla ja monella muulla seikalla voi olla vaikutusta siihen, kuinka hyvin esimerkiksi välittömät energianlähteet palautuvat yhden vaihdon aikana ja missä suhteessa energiantuottojärjestelmät toimivat. Jos pelaaja esimerkiksi luistelee yhden koko 45 sekuntia kestävä vaihdon maksimaalisella yrityksellä ilman taukoa, on hän todennäköisesti huomattavasti kuormittuneempi, kuin sellainen pelaaja, joka pystyy rytmittämään omaa pelaamistaan ja tekemään lyhyitä spurtteja,

joiden välissä on kevyttä liukumista, luistelua tai paikallaan seisomista. Siten yhden vaihdon kuormitus voi olla hyvin erilainen eri yksilöiden välillä. Yhden vaihdon aikaisesta energiantuottojärjestelmien toiminnasta ja pelaajan kuormituksesta tarvitaankin lisää tutkimusta (Brocherie ym. 2018).

Yhtämittaisen kovatehoisen suorituksen pituuden kasvaessa kasvaa myös anaerobisen glykolyysin osuus energiantuotossa. Sen takia pelaajan olisi kuormittumisen kannalta optimaalisinta tehdä riittävän lyhyitä vaihtoja, jotta anaerobisen glykolyysin sivutuotteena syntyvää happamuutta ei kertyisi lihaksiin liikaa. (Brocherie ym. 2018; Green 1979). Koska anaerobisen glykolyysin teho on suhteellisesti suurimmillaan noin 10 – 60 sekunnin mittaisessa yhtäjaksoisessa ja korkeaintensiteetisessä suorituksessa, voidaan yhden ilman katkoja tapahtuvan ja korkeaintensiteettisen vaihdon olettaa tapahtuvan pääsääntöisesti anaerobisen glykolyysin avulla. Koska vaihdon sisällä on usein pelikatkoja eli taukoja, energiantuottojärjestelmien kuormittumisen arviointi ei ole kuitenkaan niin yksinkertaista, vaan välittömien energianlähteiden osuus on myös suuri. Taukojen aikana välittömät energianlähteet pääsevät ainakin osittain myös palautumaan.

Jotta pelaaja pystyy tekemään korkean intensiteetin suorituksia, tulee hänen olla riittävän palautunut edellisestä vaihdosta. Palautumiseen vaihtojen välillä vaikuttaa lukuisat tekijät. Mitä enemmän edellisessä vaihdossa on lihaksiin kerääntynyttä happamuutta ja muita lihassupistusta häiritseviä tekijöitä, kuten esimerkiksi soluvälitilaan kertynyttä kaliumia, mitä enemmän lihasglykokeenin määrä on vähentynyt (erityisesti pelin loppupuolella), mitä paremmin pelaajan välittömät energianlähteet palautuvat yhden vaihdon aikana ja vaihtojen välillä, mitä paremmin happamuutta puskuroidaan yhden vaihdon aikana ja poistetaan vaihtojen välillä ja erätauoilla sekä monet muut tekijät vaikuttavat pelaajan kokonaiskuormittumiseen ja suorituskyykyyn. Sentraalinen väsymys, kehon lämpötilan nousu, nesteytys ja lihasvauriot ovat myös kuormittumiseen vaikuttavia tekijöitä. (Brocherie ym. 2018).

Jääkiekon pelikuormitus on siis hyvin intervalliluonteinen ja kiihdytyksiä, jarrutuksia sekä suunnanmuutoksia tapahtuu paljon. Kiihdyttäminen tarvitsee enemmän energiaa kuin tasaisen nopeuden ylläpitäminen. (Hader ym. 2016; Di Prampero 2005). Jarruttaminen aiheuttaa lisäksi suuren mekaanisen kuormituksen (Dalen ym. 2016), todennäköisesti johtuen isoista voimapiikeistä ja suurien voimien suhteellisen nopeasta absorboinnista (Verheul ym. 2019)

Tämän takia kiihdytysten ja jarrutusten mittaaminen ulkoisen kuormituksen tekijöinä on jääkiekon kaltaisessa pelissä oleellista. On todennäköistä, että jarrutusten ja törmäysten aikana suurten voimien absorboiminen ja kiihdyttämisen aikana vaadittu suuri alustaan kohdistettu voima lisäävät hermolihasjärjestelmän sekä kehon passiivisten rakenteiden kuormittumista ja nämä tekijät ovat isossa pelaajan kokonaiskuormittumisessa. Tämän lisäksi jarrutusten vaatimaa eksentrisen lihastyö ja sen vaikutukset esimerkiksi energiankulutukseen tarvitsevat lisää tutkimusta. (Brocherie ym. 2018). Myös Vanreterghem ym. (2017) korostavat kiihdytysten ja jarrutusten lisäävän heidän käyttämänsä termin mukaista ns. ”biomekaanista kuormitusta”.

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Sisäinen kuormitus tarkoittaa elimistön vastetta ulkoiseen kuormitukseen. Sen mittaamismenetelmiä ovat esimerkiksi syke ja subjektiivinen arvio kuormittumisesta. Ulkoinen kuormitus tarkoittaa ulkoisesti havaittavia asioita eli dynaamisessa liikkumisessa käytännössä työtä ja sen tekemisen nopeutta eli tehoa (Impellizzeri ym. 2019; Cardinale & Varley 2017; Impellizzeri ym. 2005; Viru & Viru 2000). Tämä tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, minkälaisia yhteyksiä sisäisen ja ulkoisen kuormituksen välillä on jääkiekon peleissä sekä tutkia subjektiivisen kuormituksen ja sykkeen avulla mitatun kuormituksen välisiä yhteyksiä.

Tutkimusongelma 1: Ovatko pelaajan subjektiivisesti arvioitu kuormitus ja sykkeen avulla mitattu kuormitus jääkiekon peleissä yhteydessä toisiinsa?

Tutkimushypoteesi 1: Subjektiivisesti arvioitu kuormitus ja sykkeen avulla mitattu kuormitus ovat yhteydessä toisiinsa.

Perustelu 1: Aikaisempien tutkimusten perusteella sykkeen avulla lasketut sisäistä kuormitusta kuvaavat muuttujat, kuten TRIMP (Lovell ym. 2013; Foster ym. 2001), EPOC (Mann ym. 2017) ja keskisyke (Lovell ym. 2013) ovat korreloineet subjektiivisesti arvioidun sRPE:n ja sRPE-TL:n kanssa intervallityyppisessä kuormituksessa tai tasatehoisessa kuormituksessa.

Tutkimusongelma 2: Ovatko subjektiivisesti arvioitu kuormitus sekä sykkeen avulla mitattu kuormitus yhteydessä ulkoiseen kuormitukseen?

Tutkimushypoteesi 2: Subjektiivisesti arvioitu kuormitus sekä sykkeen avulla mitattu kuormitus ovat yhteydessä ulkoisen kuormituksen muuttujiin.

Perustelu 2: Aikaisempien tutkimusten perusteella ulkoisen kuormituksen muuttujat, kuten kokonaismatka, matka eri nopeusalueilla sekä kiihdytysten ja törmäysten määrä ovat olleet yhteydessä subjektiiviseen arvioon kuormittumisesta sekä sykkeen avulla mitattuun sisäiseen kuormitukseen. (McLaren ym. 2018; Lovell ym. 2013).

Tutkimusongelma 3: Onko subjektiivisesti arvioidun kuormituksen ja sykkeen avulla mitatun sisäisen kuormituksen menetelmillä eroa siinä, miten hyvin ne kuvaavat jääkiekon pelien sisäistä kuormitusta, kun niitä verrataan ulkoiseen kuormitukseen?

Tutkimushypoteesi 3: Sekä subjektiivisesti arvioitu kuormitus että sykkeen avulla objektiivisesti mitattu kuormitus antavat yhtä tarkkaa ja luotettavaa tietoa jääkiekon pelien kuormituksen mittaamisessa.

Perustelu 3: Aikaisempien tutkimusten perusteella ulkoisen kuormituksen muuttujat, kuten kokonaismatka, matka eri nopeusalueilla sekä kiihdytysten ja törmäysten määrä ovat olleet yhteydessä subjektiiviseen arvioon kuormittumisesta sekä sykkeen avulla mitattuun sisäiseen kuormitukseen. (McLaren ym. 2018; Lovell ym. 2013). Nopeimpien kiihdytysten ja jarrutusten sekä kovavauhtisen matkan suhteen yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin ovat todennäköisesti heikompia (Alemdaroğlu 2020).

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksen tavoitteena oli kuvata sisäistä ja ulkoista kuormitusta ja niiden mittaamismenetelmien yhteyksiä huipputason jääkiekon peleissä. Seuraavissa kappaleissa on kuvattu tutkittavien ominaisuuksia, tutkimusasetelmaa, käytettyjä mittaamismenetelmiä ja tilastollisia menetelmiä.

4.1 Tutkittavat

Tutkittavat olivat yhden SM-liigajoukkueen kulloinkin kokoonpanossa olevia pelaajia. Tutkimuksen lopulliseen analyysiin päätyivät kuitenkin vain vähintään kymmenen ottelua kauden aikana ja vähintään viisi minuuttia pelissä pelanneet pelaajat. Yhteensä tutkittavia oli siten 25. Tutkittavien pelien määrä pelaajaa kohden oli keskimäärin 39 ± 16 peliä. Tutkittavina oli pelkästään kenttäpelaajia, eli maalivahteja ei ollut mukana. Tutkittavien keskimääräinen ikä oli $27,4 \pm 6,5$ vuotta, pituus $184,6 \pm 5,8$ cm, paino $86,7 \pm 7,3$ kg ja rasvaprosentti $13,9 \pm 2,8$ % (Tanita). Esikevennyshypyn keskimääräinen korkeus oli $43,6 \pm 3,8$ cm, Wingaten 30 sekunnin polkupyöräergometritestissä suhteellinen keskiteho oli $8,5 \pm 0,5$ W/kg ja huipputeho $10,6 \pm 0,7$ W/kg. Lajinomaisia kestävyysominaisuuksia kuvaavassa YoYo-testissä saavutettu luistelumatka oli keskimäärin 2537 ± 240 metriä. Kaikki tutkittavat allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen osallistumisestaan, osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja heillä oli oikeus keskeyttää osallistumisensa milloin vain ja ilman mitään syytä. Tutkittavien tietoja käsiteltiin luottamuksellisesti ja anonyymisti. Tutkimukselle haettiin ja saatiin Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan lausunto ja tutkimus toteutettiin eettisiä ohjeita noudattaen.

4.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin mittaamalla sisäistä ja ulkoista kuormitusta yhden kauden, eli yhteensä 59 SM-liigapelin osalta. Tutkimus toteutettiin kauden 2019-2020 aikana. Jokaisesta pelistä pyrittiin mittaamaan kuormitusta kaikilla alla mainituilla tavoilla. Lopulliseen analyysiin päätyi yhteensä 971 havaintoa sykemuuttujien osalta, 500 subjektiivisen kuormittumisen arviota, 1053 havaintoa ulkoisista kuormitusmuuttujista ja 123 havaintoa ulkoisen kuormituksen nopeus-, kiihdytys- ja jarrutusalueista. Korrelaatioita kahden muuttujan välillä tutkittiin vain niiden

havaintojen osalta, joista löytyi näiden kahden muuttujan kumpikin havainto samasta kuormituksesta.

4.3 Mittaamismenetelmät

Sisäisen kuormituksen mittausmenetelminä käytettiin Firstbeat Oy:n sykemittaria (Firstbeat Sports Performance Monitoring System 4.7, Firstbeat Oy, Suomi, Jyväskylä) ja subjektiivista arviota kuormittumisesta, sRPE:tä. Ulkoisen kuormituksen mittarina käytettiin Bitwise Oy:n (Suomi, Tampere) älykiekkojärjestelmää, joka perustuu Quuppa Oy:n lähipaikannusjärjestelmän (Quuppa Intelligent Locating SystemTM, Suomi, Espoo) avulla kerättävään radiosignaaliin.

4.3.1 Sisäinen kuormitus

Sisäistä kuormitusta mitattiin Firstbeatin sykemittauksen avulla (Firstbeat Oy, Suomi, Jyväskylä). Sydämen sykkeen perusteella Firstbeatin oma algoritmi laski sykkeen perusteella TRIMP:n, arvio sykkeen perusteella EPOC:n ja laski keskisykkeen. Energiankulutus arvioitiin myös sykkeen perusteella, Firstbeatin oman algoritmin avulla. Mittaustuloksia analysoitiin pelin alusta loppuun asti, eli pelikellon käynnistymisestä siihen asti, kunnes mittaus lopetettiin valmentajan toimesta. Mittaus oli päällä koko pelin ajan, myös erätauoilla. TRIMP:n laskemiseen käytetty kaava on muokattu versio Banisterin kaavasta. Kaava lasketaan seuraavalla tavalla (Firstbeat-manual):

$$\text{TRIMP} = T \times [(\text{HR}_{\text{ex}} - \text{HR}_{\text{rest}}) / \text{HR}_{\text{max}} - \text{HR}_{\text{rest}}] \times 0,64e^{1,92[(\text{HR}_{\text{ex}} - \text{HR}_{\text{rest}}) / \text{HR}_{\text{max}} - \text{HR}_{\text{rest}}]},$$

jossa:

T = kuormituksen kesto

HR_{ex} = kuormituksen aikainen syke

HR_{rest} = leposyke

HR_{max} = maksimisyke

e = ~2,718.

Sisäistä kuormitusta arvioitiin pelaajan itse antamalla subjektiivisella arviolla RPE-asteikon (CR-10) avulla. Pelaaja antoi numeron 1–10 välillä sen perusteella, kuinka raskaaksi hän pelin kokonaisuudessaan koki. Kysely tehtiin SYKE-mobiilisovelluksen avulla noin 30 minuuttia pelin päättymisen jälkeen, kuten aikaisempien tutkimusten perusteella on suositeltu (Foster ym. 2001). Tämän perusteella saatiin yhtä peliä kohden sRPE-arvo, joka kuvasti pelaajan kokemaa pelin rasitusta kokonaisuudessaan. Tutkittavia ohjeistettiin antamaan arvio nimenomaan siitä, kuinka rasittavaksi he pelin kokonaisuudessaan arvioivat, eivätkä yksittäisiä rasittavia hetkiä. Tämän arvion voidaan siten ajatella kuvaavan kuormituksen keskimääräistä intensiteettiä. Kun sRPE kerrotaan pelaajan peliajalla, saadaan sRPE-TL-arvo, joka ottaa huomioon myös kuormituksen määrän. Tämän arvon voidaan ajatella kuvaavan pelaajan kokemaa kokonaisrasittavuutta, eli intensiteetin ja määrän yhdistelmää (Haddad ym. 2017).

Tässä tutkimuksessa sRPE:n arvo (1–10) kerrottiin peliajalla sekunteina, jolloin saatiin mielivaltainen luku (*arbitrary unit*, AU), joka kuvasi pelaajan kokemaa kokonaiskuormitusta:

$$\text{sRPE} \times \text{aika (sek)} = \text{sRPE-TL (au)}.$$

4.3.2 Ulkoinen kuormitus

Ulkoisen kuormituksen mittaamisessa käytettiin älykiekkojärjestelmää, joka paikannusdatan ja kiihtyvyyssdatan perusteella määrittää kunkin yksittäisen pelaajan erilaisia ulkoisen kuormituksen muuttujia, kuten matkaa, peliaikaa, nopeutta ja kiihtyvyyksiä. Koska sisätiloissa GPS-järjestelmän käyttäminen ei toimi, älykiekkojärjestelmä hyödyntää LPS-järjestelmää (*Local Positioning System*). LPS eli lähipaikannusjärjestelmä, jota Bitwise hyödyntää (Quuppa Intelligent Locating SystemTM), on radiosignaalin saapumiskulmaan perustuva järjestelmä. Järjestelmässä jäähallin kattoon asennetut antennit, lokaattorit, vastaanottavat pelaajien selkään kiinnitetyn lähettimen, tagin, lähettämää radiosignaalia. Lokaattorit keräävät ja määrittävät radiosignaalin saapumiskulman ja radiosignaalin suunnan AoA-mittausmenetelmällä (*Angle of Arrival*, keräystaajuus 25 Hz, latenssi 100 ms). Lokaattorit lähettävät edelleen raakadatan palvelimelle, josta Bitwise Oy:n paikannusalgoritmien avulla voidaan määrittää pelaajan liikkumista, matkaa, aikaa, nopeuksia, kiihdytyksiä, jarrutuksia ja suunnanmuutoksia. Älykiekkojärjestelmän luotettavuutta jääkiekon ulkoisen kuormituksen mittaamiseen tutkitaan parhaillaan.

Nopeusalueet määritettiin erikseen SM-liigan otteluiden perusteella tilastollisella analyysillä, jonka teki Bitwise Oy. Tämän analyysin ja aikaisempien tutkimusten (Sweeting ym. 2017) perusteella päädyttiin käyttämään tasalevyisiä nopeusalueita, jotka ovat kuvattu taulukossa 2. Yksittäisiin suorituksiin laskentaperusteena käytettiin vähintään yhtä sekuntia alueella (Russell ym. 2016) ja kuudes alue on avoin luokka eli se sisältää kaiken liikkumisen yli 25 km/h nopeudella.

TAULUKKO 2. Tutkimuksessa käytetyt nopeusalueet.

Alue	Kuvaus		Rajat (km/h)
1	Todella hidas luistelu	Matalaintensiteettinen	0 - < 5
2	Hidas luistelu	luistelu	≥ 5 - < 10
3	Keskikova luistelu		≥ 10 - < 15
4	Kova luistelu	Korkeaintensiteettinen	≥ 15 - < 20
5	Todella kova luistelu	luistelu	≥ 20 - < 25
6	Sprinttiluistelu		≥ 25

Kiihdytykset ja jarrutukset määritettiin myös Bitwise Oy:n tekemän analyysin perusteella, jossa tutkittiin aikaisemmissa SM-liigapeleissä pelaajien tekemien kiihdytysten ja jarrutusten tyypillisimpiä positiivisia ja negatiivisia kiihtyvyyksiä. Kiihdytys- ja jarrutusalueet ovat kuvattu taulukossa 3. Yksittäisiin suorituksiin laskentaperusteena pidettiin vähintään 0,5 sekuntia alueella, kuten aikaisemmissakin tutkimuksissa (Russell ym. 2016).

TAULUKKO 3. Tutkimuksessa käytetyt kiihdytys- ja jarrutusalueet.

Alue	Kuvaus		Rajat (m/s ²)
4	Maksimaalinen kiihdytys		≥ 3
3	Kova kiihdytys	Kiihdytykset	≥ 2 - < 3
2	Keskikova kiihdytys		≥ 1 - < 2
1	Hidas kiihdytys		> 0 - < 1
1	Hidas jarrutus		< 0 - < 1
2	Keskikova jarrutus	Jarrutukset	≤ 1 - < 2
3	Kova jarrutus		≤ 2 - < 3
4	Maksimaalinen jarrutus		≤ 3

4.4 Tilastolliset menetelmät

Tietoja käsiteltiin Microsoft Excel –taulukkolaskentaohjelman ja tuloksia analysoitiin SPSS for Windows 26 –tilasto-ohjelman avulla. Keskiarvot, keskivirheet ja keskihajonnat laskettiin aluksi. Korrelaatioita tutkittiin jatkuvien muuttujien osalta Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimen ja diskreettien muuttujien osalta Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen avulla. Kaikki testit olivat kaksisuuntaisia. Lisäksi korrelaatioiden tulkitsemisessa hyödynnettiin hajontakuvioita. Ryhmien välisten keskiarvojen eroja tutkittiin riippumattomien otosten t-testin avulla.

5 TULOKSET

Taulukossa 4 on kuvattu keskimääräisiä arvoja eri sisäisen kuormituksen muuttujille. Taulukosta havaitaan, että subjektiivisesti arvioitu kuormitus (sRPE) vaihteli lukujen 4 ja 10 välillä. TRIMP:n, TRIMP_{min}:n ja sRPE-TL:n arvot ovat ilman yksikköä olevia mielivaltaisia lukuja, jotka pyrkivät kuvaamaan kokonaiskuormitusta yhden ainoan luvun avulla.

TAULUKKO 4. Sisäisen kuormituksen muuttujien keskiarvoja yhtä jääkiekkopeliä kohden. Analyysissä oli yhteensä 59 peliä.

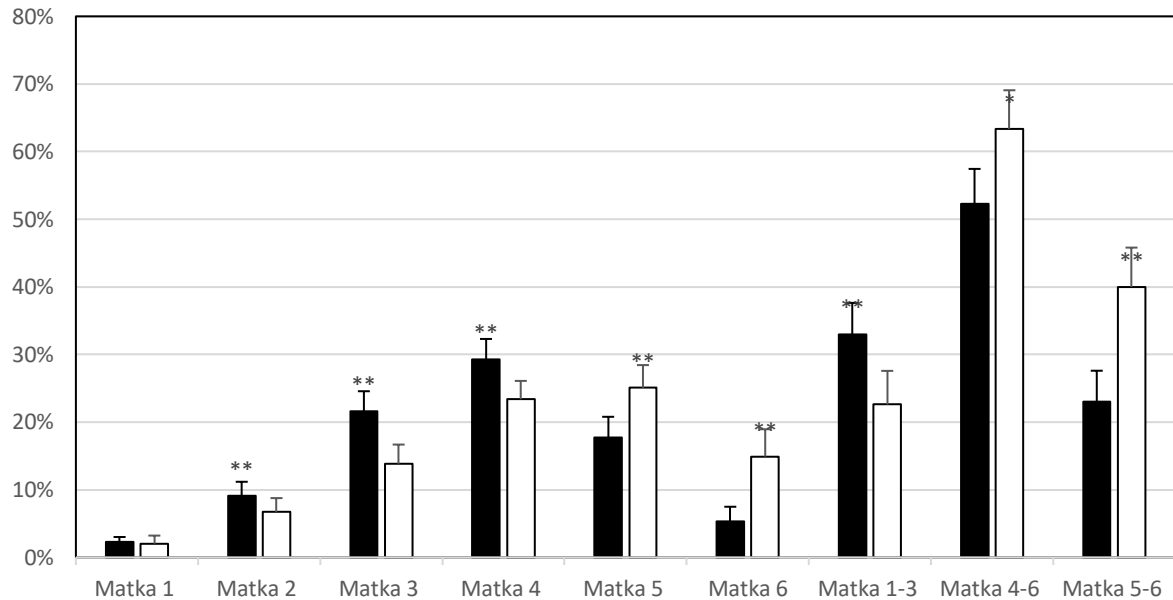
	Keskiarvo	Keskivirhe	Minimi	Maksimi	n
sRPE (1-10)	7,8	0,07	4	10	500
sRPE-TL	7486	117	1880	14690	500
TRIMP	191	1,2	38	287	971
TRIMP _{min}	1,3	0,01	0,05	2	971
EPOC (ml/kg)	27	0,6	0,7	130	971
EPOC _{peak} (ml/kg)	60	24	8	150	971
EE _{total} (kcal)	1325	7	420	2564	968
HR _{avg} (% max)	68	0,2	47	79	971

Taulukossa 5 on kuvattu keskimääräisiä arvoja eri ulkoisen kuormituksen muuttujille. Taulukosta nähdään, että keskimääräinen kokonaismatka oli 3880 ± 827 metriä, pelaajien keskinopeus $14,7 \pm 1,3$ km/h ja keskimääräinen peliaika $16,0 \pm 4,0$ minuuttia. Yhden vaihdon tehokas peliaika oli tässä tutkimuksessa $43,0 \pm 5,0$ sekuntia. Korkeimman nopeusalueen (> 25 km/h) matkaa kertyi tässä tutkimuksessa keskimäärin 447 ± 19 metriä ottelua kohden. Yli 15 km/h nopeusalueella (alue 4-6) pelaaja liikkui keskimäärin 149 ± 3 metriä minuutissa ja sprinttialueella (alue 6, > 25 km/h) pelaaja liikkui 30 ± 2 metriä minuutissa.

TAULUKKO 5. Kauden aikaisten pelien matkan jakaantuminen eri nopeusalueisiin, keskimääräistä intensiteettiä kuvaavat ulkoisen kuormituksen muuttujat sekä keskimääräisiä arvoja ulkoisen kuormituksen globaaleille muuttujille (n = 1053: Matka, Huippunopeus, Keskinopeus, Peli aika, Vaihdot, Vaihdon pituus, n = 123: matka eri nopeusalueilla).

	Keskiarvo	Keskivirhe	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Matka (m)	3880	26	827	1236	5980
Huippunopeus (km/h)	33,3	0,07	2,2	27,2	39,6
Keskinopeus (km/h)	14,7	0,04	1,3	11,6	19,4
Peli aika (min:s)	15:58	00:07	03:52	05:02	25:09
Vaihdot (kpl)	22,1	0,1	4,5	6	35
Vaihdon pituus (min:s)	00:43	00:00	00:05	00:29	00:58
Nopeusalue 1 (m)	83,2	4,4	48,8	13,5	275,7
Nopeusalue 2 (m)	291,7	10,1	111,9	59,2	541,8
Nopeusalue 3 (m)	637,3	21,7	239,8	186,0	1354,8
Nopeusalue 4 (m)	981,1	25,2	277,4	370,7	1805,8
Nopeusalue 5 (m)	872,6	21,5	237,9	237,6	1417,3
Nopeusalue 6 (m)	446,9	19,4	213,6	64,5	1060,6
Nopeusalue 4-6 (m)	2300,6	46,8	515,9	744,4	3596,0
Nopeusalue 5-6 (m)	1319,5	37,2	411,0	311,8	2198,8
Nopeusalue 4-6 (m/min)	148,8	2,9	31,7	80,5	241,4
Nopeusalue 5-6 (m/min)	87,1	2,8	31,1	32,0	181,2
Nopeusalue 6 (m/min)	30,3	1,5	16,7	3,5	94,7

Luistelu jakaantui eri nopeusalueille kauden aikaisissa peleissä kuvan 3 mukaisesti. Kuvasta havaitaan, että hyökkääjät liikkuvat suhteellisesti suurimman matkan nopeusalueilla 4 ja 5 ja puolustajat nopeusalueilla 3 ja 4. Puolustajien kokonaismatka oli 7,4 % hyökkääjiä suurempi (4088 ± 44 metriä vs. 3784 ± 31 metriä).



KUVA 3. Nopeusalueiden suhteellinen jakauma kauden aikaisissa peleissä pelipaikan suhteen. Musta palkki = puolustajat ja valkoinen palkki = hyökkääjät. Arvot ovat keskiarvoja ja hajontapylväät kuvaavat keskihajontaa. ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$.

5.1 Sisäisen kuormituksen keskinäiset yhteydet

Taulukosta 6 nähdään, että suhteellisen vahva yhteys havaittiin sRPE-TL:n sekä TRIMP:n, $TRIMP_{min}$, EPOC:n, $EPOC_{peak}$:n ja keskisykkeen välillä. Lisäksi energiankulutuksen ja sRPE-TL:n yhteys oli kohtalainen. Pelkkä sRPE korreloi myös kohtalaisesti kaikkien sykkeen avulla mitattujen kuormitusmuuttujien kanssa. Tuloksista nähdään, että subjektiivisesti arvioitu kuormitus oli hyvin yhteydessä sykemittauksen perusteella laskettuihin kuormitusmuuttujiin. Yhteydet olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä.

TAULUKKO 6. Subjektiiivisen kuormituksen arvion ja sykemittauksen kuormitusmuuttujien väliset yhteydet (n = 500).

	sRPE-TL	sRPE	TRIMP	TRIMP/ min	EPOC	EPOC peak	EE _{total}	HR _{avg}
sRPE-TL	r 1,00	0,80	0,60	0,55	0,51	0,46	0,32	0,51
sRPE	r 0,80	1,00	0,44	0,42	0,38	0,31	0,35	0,38

Kaksisuuntainen Pearsonin (sRPE-TL) ja Spearmanin (sRPE) korrelaatioanalyysi. Kaikkien havaittujen yhteyksien tilastollinen merkitsevyys on $p < 0,001$.

5.2 Sisäisen kuormituksen yhteydet ulkoisen kuormituksen määrään

TAULUKKO 7. Sisäisten kuormitusmuuttujien yhteydet globaaleihin ulkoisen kuormituksen määrään muuttujiin (n = 500: sRPE-TL ja sRPE), (n = 971: TRIMP, TRIMP_{min}, EPOC, EPOC_{peak} ja HR_{avg} sekä n = 968: EE_{total}).

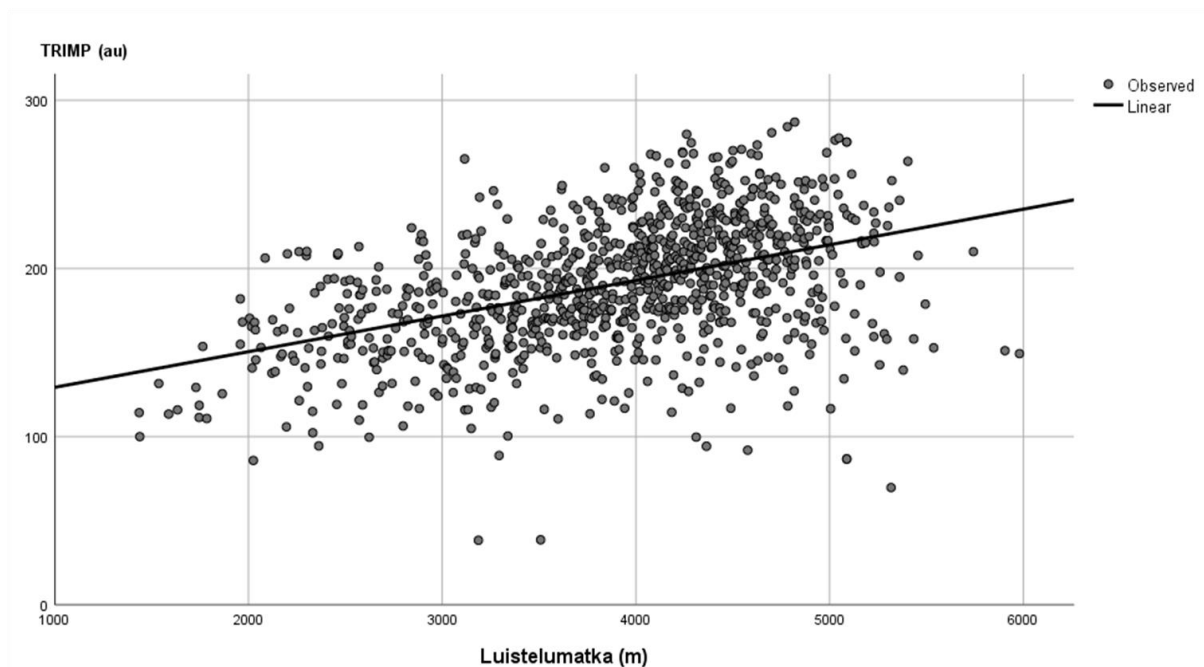
		Matka	Peliaika	Vaihdot	Vaihto _{avg}
sRPE-TL	r	0,86	0,75	0,78	0,46
sRPE	r	0,49	0,39	0,39	0,18
TRIMP	r	0,45	0,40	0,41	0,19
TRIMP _{min}	r	0,41	0,37	0,36	0,20
EPOC	r	0,40	0,35	0,39	0,18
EPOC _{peak}	r	0,39	0,35	0,34	0,21
EE _{total}	r	0,28	0,27	0,33	0,05
HR _{avg}	r	0,41	0,35	0,33	0,20

Kaksisuuntainen Pearsonin (sRPE-TL, TRIMP, TRIMP_{min}, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}) ja Spearmanin (sRPE) korrelaatioanalyysi. Kaikkien havaittujen yhteyksien tilastollinen merkitsevyys on $p < 0,001$.

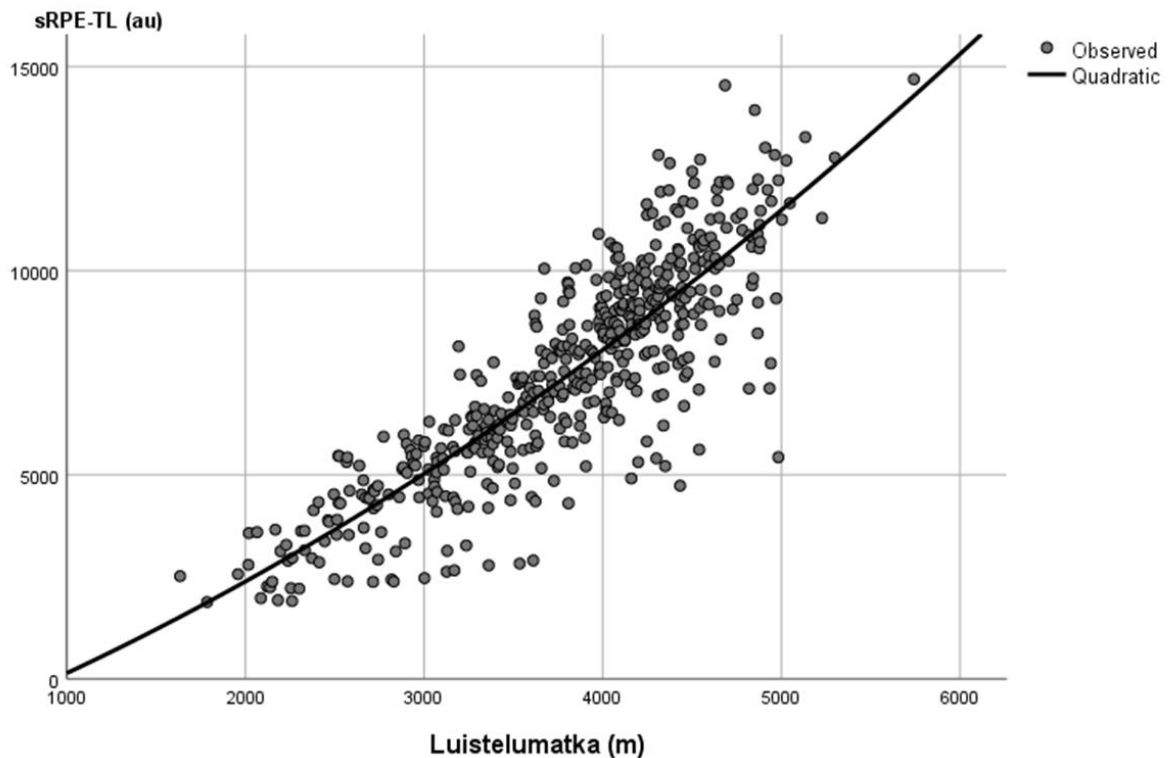
Taulukosta 7 nähdään, että globaaleihin ulkoisen kuormituksen muuttujiin oli vahvimmin yhteydessä subjektiiivinen arvio kuormittumisesta. Vahvimmat positiiviset yhteydet havaittiin

sRPE-TL:n ja kokonaismatkan, pelinopeuden ja vaihtojen määrän suhteen. TRIMP ja sRPE korreloivat kohtalaisesti matkan, pelaajan ja vaihtojen määrän suhteen.

Kuten hajontakuviosta (kuva 4) ja taulukosta 7 nähdään, TRIMP:n ja kokonaismatkan välillä havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevä ja kohtalaisen suuruinen yhteys ($r = 0,45$; $p < 0,001$). Selitysaste oli 20 % eli kokonaismatka selitti noin 20 % TRIMP:n arvojen varianssista tässä tutkimuksessa. Kuten hajontakuviosta (kuva 5) nähdään, sRPE-TL kasvoi kokonaismatkan suhteen hyvin lineaarisesti ($r = 0,86$, $p < 0,001$). Pientä taipumusta exponentiaaliseen yhteyteen toki oli, eli suuremmilla kokonaismatkan arvoilla sRPE-TL:n kasvunopeus oli keskimäärin hieman suurempaa kuin pienimmillä kokonaismatkan arvoilla. Pelkästään hyökkääjiä tutkittaessa havaittiin, että sRPE-TL ja kokonaismatka olivat vielä vahvemmin yhteydessä toisiinsa ($r = 0,87$, $p < 0,001$) ja toisaalta taas pelkästään puolustajien kohdalla hieman heikommin yhteydessä ($r = 0,79$, $p < 0,001$). Tämä johtuu todennäköisesti aikaisemmassa luvussa kuvatuista eroista puolustajien ja hyökkääjien välisessä luistelumatkan jakaantumisessa eri nopeusalueille.



KUVA 4. Hajontakuviot havaitun kokonaismatkan eli pelinaikaisen luistelun ja TRIMP:n arvojen välillä. X-akselilla on kokonaismatka ja Y-akselilla TRIMP ($r = 0,45$; $r^2 = 0,20$; $p < 0,001$).



KUVA 5. Hajontakuviokokonaismatkan eli pelinaikaisen luistelun ja sRPE-TL:n arvojen välillä. X-akselilla on kokonaismatka ja Y-akselilla sRPE-TL ($r = 0,86$, $r^2 = 0,73$, $p < 0,001$).

Kun tutkitaan ulkoisen kuormituksen määrän jakautumista eri nopeusalueisiin, havaitaan, että sRPE-TL oli vahvimmin yhteydessä matkaan nopeusalueilla 1–5. Korkeimmalla nopeusalueella (> 25 km/h, Matka 6) liikuttuun absoluuttiseen matkaan olivat yhteydessä kohtalaisesti vain sRPE ja heikosti TRIMP, TRIMP_{min} ja keskisyke (taulukko 8). Tuloksista nähdään, että pelkkä sRPE:n arvo ilman peliajalla kertomista on yhteydessä paremmin korkeisiin nopeusalueisiin ja pelaajan huomioiva sRPE-TL lähes kaikkiin nopeusalueisiin. Sykkeen perusteella lasketut sisäisen kuormituksen muuttujat olivat pääsääntöisesti vahvemmin yhteydessä matalampiin nopeusalueisiin verrattuna korkeampiin nopeusalueisiin. TRIMP, TRIMP_{min} ja keskisyke olivat yhteydessä myös korkeampien nopeusalueiden määrän suhteen, tosin suhteellisen heikosti, mutta tilastollisesti hyvin merkitsevästi.

TAULUKKO 8. Sisäisten ja ulkoisten kuormitusmuuttujien yhteydet, kun matka on jaettu eri nopeusalueisiin (n = 55: sRPE-TL ja sRPE), (n = 118: TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}).

		Nopeusalue 1–3	Nopeusalue 4–6	Nopeusalue 5–6	Nopeusalue 6
sRPE–TL	r	0,68**	0,60**	0,31**	0,02
sRPE	r	0,18	0,51**	0,52**	0,37**
TRIMP	r	0,35**	0,38**	0,29**	0,20**
TRIMP _{/min}	r	0,35**	0,43**	0,34**	0,25**
EPOC	r	0,43**	0,34**	0,19**	0,07**
EPOC _{peak}	r	0,29**	0,31**	0,20**	0,14
EE _{total}	r	0,27**	0,24**	0,20*	0,10
HR _{avg}	r	0,29**	0,44**	0,35**	0,27**

Pearsonin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE-TL, EPOC, TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC_{peak}, EE_{total} ja HR_{avg}. Spearmanin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE. ** = p < 0,01, * = p < 0,05.

Ulkoisen kuormituksen määrää kuvaavia muuttujia ovat myös kiihdytysten ja jarrutusten kappalemäärät. Taulukosta 10 nähdään sisäisen kuormituksen muuttujien yhteydet kiihdytysten kappalemääriin eri kiihdytysalueilla ja kaikkien kiihdytysten yhteenlaskettuun määrään. Tuloksien perusteella vain sRPE-TL ja sRPE olivat yhteydessä korkeimman kiihdytysalueen ($\geq 3 \text{ m/s}^2$, kiihdytysalue 4) kappalemäärään, joskin vain kohtalaisesti. Myös kiihdytysten kokonaiskappalemäärään yhteydessä olivat vain subjektiivisesti arvioitua kuormituksen muuttujat.

Kiihdytysalueen 1, 2 ja 3 sekä sRPE-TL:n välillä havaittiin lisäksi hyvin vahvat yhteydet ($r = 0,70\text{--}0,84$; $p < 0,01$) ja pelkkä sRPE ei korreloinut matalimman kiihdytysalueen kanssa ollenkaan. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että subjektiivisesti arvioitu kuormitus oli vahvimmin yhteydessä korkeimpien kiihdytysalueiden kiihdytysten määrään ja sykemuuttujat olivat yhteydessä pääsääntöisesti matalampiin kiihdytysalueisiin sekä kiihdytysalueeseen 3 (taulukko 10).

TAULUKKO 10. Kiihdytysten kappalemäärien yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin (n = 55: sRPE-TL ja sRPE), (n = 118: TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}).

		Kiihdytys 1 (kpl)	Kiihdytys 2 (kpl)	Kiihdytys 3 (kpl)	Kiihdytys 4 (kpl)	Kiihdytys 1– 4 (kpl)
sRPE-TL	r	0,82**	0,84**	0,70**	0,34*	0,50**
sRPE	r	0,25	0,46**	0,45**	0,28*	0,33*
TRIMP	r	0,40**	0,53**	0,52**	0,06	0,18
TRIMP _{/min}	r	0,41**	0,56**	0,54**	-0,07	0,07
EPOC	r	0,44**	0,55**	0,56**	0,08	0,21
EPOC _{peak}	r	0,36**	0,46**	0,45**	-0,1	0,02
EE _{total}	r	0,31**	0,41**	0,41**	0,07	0,17
HR _{avg}	r	0,37**	0,50**	0,48**	-0,13	-0,01

Pearsonin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE-TL, EPOC, TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC_{peak}, EE_{total} ja HR_{avg}. Spearmanin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE. ** = p < 0,01, * = p < 0,05. Kiihdytys 1 = > 0 - < 1 m/s², Kiihdytys 2 = ≥ 1 - < 2 m/s², Kiihdytys 3 = ≥ 2 - < 3 m/s², Kiihdytys 4 = ≥ 3 m/s². Yksittäisiin suorituksiin laskentaperusteena pidettiin vähintään 0,5 sekuntia alueella.

Kun sisäisten kuormitusmuuttujien yhteyksiä tarkastellaan eri kiihdytysalueiden matkan suhteen, havaitaan, että nyt myös sykemuuttujat korreloivat kohtalaisesti kokonaiskiihdytysmatkan kanssa (taulukko 11). Vahvimmin kokonaiskiihdytysmatkaan sisäisistä kuormituksen muuttujista oli yhteydessä keskisyke ja TRIMP_{/min}. Kuitenkin korkeimman kiihdytysalueen matkaan yhteydessä oli jälleen vain subjektiivisesti arvioitu kuormitus. Subjektiivisesti arvioitu kuormitus ei ollut juurikaan yhteydessä kiihdytysalueiden 1–3 matkan kanssa, vaan pelkästään kiihdytysalueen 4 matkan ja kokonaiskiihdytysmatkan kanssa. Kokonaiskiihdytysmatkan yhteys selittyy suurelta osin myös nimenomaan kiihdytysalueen 4 yhteyden avulla. Kaikki subjektiivisesti arvioidun kuormituksen yhteydet olivat kohtalaisia. Sykkeen avulla mitatut sisäisen kuormituksen muuttujat olivat yhteydessä kiihdytysalueiden 1–3 matkan ja kokonaiskiihdytysmatkan kanssa. Yhteydet vaihtelivat heikosta kohtalaisiin.

TAULUKKO 11. Kiihdytysmatkan yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin (n = 55: sRPE-TL ja sRPE), (n = 118: TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}).

		Kiihdytys 1 (m)	Kiihdytys 2 (m)	Kiihdytys 3 (m)	Kiihdytys 4 (m)	Kiihdytys 1– 4 (m)
sRPE-TL	r	0,22	0,23	0,14	0,40**	0,37**
sRPE	r	0,17	0,30*	0,24	0,30*	0,29*
TRIMP	r	0,24**	0,32**	0,29**	0,12	0,35**
TRIMP _{/min}	r	0,36**	0,44**	0,40**	-0,10	0,46**
EPOC	r	0,20*	0,26**	0,29**	0,14	0,30**
EPOC _{peak}	r	0,31**	0,37**	0,33**	-0,40	0,39**
EE _{total}	r	0,12	0,19*	0,18	0,11	0,20*
HR _{avg}	r	0,39**	0,45**	0,42**	-0,80	0,47**

Pearsonin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE-TL, EPOC, TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC_{peak}, EE_{total} ja HR_{avg}. Spearmanin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE. ** = p < 0,01, * = p < 0,05. Kiihdytys 1 = > 0 - < 1 m/s², Kiihdytys 2 = ≥ 1 - < 2 m/s², Kiihdytys 3 = ≥ 2 - < 3 m/s², Kiihdytys 4 = ≥ 3 m/s². Yksittäisiin suorituksiin laskentaperusteena pidettiin vähintään 0,5 sekuntia alueella.

Jarrutusten kappalemäärien yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin on esitetty taulukossa 12 ja jarrutusmatkan yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin eri jarrutusalueilla on esitetty taulukossa 13. Vain subjektiivisesti arvioitu kuormitus oli yhteydessä korkeimman intensiteetin jarrutusten kappalemäärien kanssa. Yhteydet olivat kohtalaisia niin sRPE-TL:n kuin sRPE:n kohdalla. Subjektiivisesti arvioitu kuormitus oli yhteydessä myös jarrutusten kokonaiskappalemäärän kanssa. Yhteys oli suuri sRPE-TL:n ja kohtalainen sRPE:n suhteen. Mielenkiintoinen havainto oli myös se, että sRPE ei ollut yhteydessä kuin jarrutusalueen 4 kappalemäärän ja kokonaiskappalemäärän kanssa. Puolestaan sRPE-TL oli yhteydessä hyvin vahvasti jarrutusalueiden 1, 2 ja 3 kappalemäärien kanssa. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että peliajan kasvaessa kasvaa luonnollisesti myös jarrutusten määrä kokonaisuudessaan. Korrelaatioiden vahvuudet vaihtelivat 0,70–0,84 välillä. Sykemuuttujista jokainen oli tasaisesti yhteydessä jarrutusalueiden 1, 2 ja 3 kappalemäärien kanssa. Yhteydet vaihtelivat kohtalaisista suuriin. Toiseksi korkeimman intensiteetin jarrutusalueen kappalemäärän kanssa sykemuuttujien korrelaatiot vaihtelivat välillä r = 0,41 – 0,56. Kuitenkaan jarrutusten

kokonaiskappalemäärän tai korkeimman intensiteetin jarrutuksen kappalemäärän kanssa sykkeen perusteella mitatut kuormituksen muuttujat eivät korreloineet. Jarrutusmatkan suhteen havaittiin, että kaikki sisäisen kuormituksen muuttujat olivat tilastollisesti hyvin merkitsevästi yhteydessä kokonaisjarrutusmatkan suhteen. Vahvin yhteys havaittiin sRPE-TL:n ja kokonaisjarrutusmatkan välillä ($r = 0,80$). Mielenkiintoinen havainto oli jälleen se, että sRPE-TL oli jarrutusalueista yhteydessä vain korkeimman intensiteetin jarrutusmatkan kanssa ja sRPE vain kahden ylimmän jarrutusalueen matkan kanssa. Subjektiiivisesti arvioidun kuormituksen yhteyksien vahvuus ylimmän jarrutusalueen matkan kanssa oli kohtalainen ($r = 0,40$ ja $r = 0,45$). Sykkeen avulla mitattujen kuormitusta kuvaavien muuttujien kohdalla havaittiin vahvuudeltaan kohtalaisia tai heikkoja yhteyksiä kaikkien eri jarrutusalueiden matkan välillä ($r = 0,21-0,45$).

TAULUKKO 12. Jarrutusten kappalemäärien yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin (n = 55: sRPE-TL ja sRPE), (n = 118: TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}).

		Jarrutus 1 (kpl)	Jarrutus 2 (kpl)	Jarrutus 3 (kpl)	Jarrutus 4 (kpl)	Jarrutus 1–4 (kpl)
sRPE-TL	r	0,82**	0,84**	0,70**	0,34*	0,50**
sRPE	r	0,13	0,26	0,24	0,27*	0,33*
TRIMP	r	0,40**	0,53**	0,52**	0,06	0,18
TRIMP _{/min}	r	0,41**	0,56**	0,54**	-0,07	0,07
EPOC	r	0,44**	0,55**	0,56**	0,08	0,21
EPOC _{peak}	r	0,36**	0,46**	0,45**	-0,1	0,02
EE _{total}	r	0,31**	0,41**	0,41**	0,07	0,17
HR _{avg}	r	0,37**	0,50**	0,48**	-0,13	-0,01

Pearsonin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE-TL, EPOC, TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC_{peak}, EE_{total} ja HR_{avg}. Spearmanin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE. ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$. Jarrutus 1 = $< 0 - < 1 \text{ m/s}^2$, Jarrutus 2 = $\leq 1 - < 2 \text{ m/s}^2$, Jarrutus 3 = $\leq 2 - < 3 \text{ m/s}^2$, Jarrutus 4 = $\geq 3 \text{ m/s}^2$. Yksittäisiin suorituksiin laskentaperusteena pidettiin vähintään 0,5 sekuntia alueella.

TAULUKKO 13. Jarrutusmatkan yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin (n = 55: sRPE-TL ja sRPE), (n = 118: TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}).

		Jarrutus 1 (m)	Jarrutus 2 (m)	Jarrutus 3 (m)	Jarrutus 4 (m)	Jarrutus 1–4 (m)
sRPE-TL	r	0,26	0,23	0,19	0,40**	0,80**
sRPE	r	0,20	0,25	0,28*	0,45**	0,44**
TRIMP	r	0,27**	0,32**	0,31**	0,37**	0,46**
TRIMP _{/min}	r	0,39**	0,44**	0,41**	0,38**	0,50**
EPOC	r	0,24**	0,31**	0,27**	0,24**	0,39**
EPOC _{peak}	r	0,33**	0,40**	0,40**	0,32**	0,38**
EE _{total}	r	0,14	0,21*	0,21*	0,31**	0,31**
HR _{avg}	r	0,41**	0,45**	0,44**	0,43**	0,50**

Pearsonin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE-TL, EPOC, TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC_{peak}, EE_{total} ja HR_{avg}. Spearmanin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE. ** = p < 0,01, * = p < 0,05. Jarrutus 1 = < 0 - < 1 m/s², Jarrutus 2 = ≤ 1 - < 2 m/s², Jarrutus 3 = ≤ 2 - < 3 m/s², Jarrutus 4 = ≥ 3 m/s². Yksittäisiin suorituksiin laskentaperusteena pidettiin vähintään 0,5 sekuntia alueella.

5.3 Sisäisen kuormituksen yhteydet ulkoisen kuormituksen intensiteettiin

Kun tutkitaan ulkoisen kuormituksen intensiteettiä jakamalla eri nopeusalueilla liikuttu matka ja kokonaismatka peliajalla, voidaan tutkia sitä, miten paljon pelaaja liikkui eri nopeusalueilla suhteessa peliaikaan. Tuloksista havaitaan, että sRPE-TL oli yhteydessä nopeimpien alueiden matkaan minuutissa ja keskinopeuteen. Yhteydet olivat kohtalaisia. Mielenkiintoinen havainto oli se, että havaitut yhteydet olivat käänteisiä, eli keskinopeuden ollessa suurempaa oli subjektiivinen arvio kuormituksesta pienempää. Myös enemmän korkealla nopeusalueella peliaikaan suhteutettuna liikkuneet pelaajat arvioivat kuormituksen keskimäärin pienemmäksi. Pelkkä sRPE ei ollut yhteydessä mihinkään alueeseen. Sykemuuttujien osalta vain EPOC oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä korkeimpien nopeusalueiden matkaan minuutissa. Keskinopeuden suhteen sykemuuttujat korreloivat hyvin heikosti ja tilastollisesti merkitsevästi.

TAULUKKO 14. Sisäisten kuormitusmuuttujien yhteydet ulkoisen kuormituksen intensiteettiä kuvaaviin kuormitusmuuttujiin (n = 55: sRPE-TL ja sRPE), (n = 118: TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}).

	Nopeusalue 1–3/min	Nopeusalue 4–6/min	Nopeusalue 5–6/min	Nopeusalue 6/min	Keskinopeus (matka/min)
sRPE-TL	0,23	-0,47**	-0,42**	0,33*	-0,47**
sRPE	-0,10	0,01	0,09	0,13	-0,05
TRIMP	0,14	-0,17	-0,12	-0,02	-0,12**
TRIMP _{/min}	0,12	-0,13	-0,09	-0,04	-0,12**
EPOC	0,18	-0,29**	-0,24**	0,13	-0,20**
EPOC _{peak}	0,08	-0,16	-0,13	0,07	-0,12**
EE _{total}	0,14	-0,16	-0,11	0,05	-0,13**
HR _{avg}	0,06	-0,08	-0,05	-0,03	-0,08*

Pearsonin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE-TL, EPOC, TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC_{peak}, EE_{total} ja HR_{avg}. Spearmanin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE. ** = p < 0,01, * = p < 0,05.

Ulkoisen kuormituksen intensiteettiä kuvaavia muuttujia ovat myös kiihdytys- ja jarrutusmatka minuutissa (taulukko 15). Kiihdytysten määrä metreinä eri kiihdytysalueilla peliaikaan suhteutettuna oli kohtalaisesti yhteydessä sRPE-TL:n kanssa kaikkien kiihdytysalueiden suhteen. Vain yhdistetty kiihdytysalue 3–4 oli yhteydessä sRPE:n kanssa. Sykemuuttujien osalta EPOC osoitti kohtalaista yhteyttä kiihdytysalue 3–4 kanssa. EPOC:n ja korkeimman kiihdytysalueen matkan minuutissa yhteys oli myös havaittavissa. Yhteys oli suhteellisen heikko, mutta tilastollisesti hyvin merkitsevä. Vahvin yhteys havaittiin sRPE-TL:n ja kiihdytysalue 3–4 välillä ($r = 0,42$). Kokonaiskiihdytysmatka minuutissa oli yhteydessä vain sRPE-TL:n kanssa.

TAULUKKO 15. Kiihdytysmatka eri kiihdytysalueilla minuutissa ja niiden yhteydet sisäisiin kuormituksen muuttujiin (n = 55: sRPE-TL ja sRPE), (n = 118: TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}).

		Kiihdytys	Kiihdytys	Kiihdytys	Kiihdytys	Kiihdytys	Kiihdytys	Kiihdytys
		1 (m/min)	2 (m/min)	3 (m/min)	4 (m/min)	1-2	3-4	1-4
						(m/min)	(m/min)	(m/min)
sRPE-TL	r	0,37**	0,37**	0,34*	0,39**	0,34*	0,42**	0,37**
sRPE	r	-0,13	0,08	0,11	0,19	0,26	0,33*	-0,40
TRIMP	r	-0,04	-0,05	-0,06	0,12	0,15	0,20*	-0,02
TRIMP _{/min}	r	-0,06	-0,06	-0,07	0,09	0,23*	0,20*	-0,04
EPOC	r	0,10	0,09	0,07	0,26**	0,20*	0,34**	0,13
EPOC _{peak}	r	0,05	0,05	0,05	0,14	0,26**	0,22**	0,07
EE _{total}	r	0,01	-0,01	-0,03	0,16	0,09	0,21*	0,04
HR _{avg}	r	-0,05	-0,05	-0,06	0,04	0,26**	0,15	-0,04

Pearsonin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE-TL, EPOC, TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC_{peak}, EE_{total} ja HR_{avg}. Spearmanin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE. ** = p < 0,01, * = p < 0,05. Kiihdytys 1 = > 0 - < 1 m/s², Kiihdytys 2 = ≥ 1 - < 2 m/s², Kiihdytys 3 = ≥ 2 - < 3 m/s², Kiihdytys 4 = ≥ 3 m/s². Yksittäisiin suorituksiin laskentaperusteena pidettiin vähintään 0,5 sekuntia alueella.

Kokonaisjarrutusmatka peliminuuttia kohden oli yhteydessä hyvin vahvasti sRPE-TL:n kanssa (r = 0,80). Myös kaikki muut sisäisen kuormituksen muuttujat korreloivat kohtalaisesti tai heikosti kokonaisjarrutusmatkan kanssa. Mielenkiintoinen havainto oli, että korkeimman intensiteetin jarrutusmatka minuutissa oli yhteydessä vain sRPE-TL:n kanssa ja yhteys oli käännteinen. Kahden ylimmän jarrutusmatkan yhdistetyn alueen (Jarrutus 3–4 minuutissa) suhteen yhteydessä olivat sRPE ja sRPE-TL melko suuresti. Sykemuuttujien osalta yhteydet kahden korkeimman intensiteetin jarrutusmatkoihin minuutissa olivat kohtalaisia. (Taulukko 16).

Yhteenvetona aikaan suhteutetuista korkean intensiteetin kiihdytyksistä, jarrutuksista ja matkasta voidaan sanoa, että subjektiivisesti arvioitu kuormitus vaikuttaisi olevan kauttaaltaan hieman enemmän yhteydessä kuin sykkeen avulla mitattu kuormitus. Korkeimpaan

intensiteettiin sRPE ja sRPE-TL vaikuttaisivat olevan myös paremmin yhteydessä. Keskinopeuden käänteinen ja melko vahva yhteys pelaajan kokonaiskuormittumisen (sRPE-TL) välillä oli mielenkiintoinen havainto. Aikaan suhteutettuna kaikilla alueilla enemmän kiihdyttäneet ja jarruttaneet pelaajat kokivat keskimäärin enemmän subjektiivista kuormitusta. Kiihdytysten välillä yhteys oli kohtalainen ja jarrutusten välillä hyvin suuri. Korkeimman intensiteetin jarrutusten suhteen yhteys oli tosin käänteinen, joskin vain kohtalaisen vahva.

Kaikkien raportoitujen tulosten kohdalla tarkasteltiin myös hajontakuvioita, joiden avulla poistettiin selvästi virheelliset havainnot. Lisäksi hajontakuvioita käytettiin hyväksi pohdintaosiossa ja tutkimustuloksien johtopäätösten teossa. Hajontakuvioita ei niiden suuren määrän vuoksi tässä tutkimuksessa raportoida, mutta lukija voi halutessaan pyytää niitä kirjoittajalta.

TAULUKKO 16. Jarrutusmatka eri jarrutusalueilla minuutissa ja niiden yhteydet sisäisiin kuormituksen muuttujiin (n = 55: sRPE-TL ja sRPE), (n = 118: TRIMP, TRIMP/min, EPOC, EPOC_{peak}, HR_{avg} ja EE_{total}).

		Jarrutus 1 (m/min)	Jarrutus 2 (m/min)	Jarrutus 3 (m/min)	Jarrutus 4 (m/min)	Jarrutus 1-2 (m/min)	Jarrutus 3-4 (m/min)	Jarrutus 1-4 (m/min)
sRPE-TL	r	0,37**	0,36**	0,36**	-0,34*	0,43**	0,57**	0,80**
sRPE	r	-0,14	0,01	0,09	0,15	0,30*	0,49**	0,42**
TRIMP	r	-0,05	-0,04	-0,03	-0,11	0,17	0,26**	0,43**
TRIMP _{/min}	r	-0,07	-0,06	-0,05	-0,13	0,24**	0,26**	0,46**
EPOC	r	0,09	0,11	0,12	0,00	0,24**	0,26**	0,38**
EPOC _{peak}	r	0,05	0,06	0,07	-0,01	0,27**	0,29**	0,36**
EE _{total}	r	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,11	0,20**	0,28**
HR _{avg}	r	-0,05	-0,05	-0,05	-0,11	0,27**	0,28**	0,46**

Pearsonin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE-TL, EPOC, TRIMP, TRIMP_{/min}, EPOC_{peak}, EE_{total} ja HR_{avg}. Spearmanin korrelaatio (kaksisuuntainen): sRPE. ** = p < 0,01, * = p < 0,05. Jarrutus 1 = < 0 - < 1 m/s², Jarrutus 2 = ≤ 1 - < 2 m/s², Jarrutus 3 = ≤ 2 - < 3 m/s², Jarrutus 4 = ≥ 3 m/s². Yksittäisiin suorituksiin laskentaperusteena pidettiin vähintään 0,5 sekuntia alueella.

6 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhteyksiä sisäisen ja ulkoisen kuormituksen välillä jääkiekon peleissä. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia subjektiivisen kuormituksen ja sykkeen perusteella laskettujen kuormitusmuuttujien välisiä yhteyksiä ja arvioida niitä ulkoisen kuormituksen perusteella. Subjektiivinen kuormitus, sRPE-TL, ja TRIMP olivat yhteydessä toisiinsa melko vahvasti ja pelkkä sRPE ja TRIMP kohtalaisesti. Subjektiivisesti arvioitu kuormitus korreloi vahvemmin kokonaismatkan kanssa kuin TRIMP. Vain subjektiivisesti arvioitu kuormitus oli yhteydessä kiihdytysten sekä jarrutusten kokonaiskappalemäärään ja korkeimman intensiteetin kiihdytyksiin ja jarrutuksiin. Hyvin suuri yhteys havaittiin kokonaisjarrutusmatkan ja sRPE-TL:n välillä. Keskinopeuden ja sRPE-TL:n välillä havaittiin melko vahva käänteinen yhteys. Korkean intensiteetin (> 15 km/h) nopeusalueella kuljettu matka minuutissa korreloi käänteisesti ja melko vahvasti sRPE-TL:n ja kohtalaisesti EPOC:n välillä. Kokonaisjarrutusmatka minuutissa korreloi hyvin vahvasti sRPE-TL:n kanssa.

6.1 Sisäisten kuormitusmuuttujien väliset yhteydet

Subjektiivisesti arvioitu kuormitus ja sykkeen avulla mitattu sisäinen kuormitus olivat yhteydessä toisiinsa kohtalaisesti tai melko hyvin. TRIMP:n ja sRPE-TL:n välillä havaittiin melko suuri positiivinen yhteys ($r = 0,60$; $p < 0,001$). Tämän tuloksen perusteella subjektiivisesti arvioitu kokonaiskuormitusta kuvaava arvo sRPE-TL ja sykkeen avulla laskettu kokonaiskuormituksen arvo, ”rasituskertymä” TRIMP, voivat olla kummatkin toimivia tapoja kuvata pelaajan kokonaiskuormittumista jääkiekon peleissä. Havaittu yhteys on kuitenkin pienempi kuin aikaisemmissa intervallityyppisiä joukkuelajeja tarkastelleissa tutkimuksissa, joissa TRIMP:n ja subjektiivisesti arvioitun kuormituksen yhteys on havaittu selkeämpiä ja vahvempia yhteyksiä: korrelaatioiden suuruus on ollut keskimäärin $r = 0,79$; 90 % CI 0,74 – 0,83 (McLaren ym. 2018), $r = 0,88$ (Lupo ym. 2014) ja $r = 0,71$ (Impellizzeri ym. 2004) sekä muissa intervallityyppisissä lajeissa ja kuormituksissa $r = 0,68$ (Haddad ym. 2011).

Haddad ym. (2011) mukaan syke ei ole hyvä kuormituksen mittari korkeaintensiteettisessä kuormituksessa, missä anaerobisen energiantuoton rooli on suurempi. Tällöin lisääntynyt sisäinen kuormitus ei näy sykkeessä, mutta subjektiivisesti arvioitussa kuormituksen arvossa se näkyy. He korostavat sitä, että myös monet muut tekijät vaikuttavat kuormittumisen

tunteeseen erityisesti korkeaintensiteettisessä kuormituksessa, kuten metabolinen asidoosi, katekolamiinien erittyminen ja kehon lämpötilan nousu. Kuten Lignellin ym. (2018) ja Brocherien ym. (2018) tutkimukset osoittavat, jääkiekko on luonteeltaan hyvin korkeaintensiteettinen laji ja se on lisäksi kehittynyt nopeampaan suuntaan koko ajan. Korkean intensiteetin suoritukset ovat yleensä hyvin lyhyitä ja pelikatkot sekä vaihtojen väliset tauot ja erätauot tekevät lajista hyvin intervallityyppisen. Voikin olla, että tässä tutkimuksessa havaitut muita joukkuelajeja pienemmät yhteydet subjektiivisesti arvioidun kokonaiskuormittumisen ja sykkeen avulla mitatun rasituskertymän TRIMP:n välillä johtuvat jääkiekon suhteellisesti suuremmasta korkean intensiteetin kuormituksesta verrattuna muihin joukkuepallolajeihin.

Kuten aikaisemmissakin tutkimuksissa on tuotu hyvin esille, ei ole olemassa yhtä ainoaa toimivaa tapaa mitata kuormitusta. Kuormituksen mittaaminen tulisi olla aina myös kuormitusspesifiä. Erityisesti sisäisen kuormituksen mittaaminen on joissain tapauksissa haastavaa. (McLaren ym. 2018; Vanrenterghem ym. 2017; Cardinale & Varley 2017). Sen takia lajiin ja kuormituksen tyyppiin sopivia sisäisen kuormituksen mittareita tulisikin tutkia ja arvioida niiden toimivuutta ja luotettavuutta. Sisältövaliditeettia, *content validity*, pidetään hyvin tärkeänä validiteetin osana. Se tarkoittaa sitä, kuinka hyvin ja laajasti mittari mittaa haluttua käsitettä. Jos mittari mittaa esimerkiksi vain osaa käsitteestä, sisältövaliditeetti ei ole tällöin hyvä (Robertson ym. 2017). Lisäksi Bakerin ym. (1994) mukaisesti mittaustuloksien välisen varianssin tulisi olla vähintään 50 %, jotta mittareiden voidaan sanoa kuvaavan samaa ilmiötä. Korrelaatioiden suuruuden tulisi olla siten vähintään 0,71. Voidaankin sanoa, että subjektiivisesti arvioitu kuormitus ja sykkeen perusteella mitattu kuormitus kuvaavat eri asioita jääkiekon pelikuormituksessa. Todennäköisesti subjektiiviseen kuormituksen arvioon sisältyy enemmän informaatiota, toisin sanoen se on globaalimpi kuormituksen mittari. Sykemuuttujat mittaavat luonnollisesti taas tarkemmin ja nimenomaisesti elimistön kardiovaskulaarisia vasteita kuormitukseen. Kuten Vanrenterghem ym. (2017) hyvin tuovat esille, kuormituksen mittaamisessa olisi hyvä pystyä mittaamaan myös ns. biomekaanista kuormitusta. Yksi tapa arvioida sisäisen kuormituksen mittausten menetelmien validiteettia on verrata niiden antamaa tietoa ulkoiseen kuormitukseen.

6.2 Jääkiekon Liigan pelien ulkoinen kuormitus

Taulukossa 5 on kuvattu keskimääräisiä arvoja eri ulkoisen kuormituksen muuttujille. Taulukosta nähdään, että keskimääräinen kokonaismatka oli 3880 metriä, joka on vähemmän

kuin Lignellin ym. (2018) tutkimassa NHL:n pelissä, jossa kokonaismatka oli 4606 ± 219 metriä. Tämä Lignellin ym. (2018) tutkimuksen peli tosin meni jatkoerään, joten tulokset eivät ole vertailukelpoisia tämän tutkimuksen tuloksiin. Brocherie ym. (2018) tutkimuksessa pelaajan liikkuma kokonaismatka oli 4441 ± 972 metriä. Tässäkin tutkimuksessa tutkittiin vain yhden maajoukkueen kansainvälistä peliä yhteensä kymmenen pelaajan osalta, joten ei voida varmaksi sanoa, onko SM-liigassa pelin kokonaismatka pienempää kuin NHL:ssä tai maajoukkuepeleissä. Tässä tutkimuksessa havaittu pelaajien keskinopeus (14,7 km/h) oli hieman pienempää kuin Brocherien ym. (2018) tutkimuksessa (16,6 km/h). Keskimääräinen peliaika Lignellin ym. (2018) tutkimuksen NHL-pelaajilla oli kauden aikana $16,5 \pm 0,9$ minuuttia, Brocherien ym. (2018) tutkimuksen pelissä $16,1 \pm 3,6$ minuuttia ja tässä tutkimuksessa $16,0 \pm 4,0$ minuuttia. Yhden vaihdon tehokas peliaika oli tässä tutkimuksessa $43,0 \pm 5,0$ sekuntia ja Brocherien ym. (2018) tutkimuksessa $44,0 \pm 4,1$ sekuntia.

Luistelumatka eri nopeusalueilla oli samansuuntaista Lignellin ym. (2018) NHL-peliin verrattaessa. Korkeimman nopeusalueen (> 25 km/h) matkaa kertyi tässä tutkimuksessa keskimäärin 447 ± 19 metriä ottelua kohden, kun Lignellin ym. (2018) tutkimuksessa korkeimmalla nopeusalueella (> 24 km/h) pelaajat liikkivat keskimäärin 484 ± 34 metriä. Tässä tutkimuksessa peliaikaan suhteutettu liikkuminen korkeimmilla nopeusalueilla on myös esitetty taulukossa 5. Lignellin ym. (2018) tutkimuksessa pelaaja liikkui keskimäärin 119 ± 8 metriä yhtä peliminuuttia kohden korkeaintensiteettisellä alueella (> 17 km/h) ja 31 ± 3 metriä minuutissa sprinttialueella (> 24 km/h). Tässä tutkimuksessa yli 15 km/h nopeusalueella (alue 4-6) pelaaja liikkui keskimäärin 149 ± 3 metriä minuutissa ja sprinttialueella (alue 6, > 25 km/h) pelaaja liikkui 30 ± 2 metriä minuutissa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella SM-liigapelissä pelaajan keskimääräinen liikkumisen määrä ajan suhteen korkeimmilla nopeusalueilla on saman suuntaista NHL-peliin verrattaessa.

Luistelu jakaantui eri nopeusalueille kauden aikaisissa peleissä kuvan 3 mukaisesti. Kuvasta havaitaan, että hyökkääjät liikkivat suhteellisesti suurimman matkan nopeusalueilla 4 ja 5 ja puolustajat nopeusalueilla 3 ja 4. Puolustajien kokonaismatka oli 7,4 % hyökkääjiä suurempi (4088 ± 44 metriä vs. 3784 ± 31 metriä), mikä on huomattavasti pienempi ero kuin Lignellin ym. (2018) tutkimuksessa (29 %, 5445 ± 337 metriä vs. 4237 ± 248 metriä). Voi olla, että pienempi ero johtuu siitä, että Lignellin ym. (2018) tutkimuksessa tutkittiin vain yhtä peliä ja tässä koko runkosarjan yhteensä 59 pelin keskiarvoja. Peliajan ero puolustajien ja hyökkääjien

välillä oli myös huomattavasti pienempi tässä tutkimuksessa (16 %, 17,8: ± 0,2 minuuttia vs. 14,9 ± 0,1 minuuttia) verrattuna Lignellin ym. (2018) tutkimukseen (47 %, 22,3 ± 1,6 minuuttia vs. 15,2 ± 0,9 minuuttia).

6.3 Ulkoisen kuormituksen määrän yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin

Kokonaismatkan yhteys sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Sisäisten ja ulkoisten kuormitusmuuttujien yhteyksiä tarkasteltaessa huomataan, että SRPE-TL:n ja kokonaismatkan välillä havaittiin selkein ja hyvin vahva lineaarinen riippuvuus ($r = 0,86$, $r^2 = 0,74$; $p < 0,001$). Tämän tuloksen perusteella kokonaisluistelumatka selitti tässä tutkimuksessa noin 74 % SRPE-TL:n arvojen vaihtelusta. Aikaisemmissa tutkimuksissa ja McLarenin ym. (2018) meta-analyysin perusteella on havaittu, että sRPE-TL ja kokonaismatkan korrelaatio pelinomaisessa kuormituksessa on ollut samansuuntaista kuin tässä tutkimuksessa havaittiin ($r = 0,82$; 90 % CI: 0,75-0,87). Pelkkä sRPE:n arvo ilman peliajalla kertomista korreloi myös kohtalaisesti kokonaismatkan kanssa ($r = 0,49$, $p < 0,001$), joten kokonaismatkan voidaan sanoa olevan iso tekijä pelaajan kokemasta pelin kokonaiskuormituksesta. Tämä on luonnollista jo senkin takia, että sRPE-TL:n laskeminen ottaa huomioon pelaajan. Kuitenkin pelkkä sRPE oli siis myös kohtalaisesti yhteydessä kokonaismatkan kanssa.

Sykemuuttujista TRIMP oli kohtalaisesti yhteydessä kokonaismatkan kanssa ($r = 0,45$, $r^2 = 0,20$, $p < 0,001$). Tutkimustulos on hyvin mielenkiintoinen. Aikaisemmissa tutkimuksissa TRIMP on ollut yhteydessä kokonaismatkaan vahvemmin. Koska TRIMP koostuu sykkeestä eri sykealueilla ja korkeimpia sykearvoja painotetaan laskukaavassa, tulisi sen siis huomioida myös korkeamman intensiteetin suoritukset. Koska syke nousee ja reagoi suhteellisen hitaasti kuormituksen intensiteetin vaihteluihin, voi tämä olla selittävä tekijä sille, miksi jääkiekon pelien kuormituksessa TRIMP oli heikommin yhteydessä kokonaismatkaan kuin aikaisemmissa tutkimuksissa ja maalla tapahtuvissa joukkuepallolajeissa. McLarenin ym. (2018) meta-analyysin mukaan kokonaismatkan ja TRIMP:n yhteys on ollut intervallityyppisissä maalla tapahtuvissa joukkuelajeissa huomattavasti suurempi ($r = 0,74$, 90 % CI 0,56–0,86). Koska kokonaismatkan ja TRIMP:n välillä ei havaittu yhtä suurta yhteyttä kuin aikaisemmissa tutkimuksissa, voidaan ajatella, että tämä heikko yhteys voisi selittyä siis ulkoisen kuormituksen intensiteetin perusteella, kuten sisäisten kuormitusmuuttujien yhteyksiä tutkittaessa arveltiin. Eri pelaajat kuormittuvat siis eri tavalla, vaikka kokonaismatka eli

kuormituksen määrä olisi sama. Tämä olisi hyvin luonnollista ja kertoisi todennäköisistä yksilöllisistä eroista. Kuormituksen intensiteettiä voidaan arvioida ulkoisten kuormituksen muuttujien perusteella, joten kokonaismatkan ja TRIMP:n välinen aikaisempiin tutkimuksiin verrattain heikompi yhteys tulisi selittyä esimerkiksi korkeaintensiteettisen luistelumatkan, kiihdytysten ja jarrutusten perusteella. Kokonaismatkan kasvu selitti TRIMP:n arvojen kasvusta noin 20 %, joten suuri osa tulisi selittyä muiden ulkoisen kuormituksen muuttujien avulla. Kuitenkaan tätä ei tutkimustuloksissa havaittu, vaan näyttäisi siltä, että TRIMP ei huomioi jääkiekossa tapahtuvia lyhytkestoisia korkean intensiteetin kuormitustekijöitä riittävän hyvällä tarkkuudella. Sykkeen perusteella lasketut kuormitusmuuttujat olivat yhteydessä lähinnä matalaa intensiteettiä kuvaaviin ulkoisen kuormituksen muuttujiin.

Peliajan sekä vaihtojen määrän ja pituuden yhteys sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Peliaika korreloi luonnollisesti hyvin vahvasti sRPE-TL:n kanssa ($r = 0,75$, $p < 0,001$). Tämä johtuu siitä, että sRPE-TL:n laskemisessa subjektiivinen arvio kuormittumisesta kerrotaan peliajalla. Peliaika selitti sRPE-TL:n arvojen varianssista tässä tutkimuksessa siis 56 % ($r^2 = 0,56$). Koska jäljelle jäävä 44 % selittyy muiden tekijöiden johdosta, voidaan ajatella, että kokonaiskuormituksen määrää mittaavan ajan eli tässä tapauksessa peliajan lisäksi hyvin paljon on merkitystä sillä, miten korkeaintensiteettistä kuormitus on. Edelleen tätä voidaan arvioida ulkoisen kuormituksen intensiteettiä kuvastavien muuttujien avulla, kuten korkeaintensiteettisen matkan, kiihdytysten ja jarrutusten määrää sekä tiheyttä tutkimalla.

Korkeaintensiteettisen matkan yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Sekä sRPE että sRPE-TL olivat yhteydessä kovavauhtiseen matkaan. Pelkkä sRPE korreloi melko hyvin nopeusalueilla viisi ja kuusi (> 20 km/h) kuljetun matkan kanssa ($r = 0,52$; $p < 0,01$). Tämä yhteys oli suurempi, kuin peliajalla kerrotun SRPE-TL:n yhteys kahteen korkeimpaan nopeusalueeseen ($r = 0,31$; $p < 0,01$), joten tämän perusteella voitaisiin ajatella, että sRPE kuvastaa kuormituksen intensiteettiä paremmin kuin sRPE-TL. Subjektiivisista kuormituksen arvoista vain sRPE oli lisäksi yhteydessä korkeimman nopeusalueen (> 25 km/h) matkan kanssa. Tämä tukee aikaisempien tutkimusten ajatusta siitä, että sRPE:tä käytetään kuormituksen intensiteetin kuvaajana ja sRPE-TL:a kokonaiskuormituksen (intensiteetti \times määrä = Training Load) kuvaajana. (Haddad ym. 2014a). McLarenin ym. (2018) meta-analyysin mukainen todella korkeaintensiteettinen liikkuminen ja sRPE-TL ovat olleet lisäksi

aikaisemmissa tutkimuksissa hyvin saman suuruisesti yhteydessä ($r = 0,25$; 90 % CI 0,03 – 0,45).

Nopeusalueella 4 – 6 liikutun matkan ja sRPE-TL:n korrelaatio oli 0,60 ($p < 0,01$). McLarenin ym. (2018) meta-analyysissä havaittu yhteys kovavauhtisen matkan ja sRPE-TL:n kanssa on ollut hieman pienempää ($r = 0,47$, 90 % CI 0,32–0,59). Toisaalta esimerkiksi Weaving ym. (2014) tutkimuksessa rugbyharjoittelun pienpeleissä sRPE-TL:n ja kovavauhtisen matkan yhteys (> 15 km/h) oli jonkin verran suurempaa kuin tässä tutkimuksessa ($r = 0,75$; 95 % CI: 0,35–0,66). McLarenin ym. (2018) meta-analyysissä tutkittiin mm. jalkapalloa ja australialaista jalkapalloa, jossa korkeaintensiteettisten suoritusten osuus on rugbya ja jääkiekkoa pienempää, joka voi osaltaan selittää tämän tutkimuksen suuremman yhteyden. Pelkän sRPE:n ja korkeaintensiteettisen liikkumisen määrän yhteys on ollut aikaisemmissa tutkimuksissa täysin saman suuruista ($r = 0,51$; 90 % CI 0,08 – 0,78) kuin tässä tutkimuksessa havaittu ($r = 0,51$; $p < 0,01$) (McLaren ym. 2018). Sykkeen avulla mitatut kuormituksen muuttujat olivat hyvin tasaisesti yhteydessä kaikkien nopeusalueiden matkan kanssa. Aivan korkeimman nopeusalueen (> 25 km/h) matkan kanssa yhteydessä olivat sykemuuttujista kuitenkin vain TRIMP, keskisyke ja TRIMP_{min}. Nopeusalueella 4–6 liikutun matkan kanssa sykemuuttujat olivat yhteydessä kohtalaisesti. Keskisyke ja TRIMP_{min} vaikuttivat olevan eniten yhteydessä kovavauhtiseen matkaan.

Sykemuuttujien ja eri nopeusalueilla kuljetun matkan hieman heikommat yhteydet verrattuna subjektiivisiin kuormitusmuuttujiin kertoisivat siitä, että sykkeen perusteella on haastavaa mitata korkean intensiteetin määrää jääkiekon peleissä. Yksi mahdollinen selitys tälle voi olla se, että jääkiekon peleissä korkeaintensiteettiset suoritukset ovat yleensä hyvin lyhyitä, noin 2,0–3,5 sekuntia (Brocherie ym. 2018). Yhden vaihdon aikana näitä suorituksia tehdään noin 5–7 kappaletta (Brocherie ym. 2018), joiden välillä on matalamman intensiteetin liikkumista. Pelikatkoja on tyypillisesti yhdessä vaihdossa 2–3 kappaletta, joiden aikana syke laskee ja välittömät energianlähteet pääsevät lisäksi palautumaan, ainakin osittain (Rhodes & Twist 1993), joten voi olla, että nämä toistetut, lähinnä anaerobista energiantuottoa vaativat sprinttisuoritukset eivät välttämättä näy riittävällä tarkkuudella sykedatan perusteella lasketussa kuormituksessa.

Kiihdytysten ja jarrutusten kappalemäärän yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Kiihdytysten ja jarrutusten absoluuttista kappalemäärää tarkastellessa huomataan, että subjektiivisesti arvioidulla kuormituksella oli taipumus olla yhteydessä korkeamman intensiteetin kiihdytysten määrään paremmin verrattuna sykemuuttujiin. Sykkeen avulla lasketut kuormitusmuuttajat olivat yhteydessä lähinnä alueiden 1–3 kiihdytysten kanssa. Voikin olla, että havaitut yhteydet kiihdytysten kappalemäärien suhteen matalammilla kiihdytysalueilla johtuvat moderoivasta tekijästä, kuten kokonaismatkasta. Kun kokonaismatka kasvaa, kasvaa luonnollisesti myös erilaisten tapahtumien määrä, kuten kiihdytysten ja jarrutusten kappalemäärä. Koska kokonaismatka kasvattaa sykemuuttujien avulla laskettua kuormitusta, kuten TRIMP:a, ovat alemman intensiteetin kiihdytys- ja jarrutusmäärät, erityisesti kappalemäärät, tämän takia yhteydessä sykemuuttujiin kohtalaisella vahvuudella. Tämä selittäisi myös sen, että sRPE-TL oli hyvin vahvasti yhteydessä alempien kiihdytysalueiden (1–3) kappalemäärän kanssa ($r = 0,70-0,84$), koska sRPE-TL ottaa laskukaavassaan huomioon peliajan. Mitä enemmän peliaikaa, sitä enemmän kiihdytyksiä ja jarrutuksia todennäköisesti pelaaja absoluuttisesti tekee. Tätä ajatusta tukee myös se, että pelkkä sRPE ei ollut yhteydessä kiihdytysalueiden 1–3 kappalemäärien kanssa, vaan pelkästään kuormittavimpien kiihdytysten kappalemäärän kanssa.

On todennäköistä, että tässä tutkimuksessa käytetty 0,5 sekunnin kriteeri kiihdytyksen tai jarrutuksen laskemiselle on vaikuttanut myös alempien kiihdytys- ja jarrutusalueiden kappalemäärien yhteyteen sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Näitä suhteellisen lyhyitä kiihdytyksiä ja jarrutuksia tai vauhdin hidastumisia pelaaja tekee todennäköisesti hyvin paljon. Tämä on myös nähtävissä tuloksista. Kahden matalimman alueen kiihdytyksiä pelaaja teki yhdessä pelissä keskimäärin 262 ± 67 (kiihdytysalue 1) ja 122 ± 31 (kiihdytysalue 2) kappaletta. Mielenkiintoista oli se, että kiihdytysalueen 4 kiihdytyksiä pelaaja teki enemmän kuin kiihdytysalueen 3 tai 2 kiihdytyksiä (159 ± 33 vs. 42 ± 13 vs. 122 ± 31). Tämä kertoo todennäköisesti siitä, että kun pelaaja tekee selvän kovatehoisen kiihdytyksen, kiihdytyksen teho on sen verran suuri, että se päättyy yleensä tapahtumaan yli 3 m/s^2 . Kaksi matalinta kiihdytysaluetta saattavat kuvata enemmän tasavauhtisempaa luistelua, jossa pelaajan vauhti hidastuu ja kasvaa luonnollisesti luistelun aikana ja joiden kiihdytykset ovat siis huomattavasti maltillisempia, enemmänkin vauhtia ylläpitäviä muutamia kovempia luistelupotkuja kuin selkeää kiihdyttämistä.

Kiihdytys- ja jarrutusmatkan yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Todennäköisesti kuormittavimpia kiihdytyksiä ja jarrutuksia ovat luonnollisesti korkeimman kiihdytys- tai jarrutusalueen ajallisesti ja matkallisesti pitkät kiihdytykset ja jarrutukset. Siksi onkin hyvä tutkia kiihdytysten ja jarrutusten määrää kappalemäärien lisäksi kiihdytysmatkan ja jarrutusmatkan avulla. Vain subjektiivisesti arvioitu kuormitus oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä kiihdytysalueen 4 matkan kanssa. Havaittujen yhteyksien suuruus oli kohtalainen: sRPE-TL:n kohdalla $r = 0,40$ ja pelkän sRPE:n kohdalla $r = 0,30$. Puolestaan korkeimman jarrutusalueen 4 jarrutusmatkaan olivat yhteydessä tasaisesti lähes kaikki sisäisen kuormituksen muuttujat, kohtalaisella vahvuudella. Mielenkiintoinen havainto oli kuitenkin se, että subjektiivisesti arvioitu kuormitus oli yhteydessä vain korkeimpien jarrutusalueiden 3 ja 4 matkaan ja kokonaisjarrutusmatkaan. Sykemuuttujat olivat yhteydessä tasaisesti kohtalaisella tai heikolla vahvuudella käytännössä kaikkien jarrutusalueiden ja kokonaisjarrutusmatkan kanssa. Tämä saattaisi kertoa aikaisemminkin mainitusta kokonaismatkan tai pelaajan moderoinnista vaikutuksesta, sillä mitä enemmän pelaaja pelaa ajallisesti ja liikkuu kokonaisuudessaan, sitä enemmän jarrutusmatkaa kertyy ylipäätään. Tämä saattaisi myös selittää sRPE-TL:n hyvin vahvan yhteyden ($r = 0,80$; $p < 0,01$) kokonaisjarrutusmatkan kanssa. Tiivistettynä näyttäisi siis siltä, että subjektiivisesti arvioitu kuormitus huomioi korkean intensiteetin kiihdytysten ja jarrutusten määrän sykkeen avulla arvioitua kuormitusta paremmin.

Aikaisemmissa tutkimuksissa kiihdytysten perusteella laskettu ”kiihdytyskuorma”, *accelerometer training load*, on ollut yhteydessä sRPE-TL:n kanssa ($r = 0,63$; 95 % CI: 0,54-0,70). (McLaren ym. 2018). Tämän tutkimuksen perusteella jääkiekon peleissä yhteys sRPE-TL:n ja sRPE:n sekä kiihdytysten ja jarrutusten määrien välillä on hieman pienempi, mutta samansuuntainen. Kiihdytysten kokonaiskappalemäärän ja sRPE-TL:n yhteys ($r = 0,50$; $p < 0,01$) oli linjassa aikaisemmissa tutkimuksissa käytetyn kiihdytyskuormaa kuvaavan muuttujan kanssa, mutta matalamman intensiteetin kiihdytyksiin yhteys oli tätä reilusti suurempaa ja korkeamman intensiteetin kiihdytyksiin hieman pienempää. Erot maalla tapahtuviin joukkuelajeihin voivat selittyä sillä, että luistellessa nopeus on liukumisen ansiosta helpompi säilyttää. Maalajeissa kiihdytykset ovat todennäköisemmin selkeämpiä ja niitä tapahtuu enemmän pysähtyneestä tilasta. Kiihdytykset tapahtuvat todennäköisesti useammin liikkeestä kuin paikaltaan jääkiekossa verrattaessa maalajeihin.

Datasta oli myös nähtävissä, että kiihdytys- ja jarrutusalueiden kappalemäärät eivät kasvaneet lineaarisesti alueen intensiteetin suhteen. Matalimman alueen kiihdytyksiä ja jarrutuksia oli eniten, mutta korkeimman alueen kiihdytyksiä ja jarrutuksia oli kappalemääräisesti enemmän, kuin toisen tai kolmannen alueen kiihdytyksiä ja jarrutuksia. Tämä kertoisi siitä, että jos pelaaja tekee kiihdytyksen tai jarrutuksen, se on yleensä selkeästi kovatehoinen tai sitten hyvin kevyt. Kiihdytys- ja jarrutusmatkat toisaalta kasvoivat lineaarisesti siten, että matalimman alueen matkaa pelaaja teki keskimäärin eniten ja määrä väheni tasaisesti korkeinta aluetta kohti. Tämä kertoisi taasen siitä, että vaikka pelaaja tekee korkeimman alueen kiihdytyksiä kappalemääräisesti eniten, ovat ne suhteellisen lyhyen kestoisia. Nämä seikat korostavat entisestään jääkiekon intervalliluonnetta.

Yhteenvetona sisäisten kuormitusmuuttujien yhteyksistä kiihdytysten kappalemääriin ja kiihdytysmatkoihin voidaan todeta, että subjektiivisesti arvioitu kuormitus vaikuttaisi olevan yhteydessä paremmin kuormittavimpien kiihdytysten kanssa kuin sykkeen avulla mitatut kuormituksen muuttujat. Peliajan huomioiva sRPE-TL oli sRPE:tä paremmin yhteydessä sekä kaikkien kiihdytysten määrään että korkeimman intensiteetin kiihdytysten määrään. Sykemuuttujista TRIMP_{min} ja keskisyke vaikuttivat huomioivan korkeamman intensiteetin kiihdytykset parhaiten, vaikka eivät olleetkaan yhteydessä kaikista korkeimman kiihdytysalueen kanssa. Kokonaiskiihdytysmatkan kanssa yhteydet olivat kuitenkin melko vahvoja.

6.4 Ulkoisen kuormituksen intensiteetin yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin

Mielenkiintoinen havainto oli, että intensiteettiä kuvaavat ulkoisen kuormituksen muuttujat olivat käänteisesti yhteydessä sisäisiin kuormituksen muuttujiin. Mitä suurempi oli sisäinen kuormitus, sitä pienempi oli keskimäärin hänen keskinopeutensa ja sitä vähemmän hän liikkui nopeimmilla nopeusalueilla ajan suhteen.

Keskinopeuden yhteys sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Keskinopeus oli yhteydessä sRPE-TL:n kanssa käänteisesti ($r = -0,47$; $p < 0,01$). Tämä käänteinen yhteys voi selittyä monella tavalla. Laskettaessa sRPE-TL:n arvoa subjektiivinen kuormittumisen arvio kerrotaan peliajalla, jolloin kokonaismatka luonnollisesti myös kasvaa. Koska kokonaismatkan ja peliajan kasvaessa voidaan olettaa myös väsymyksen lisääntyvän, voi tämä vaikuttaa havaittuun käänteiseen

yhteyteen. Mitä vähemmän pelaaja pelaa yhdessä pelissä, sitä pidemmät ovat myös tauot vaihtojen välissä ja sitä enemmän hänellä on aikaa palautua. Siksi hänellä saattaa olla parempi kyky tehdä korkeaintensiteettisiä suorituksia vaihdon aikana. Tulokset tukevat tätä päätelmää, sillä niiden perusteella havaittiin, että kokonaismatkan kasvaessa keskinopeudella oli taipumusta olla pienempi ($r = -0,20$). Toinen hyvin todennäköinen selittävä tekijä on lisäksi peliaika, sillä peliaika ja keskinopeus korreloivat keskenään hyvin samalla suuruudella kuin sRPE-TL ja keskinopeus ($r = -0,48$; $p < 0,001$ vs. $r = -0,47$; $p < 0,01$). Toinen mahdollinen selitys voi olla se, että sRPE-TL:n kasvaessa pelin kuormitus on ollut yksinkertaisesti raskaampaa, jolloin se on näkynyt pienempänä keskinopeutena. Tällöin sRPE-TL:n tulisi olla käänteisessä yhteydessä myös kuljettuun matkaan nopeimmilla nopeusalueilla ajan suhteen. Tulokset tukevat tätä päätelmää eli sRPE-TL kasvoi käänteisesti korkeimmilla nopeusalueilla kuljetun matkan ajan suhteen kanssa.

Eri nopeusalueilla kuljettu suhteellinen matka ja sen yhteys sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Matalilla nopeusalueilla kuljettu matka minuutissa ei ollut yhteydessä sisäisiin kuormituksen muuttujiin, mutta korkeimmilla nopeusalueilla kuljettu matka ajan suhteen oli käänteisesti yhteydessä sRPE-TL:n ja EPOC:n kanssa. EPOC:n ja matkan alueella 4–6_{min} (yli 15 km/h) välinen yhteys oli suhteellisen heikko ($r = -0,29$; $p < 0,01$) ja sRPE-TL:n suhteen yhteys oli kohtalainen ($r = -0,47$; $p < 0,01$). Lisäksi vain sRPE-TL oli yhteydessä aivan korkeimman, alueen 6 matkaan minuutissa ($r = 0,33$; $p < 0,05$). Pelkkä sRPE tai muut sykemuuttujat eivät olleet yhteydessä eri nopeusalueilla kuljettuun matkaan ajan suhteen. Tämä tulos poikkeaa aikaisemmasta rugbyharjoitusten sisäistä ja ulkoista kuormitusta tutkineesta tutkimuksesta, jossa sRPE oli suorassa suhteessa korkean intensiteetin juoksumäärään minuutissa. (Lovell ym. 2013). Lovellin ym. (2013) tutkimuksessa myös keskinopeus ja sRPE olivat positiivisesti yhteydessä toisiinsa, toisin kuin tässä tutkimuksessa, jossa sRPE ja keskinopeus eivät olleet yhteydessä toisiinsa ja sRPE-TL:n ja keskinopeuden välillä havaittiin käänteinen yhteys. Aikaisemmissa tutkimuksissa keskisyke on lisäksi ollut yhteydessä sprinttien määrään, sprinttimatkaan ja keskinopeuteen muokatussa versiossa maahockeysta eli Hockey 5:ssa (Konarski ym. 2019).

Tässä tutkimuksessa ei siis havaittu yhteyttä sisäisten kuormituksen muuttujien ja nopeusalueilla kuljetun matkassa ajan suhteen yhtä vahvasti kuin aikaisemmissa tutkimuksissa. Voi olla, että pelin kuormitus on intensiteetiltään aina hyvin korkeaa, jonka johdosta eroja siinä, kuinka paljon korkean nopeusalueen matkaa minuutissa pelaaja tekee, ei juurikaan pelaajien

välillä ole. Toisin sanoen, silloin absoluuttinen peliaika eli ulkoisen kuormituksen määrä on huomattavasti määrittävämpi tekijä kuormituksessa. Tätä tukisivat myös tämän tutkimuksen tulokset, sillä kokonaismatkan ja peliajan suhteen havaittiin hyvin suuri yhteys subjektiivisesti arvioitun kuormituksen ja melko suuri yhteys TRIMP:n välillä. Session-RPE:n vaihtelu kuvastaa enemmän intensiteettiä, kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on esitetty ja peliaika määrää (Haddad ym. 2014a). Tämän lisäksi pelaajan kokema pelin intensiteetti, sRPE:n arvot, ovat tuloksista päätellen vähemmän vaihtelevia (keskihajonta 19 %) kuin sRPE-TL:n arvot (keskihajonta 35 %). Voidaankin siis sanoa, että peliaika eli kuormituksen määrä on pääsääntöisesti määrittävämpi tekijä sisäisessä kuormittumisessa verrattuna kuormituksen intensiteettiin, todennäköisesti koska intensiteetti on peleissä enemmän vakio kuin harjoituksissa. Peliaika lisäksi vaikutti eri nopeusalueilla kuljettuun matkaan ajan suhteen. Peliajan ja Matka 1–3/min välinen yhteys oli $r = 0,44$; $p < 0,001$ ja peliajan ja Matka 4–6/min välinen yhteys oli $r = -0,55$; $p < 0,001$. Absoluuttiseen matkaan nopeusalueella 4–6 peliaika korreloi suorassa suhteessa ($r = 0,37$; $p < 0,01$). Tulosten perusteella voidaankin päätellä, että peliajan kasvaessa pelaaja liikkui absoluuttisesti enemmän, mutta suhteellisesti vähemmän korkeammilla nopeusalueilla. Sen lisäksi mitä enemmän hän absoluuttisesti liikkui korkeimmilla nopeusalueilla, sitä suurempi oli hänen kuormitus. Mitä enemmän hän taas suhteellisesti liikkui korkeimmilla nopeusalueilla, sitä pienempää oli hänen sisäinen kuormituksensa.

Kiihdytysmatkat eri alueilla peliaikaan suhteutettuna ja niiden yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Peliaikaan suhteutettu kiihdytysmatka oli kohtalaisesti ($r = 0,34$ – $0,42$) yhteydessä kaikilla alueilla sRPE-TL:n kanssa. Pelkkä sRPE oli yhteydessä vain kahden korkeimman alueen kiihdytysmatkaan minuutissa, eli alueen 3–4 kiihdytysmatkaan ajan suhteen. Yhteys oli kohtalainen ($r = 0,33$; $p < 0,05$). Korkeimman alueen (kiihdytysalue 4) kiihdytysmatkan minuutissa suhteen yhteydessä olivat sekä sRPE-TL ($r = 0,39$; $p < 0,01$) että EPOC ($r = 0,26$; $p < 0,05$). Kokonaiskiihdytysmatka ajan suhteen korreloi vain sRPE-TL:n kanssa, joskin vain kohtalaisesti ($r = 0,37$; $p < 0,01$). Kiihdytysten määrä minuutissa oli siis vahvimmin yhteydessä subjektiiviseen arvioon kuormittumisesta. Pelkkä sRPE vaikutti huomioivan vain kahden korkeimman kiihdytysalueen kiihdytykset, toisin kuin peliajan huomioiva sRPE-TL, joka oli yhteydessä paremmin kaikkien alueiden sekä myös korkeimman intensiteetin kiihdytysalueen kanssa. Tämä oli mielenkiintoista, sillä kyseessä on nimenomaan ajan suhteen tapahtuva kiihdytysten määrä, eli kiihdytysten tiheys. Absoluuttisella määrällä ei siten tulisi olla vaikutusta. Sykemuuttujista EPOC vaikutti olevan parhaiten yhteydessä

korkeimman intensiteetin kiihdytyksiin. Aikaisemmissa tutkimuksissa ollaan havaittu kiihdytyskuorman minuutissa olevan yhteydessä hyvin saman suuntaisesti subjektiivisen kuormituksen arvion (sRPE) kanssa kuin tässä tutkimuksessa ($r = 0,25$; 90 % CI 0,10–0,40) (McLaren ym. 2018).

Jarrutusmatkat eri alueilla peliaikaan suhteutettuna ja niiden yhteydet sisäisiin kuormitusmuuttujiin. Kokonaisjarrutusmatka oli hyvin vahvasti yhteydessä sRPE-TL:n kanssa ($r = 0,80$; $p < 0,01$). Kaikki muut sisäisen kuormituksen muuttujat korreloivat kokonaisjarrutusmatkan kanssa myös kohtalaisesti. Tämä on mielenkiintoinen tulos, sillä aikaan suhteutettu jarrutusmatka kuvastaa pelin ulkoista intensiteettiä, eikä niinkään kokonaiskuormaa. Siten kokonaiskuormittumista kuvaava sRPE-TL:n vahvempi yhteys verrattaessa pelkkään sRPE:hen on erikoista. Tämä tulos ei tue ajatusta siitä, että sRPE kuvaisi enemmän nimenomaan kuormituksen intensiteettiä ja sRPE-TL taas kokonaiskuormittumista. Lisäksi sRPE-TL oli ainoana sisäisen kuormituksen muuttujana yhteydessä kaikista korkeimman alueen kiihdytysten eli kiihdytysalueen 4 matkaan minuutissa kanssa. Tämä yhteys oli käänteinen, eli sRPE-TL:n kasvaessa pelaajalla oli taipumus tehdä vähemmän korkeimman alueen jarruttamista minuutissa ($r = -0,34$; $p < 0,05$). Kahden kuormittavimman jarrutusalueen kanssa vahvimmin yhteydessä oli subjektiivisesti arvioitu kuormitus (sRPE-TL: $r = 0,57$; $p < 0,01$, sRPE: $r = 0,49$, $p < 0,01$). Sykemuuttujien yhteydet jarrutusalueiden 3 – 4 kanssa olivat heikkoja, mutta tilastollisesti merkitseviä ($r = 0,20–0,29$; $p < 0,01$).

Subjektiivinen kuormituksen arvio vaikuttaisi kuvaavan täten paremmin korkean intensiteetin jarrutuksia ja kiihdytyksiä. Kokonaisjarrutusmatka minuutissa oli hyvin vahvassa yhteydessä sRPE-TL:n kanssa sekä kohtalaisessa yhteydessä kaikkien muiden sisäisten kuormitusmuuttujien kanssa. Koska sRPE-TL:n ja kokonaisjarrutusmatkan minuuttia kohden yhteys oli hyvin vahva, voitaisiin myös päätellä, että jarrutukset ovat suuri osa pelaajan ulkoista kuormittumista jääkiekon peleissä. Jarrutusten aiheuttama kuormitus ja vahvat yhteydet subjektiiviseen kuormituksen arvioon voivat johtua myös siitä, että jarrutusta seuraa usein myös suunnanmuutos ja kiihdytys, jolloin pelaaja joutuu kiihdyttämään pysähtyneestä tilasta tai hitaasta vauhdista. Massan hitauden takia nopeuden kasvattaminen on kuormittavampaa pysähtyneestä tilasta kuin liikkeestä. Lisäksi eksentrisen lihastyö jarrutusten aikana lisää energiankulutusta ja suunnanmuutoksia sisältävä intervallityyppinen liikkuminen on havaittu

olevan kuormittavampaa kuin intervallityyppinen liikkuminen, joka ei sisällä suunnanmuutoksia (Dellal ym. 2010). Dellalin ym. (2010) tutkimuksessa sykereaktio oli erilainen ja suurempi suunnanmuutoksia sisältävässä verrattaessa ilman suunnanmuutoksia tehtävään, 30 sekunnin mittaisen työ-lepojakson sisältävään intervallikuormitukseen. Kuitenkin lyhyemmissä työ-lepojaksoiltaan 10 ja 15 sekunnin intervallikuormituksissa suunnanmuutokset eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkitsevästi sykereaktioon. Subjektiiivinen arvio kuormittumisesta sen sijaan erosi myös lyhyemmissä intervallikuormituksissa suunnanmuutosten sisältävien ja suoran juoksun välillä. Jääkiekon korkeaintensiteettisten työjaksojen pituuksien ollessa hyvin lyhyitä, tässä tutkimuksessa havaittu suurempi yhteys subjektiivisella kuormittumisella jarrutusten sekä kiihdytysten suhteen verrattuna sykemuuttujiin tukee myös aikaisempaa tutkimusta.

6.5 Tutkimuksen virhelähteet

Kiihdytysten määrää minuutissa, nopeusalueiden määrää minuutissa ja jarrutusten määrää minuutissa olisi voinut tutkia myös koko pelin keston suhteutettuna, eikä vain peliaikaan, koska pienemällä peliajalla pelaavilla on enemmän taukoja. Sykemittauksen tuloksia analysoitiin pelin alkamishetkestä siihen asti, kunnes valmentaja sammutti laitteen. Tämä on saattanut vaikuttaa jonkin verran siihen, miksi TRIMP ja muut sykkeeseen perustuvat sisäisen kuormituksen muuttujat olivat niin vähän yhteydessä ulkoisiin kuormitusmuuttujiin sekä subjektiiviseen arvioon kuormittumisesta. Luonnollisesti nimenomaan pelikentällä tapahtuva kuormitus on suurimmassa osassa pelaajan kuormittumisesta. Nyt sykemittaus oli käynnissä pelin alusta sen loppuun asti, eli erätauot olivat tuloksissa mukana. Tosin, jos TRIMP huomioisi lyhyet korkeaintensiteettiset suoritukset riittävällä tarkkuudella jääkiekon kuormituksen näkökulmasta, tulisi tämän näkyä TRIMP:n arvoissa. Voidaan kuitenkin olettaa, että erätauot ovat ”kuormitukseltaan” suhteellisen samanlaisia pelistä toiseen ja pelaajien välillä, eli lähinnä passiivista lepoa. Näin suurella aineistolla pienet sykkeessä näkyvät erot esimerkiksi siinä, miten pelaaja elää psyykkisesti mukana pelissä myös erätauojen välisen ajan tai muut erätauon aikana sykettä mahdollisesti nostavat asiat tasoittuvat. Voi kuitenkin olla, että pelkästään erien ajalta mittaaminen olisi voinut antaa tarkempia tuloksia. Toisaalta käytännön valmennuksen kannalta on hieman epäkäytännöllistä, jos tällä tavalla täytyisi toimia saadakseen luotettavaa tietoa pelaajan kuormittumisesta, sillä laite täytyisi muistaa sammuttaa aina erän loppuessa ja

taas käynnistää seuraavan erän alussa. Tämä olisi datan keräämisen kannalta myös riski, sillä unohtaessa käynnistää laitteen tärkeää tietoa jäisi saamatta.

Kuvasta 4 nähdään myös, että mitatuissa TRIMP:n arvoissa saattoi olla jonkin verran myös virheellisiä havaintoja. Lähellä TRIMP:n arvoa nollaa olevat mittauspisteet voivat olla esimerkiksi laitteen virran loppumisen takia aiheutuneita, mutta syynä voi olla myös muita tekijöitä. Esimerkiksi tietojen lataamisessa on voinut olla ongelmia. Joka tapauksessa, teknologian käyttämisessä on aina riski sille, että tietoa häviää tai se on virheellistä, kuten Lambert & Borresen (2010) omassa tutkimuksessaan myös mainitsevat. Mitä helpommin, nopeammin ja varmemmin valmentajat saavat luotettavaa dataa pelaajiensa kuormittumisesta sitä parempi. Virheellisiä arvoja ei poistettu analyysistä, koska ei voitu olla varmoja, mitkä mittaukset olivat oikeasti virheellisiä.

Törmäykset ja kamppailupelaaminen voivat olla tekijöitä, jotka selittäisivät lisää sisäistä kuormittumista, kuten aikaisempien tutkimusten perusteella ollaan arveltu (McLaren ym. 2018). Lisäksi edeltävä kuormitus, palautumistila, ravinto, nesteytys, lämpötila sekä näiden seikkojen kontrollointi olisivat luonnollisesti olleet tämän tutkimuksen luotettavuutta lisääviä asioita. Näiden tekijöiden mittaaminen ja analyysiin mukaan ottaminen olisi teoriassa ollut mahdollista. Kuitenkin suuri havaintopisteiden määrä todennäköisesti vähentää näiden tekijöiden aiheuttamaa virhettä, ainakin keskiarvotasolla. Joka tapauksessa edellä mainitut asiat voivat olla osaltaan vaikuttamassa sykemuuttujien tuloksiin, sillä etenkin nesteytys ja lämpötila vaikuttavat sykkeeseen (Achten & Jeukendrup 2003).

Luonnollisesti myös liikkumisen taloudellisuudella on erittäin suuri merkitys. Yksilöiden välillä on todennäköisesti eroja siinä, miten hyvällä hyötysuhteella he liikkuvat. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan tätä asiaa tutkittu. Lisäksi fyysiset ominaisuudet todennäköisesti vaikuttavat havaittuihin yhteyksiin. Fyysisten ominaisuuksien vaikutuksia sisäisten ja ulkoisten kuormitusmuuttujien väliseen yhteyteen tutkittiin YoYo-testin tulosten, kevennyshypyn nousukorkeuden ja alaraajojen isometrisen ojennusvoiman perusteella, mutta minkäänlaisia tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia ei kuitenkaan havaittu, joten nämä tulokset päätettiin olla raportoimatta.

On myös mahdollista, että yhteydet eri sisäisen ja ulkoisen kuormituksen muuttujista eivät ole lineaarisessa yhteydessä. Tässä tutkimuksessa käytettyjen korrelaatioiden suuruudet kuvaavat vain lineaarisen yhteyden suuruutta. Esimerkiksi kuormittumisen lisääntyessä tarpeeksi on todennäköistä, että pelaajan kyky tehdä korkean intensiteetin suorituksia on pienempää. Voi olla, että sisäinen kuormitus kasvaa lineaarisesti eri ulkoisen kuormituksen muuttujiin vain tiettyyn pisteeseen asti ja tämän jälkeen yhteys saattaa kasvaa suhteellisesti suuremmin verrattaessa ulkoiseen kuormaan. Tämä taipumus oli nähtävissä kokonaiskuormittumista kuvaavan sRPE-TL:n ja kokonaisluistelumatkan suhteen. Toisin sanoen, kun pelaaja on edeltävän kuormituksen johdosta tarpeeksi kuormittunut, ulkoisen kuorman lisääminen lisää sisäistä kuormaa enemmän, kuin jos pelaaja olisi palautuneemmassa tilassa. Täten voi myös olla, että kuormituksen kasvaessa tietyn pisteen yli saattaa pelaaja tehdä vähemmän kuormittavampia asioita. Kuitenkaan tätä ei tässä tutkimuksessa tutkittu. Yksi mahdollinen vaihtoehto olisi tutkia jatkossa esimerkiksi sitä, miten sisäisen ja ulkoisen kuormituksen muuttujien yhteydet muuttuvat ensimmäisen, toisen ja kolmannen erän välillä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSET

Tässä tutkimuksessa ulkoiset kuormitusmuuttujat korreloivat SRPE-TL:n kanssa paremmin kuin TRIMP:n. Ulkoisista kuormitustekijöistä kokonaismatka oli vahvimmin yhteydessä sekä SRPE-TL:n että SRPE:n kanssa, mutta toisin kuin McLarenin ym. (2018) havaitsivat meta-analyysissään, TRIMP oli huomattavasti heikommin yhteydessä kokonaismatkaan. Tiivistettynä subjektiivinen kuormittuneisuuden arvio oli lisäksi kauttaaltaan yhteydessä lähes kaikkiin ulkoisen kuormituksen korkeaa intensiteettiä kuvaaviin muuttujiin sykemuuttujia enemmän. Siksi sRPE ja sRPE-TL saattavatkin kuvata jääkiekossa tapahtuvaa korkean intensiteetin aiheuttamaa kokonaiskuormitusta, sekä myös hermolihasjärjestelmään ja kehon rakenteisiin kohdistuvaa niin sanottua biomekaanista kuormitusta (Vanrenterghem ym. 2017) sykemuuttujia paremmin. Tätä biomekaanista kuormittumista ei tosin mitattu, vaan arvioitiin ulkoisen kuormituksen, kuten korkeaintensiteettisten kiihdytysten ja jarrutusten perusteella. Jatkotutkimuksissa olisi hyvä mitata biomekaanista kuormittumista. Lisäksi sykemuuttujien heikommat yhteydet korkeamman intensiteetin määrään ja tiheyteen voivat kertoa siitä, että syke aliarvioi supramaksimaalisia ja ajallisesti hyvin lyhyitä suorituksia sekä reagoi heikosti kuormitusintensiteetin muutoksiin jääkiekossa, kuten Scanlan ym. (2014) toteavat myös omassa koripallon kuormittumista mitanneessa tutkimuksessaan.

Sisäinen kuormitus on hyvin monitahoinen termi. Pelkästään ulkoisen kuormituksen perusteella on haastavaa tehdä johtopäätöksiä siitä, minkälaisen sisäisen kuormituksen se aiheuttaa. Myös sisäisen kuormituksen mittaamisessa tulisi ottaa huomioon monet sen eri osa-alueet, jos halutaan seurata urheilijan kokonaiskuormittumista. Parhaassa tilanteessa olisi mahdollista mitata monilla luotettavilla, objektiivisilla ja nopeilla menetelmillä useita eri kuormittumiseen liittyviä asioita. Tällä hetkellä subjektiivinen kuormituksen arvio vaikuttaisi olevan paras yksittäinen menetelmä kuvaamaan tätä kokonaisuutta, mutta jos vain mahdollista, niin sekä sykkeen perusteella mitattua sisäistä kuormitusta että eri ulkoisen kuormituksen muuttujia kannattanee käyttää kuormituksen mittaamisen lisänä. Sykemuuttujien ja erityisesti TRIMP:n kohdalla tulisi olla varovaisia sen suhteen, että vedettäisiin johtopäätöksiä urheilijan kokonaiskuormittumisesta vain sykkeen perusteella. Syke kuvaa lähinnä hengitys- ja verenkiertoelimistön vasteita kuormitukseen, mutta hermolihasjärjestelmän kuormittumisen mittaamiseen se ei ole toimivin tapa. Koska jääkiekon pelin intensiteetti on korkea ja peli sisältää paljon kiihdytyksiä, jarrutuksia, suunnanmuutoksia ja kovavauhtista luistelua, on myös

hermolihasarjestyelmän kuormittuminen suurta. Pelin ulkoinen kuormitus määräytyy pelin luonteen mukaan eli pelaajaa tekee kiihdytyksiä, jarrutuksia, suunnanmuutoksia ja luistele juuri pelin vaatimalla nopeudella. Sisäisen kuormituksen mittaaminen sykkeen perusteella on luotettavaa ja perusteltua vakioitehoisissa kuormituksissa sekä intervallikuormituksissa, joissa lepo- ja työjaksot ovat tiedossa tai ennalta määritetty sekä samanlaisena toistettavissa pelinomaisissa kuormituksissa. Näyttäisi kuitenkin siltä, että strukturoimattomassa kuormituksessa eli tässä tapauksessa jääkiekkopelissä subjektiivinen arvio antaa parempaa tietoa pelaajan kuormituksesta.

McLarenin ym. (2018) meta-analyysi osoittaa hyvin, kuinka mittaustapojen antamat tulokset ja väliset yhteydet riippuvat hyvin paljon kuormituksen tyypistä johtuen. Heidän mukaansa subjektiivisesti arvioitu kuormitus on validi indikaattori sisäisestä kuormituksesta joukkuelajeissa. Myös tämän tutkimuksen perusteella jääkiekon peleissä subjektiivisesti arvioitu kuormitus on hyvä sisäisen kuormituksen mittari. On havaittu, että kuormituksen tyyppi selittäisi siis suuren osan sisäisten ja ulkoisten kuormitusmuuttujien yhteyksistä: McLarenin meta-analyysin mukaan kuormituksen tyyppi selitti 24-100 % eroista. Esimerkiksi sRPE-TL:n ja kokonaismatkan yhteyden varianssi selittyy jopa täysin kuormituksen tyyppin mukaan. (McLaren ym. 2018). Nimenomaisesti pelin tyyppisessä kuormituksessa yhteydet ovat vahvimmillaan. Tämä on hyvin ymmärrettävää, sillä pelin intensiteetti on todennäköisesti suurimman osan peliajasta korkealla ja siis suhteellisen vakio. Siksi kokonaismatkaa mitattaessa yhteydet ovat vahvempia kuin vaikkapa taitoharjoittelussa, jossa intensiteetti saattaa vaihdella harjoitusten sisällä ja välillä hyvin paljon.

Niin sanottu erotteleva RPE, *differential RPE*, saattaisi antaa vielä tarkempaa tietoa siitä, onko kuormitus enemmän hermolihasarjestyelmään vai hengitys- ja verenkiertoelimistöön kohdistuvaa. Siinä urheilija antaa erikseen arvon lihaksiston rasittuneisuudelle, hengästyneisyydelle ja kokonaisrasitukselle. (Vanrenterghem ym. 2017). Tässä tutkimuksessa tutkittavilta kysyttiin hengästyneisyyttä, lihaksiston rasitusta ja kokonaiskuormitusta ja tämä data myös analysoitiin. Datasta oli kuitenkin nähtävissä, että osa pelaajista ei ollut arvioinut kuormitusta erikseen, vaan antoi aina saman arvon sekä kokonaiskuormitukselle, hengästyneisyydelle että lihaksiston rasitukselle. Siksi tässä tutkimuksessa analysoidut sRPE-lihaksisto ja sRPE-hengästyneisyys antoivat käytännössä samanlaisia tuloksia, kuin pelkkä sRPE. Siksi päädyttiin raportoimaan vain sRPE:tä koskevat yhteydet ja erotteleva RPE jätettiin

kokonaan pois. Tämän takia tulevissa tutkimuksissa olisi hyvä motivoida tutkittavia täyttämään subjektiivista kuormittumista vielä entistäkin paremmin ja erottelemaan hermolihasjärjestelmän ja hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittuneisuuden toisistaan. Lisäksi CR-100 –skaalalla arvioitu kuormitus on aikaisemmissa tutkimuksissa antanut hieman tarkempaa tietoa kuormittumisesta. (Fanchini ym. 2015; Borg & Borg 2002). Tämä voisi olla tulevissa tutkimuksissa vielä parempi tapa arvioida kuormittumista. Lisäksi käytännön valmennustyössä CR-100 –skaalan käyttö voi olla perusteltua, jos halutaan päästä tarkempiin arvioihin. Toisaalta, CR-10 –skaalan käyttäminen voi olla urheilijoille helpompaa, käytännöllisempää ja kuitenkin antaa riittävän tarkkaa tietoa.

Koska sRPE vaikutti luotettavalta menetelmältä kuormituksen seurantaan, sen hyödyntäminen ulkoisten kuormitusmuuttujien kanssa jääkiekossa voi antaa tietoa pelaajan väsymyksestä: jos samanlainen pelin ulkoinen kuormitus aiheuttaa selvästi suuremman subjektiivisen kuormituksen arvion, voidaan tällöin ajatella pelaajalla olevan kertynyttä väsymystä tai hänen fyysiset ominaisuutensa ovat heikentyneet. (Impellizzeri ym. 2019). Muutenkin kuormituksen seurannassa tulisi pystyä ennemminkin seuraamaan yksilötasolla tapahtuvia muutoksia elimistön vasteissa, kuin absoluuttisia lukuja (Borresen & Lambert 2009). Siten kuormituksen mittaamisessa tarkkuuden ei tarvitse olla välttämättä täydellinen, vaan riittävä, jos mittari antaa toistettavia ja keskenään vertailukelpoisia tuloksia. Tulevissa tutkimuksissa olisi hyvä selvittää, minkälaisia yksilöllisiä yhteyksiä sisäisen ja ulkoisen kuormituksen välillä on jääkiekossa sekä tutkia myös sitä, miten toistettavia tuloksia mittarit antavat. TRIMP:n on esimerkiksi osoitettu antavan hyvin toistettavia tuloksia samankaltaisina toistetuissa jääkiekon harjoituksissa (Ulmer ym. 2019). Lisäksi hyvä jatkotutkimuksen aihe voisi olla selvittää ylipäättään, mitä kokonaiskuormittuminen tarkoittaa ja mitä asioita siihen liittyy. Edelleenkin elimistöön kohdistuvalle kuormitukselle ei ole olemassa selkeää määritelmää tai yksittäistä parasta mittaria. Tällä hetkellä paras käytäntö vaikuttaisi olevan arvostetun urheilututkijan Carl Fosterin ohje: pidä homma simppeleinä (Foster ym. 2017).

LÄHTEET

- Alemdaroğlu, U. 2020. External and internal training load relationships in soccer players. *Journal of Human Sport and Exercise*, 16 (2) 1–13.
- Aughey, R. J. 2011. Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 295–310.
- Baker, D., Wilson, G. & Carlyon, B. 1994. Generality versus specificity: A comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed-strength. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 68. 350-355.
- Bishop, P., Jones, E. & Woods, A. 2008. Recovery from training: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (3), 1015–1024.
- Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. 1982. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 377–381.
- Borg E, Borg G. A comparison of AME and CR100 for scaling perceived exertion. 2002. *Acta Psychologica*, 109 (2), 157-175.
- Bourdon, P.C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M.C., Gabbett, T.J., Coutts, A.J., Burgess, D.J., Gregson, W. & Cable, N.T. 2017. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12 (2), 161–170.
- Borresen, J. & Lambert M. 2009. The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, 39 (9), 779-795.
- Bresciani G., Cuevas M.J., Garatachea N., Molinero O., Almar M. & De Paz J.A. 2010. Monitoring biological and psychological measures throughout an entire season in male handball players. *European Journal of Sport Science*. 10 (6), 377–84.
- Brito, P., Hertzog, M., & Nassis, G. 2016. Do match-related contextual variables influence training load in highly trained soccer players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (2), 393-399.
- Brocherie F, Girard O, Millet GP. 2018. Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biology of Sport*, 35 (3), 261 – 267.
- Cardinale M, Varley MC. 2017. Wearable training-monitoring technology: Applications, challenges, and opportunities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 12 (2), 55–62.

- Clarke, P., Farthing, R., Norris, E., Arnold, L. & Lanovaz, L. 2013. Quantification of training load in Canadian football: application of session-rpe in collision-based team sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (8), 2198–2205.
- Dalen T, Ingebrigtsen J, Ettema G, Hjelde GH, Wisløff U. 2016. Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 351–359.
- Day, L., McGuigan, R., Brice, R. & Foster, R. 2004. Monitoring exercise intensity during resistance training using the session rpe scale. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 353-358.
- Dellal A, Keller D, Carling C, Chaouachi A, Wong del P, Chamari K. 2010. Physiologic effects of directional changes in intermittent exercise in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (12), 3219-3226.
- Di Prampero, P., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J., Belli, A. & Antonutto, G. 2005. Sprint running: A new energetic approach. *The Journal of Experimental Biology*, 208, 2809-2816.
- Fanchini, M., Ferraresi, I., Modena, R., Schena, F., Coutts, A. & Impellizzeri, F. 2015. Use of CR100 Scale for Session-RPE in Soccer and Interchangeability With CR10. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 11, 388–392.
- Foster, C., Florhaug, J., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L., Parker, S., Doleshal, P. & Dodge, C. 2001. A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 109–115.
- Foster, Carl & Rodriguez-Marroyo, Jose & de Koning, Jos. 2017. Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 12. 2-8.
- Gaudino P, Iaia F. M., Strudwick A.J., Hawkins R.D., Alberti G. & Atkinson G. 2015. Factors Influencing Perception of Effort (Session-RPE) During Elite Soccer Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10 (7), 860–874.
- Haddad M., Chaouachi A., Castagna C., Wong del P., Behm D. G., Chamari K. 2011. The construct validity of session RPE during an intensive camp in young male Taekwondo athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 252–263.
- Haddad, M., Chaouachi, A., Wong del, P., Castagna, C., Hue, O. & Impellizzeri, F. M. 2014a. Influence of exercise intensity and duration on perceived exertion in adolescent Taekwondo athletes. *European Journal of Sport Sciences*, 14 (1), 275–281.

- Haddad, M., Padulo, J. & Chamari, K. 2014b. The usefulness of session-rpe method for training load monitoring despite several influences on perceived exertion. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 882–883.
- Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A. & Chamari, K. 2017. Session-RPE method for training load monitoring: validity, ecological usefulness, and influencing factors. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 612–625.
- Hader K, Mendez-Villanueva A, Palazzi D, Ahmaidi S, Buchheit M. 2016. Metabolic power requirement of change of direction speed in young soccer players: not all is what it seems. *PLoS One*, 11, 1–21.
- Harper, D.J., Carling, C. & Kiely, J., 2019. High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine*, 49 (12), 1923–1947.
- Herman, L., Foster, C., Maher, M., Mikat, R. & Porcari, J. 2006. Validity and reliability of the session RPE method for monitoring exercise training intensity. *South African Journal of Sports Medicine*, 18 (1), 14-17.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M. & Coutts, A. J. 2019. Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14 (2), 1–4.
- Impellizzeri F. M., Rampinini E., Coutts A. J., Sassi A. & Marcora S. M. 2004. Use of RPE based training load in soccer. *Medicine and Science of Sports and Exercise*, 36 (6), 1042-1047.
- Impellizzeri F. M., Rampinini E. & Marcora S. M. Physiological assessment of aerobic training in soccer. 2005. *Journal of Sports Science*, 23, 583–592.
- Kibler W. B., Chandler T. J. & Stracener E.S. 1992. Musculoskeletal adaptations and injuries due to overtraining. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 20, 99–126.
- Konarski, J.M., Konarska, A., Strzelczyk, R., Skrzypczak, M., Malina, R.M., 2019. Internal and External Loads During Hockey 5's Competitions Among U16 Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, doi:10.1519/jsc.0000000000003251.
- Lambert, M. I. & Borresen, J. 2010. Measuring training load in sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5 (3), 406–411.
- Lignell, E., Fransson, D., Krustup, P., Mohr, M., 2018. Analysis of High-Intensity Skating in Top-Class Ice Hockey Match-Play in Relation to Training Status and Muscle Damage. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32, 1303–1310.

- Lovell, T. W. J., Sirotic, A. C., Impellizzeri, F. M. & Coutts, A. J. 2013. Factors affecting perception of effort (session rating of perceived exertion) during rugby league training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8 (1), 62–69.
- Lupo C., Capranica L., Tessitore A. (2014). The validity of the session-RPE method for quantifying training load in water polo. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 656–660.
- Mann, T., Lamberts, R., Nummela, A., Lambert, M., 2017. Relationship between perceived exertion during exercise and subsequent recovery measurements. *Biology of Sport*, 34, 3–9.
- McLaren, S., Macpherson, T., Coutts, A., Hurst, C., Spears, I. & Weston, M. 2018. The relationships between internal and external measures of training load and intensity in team sports: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 48 (3), 641–658.
- McLellan C. P., Lovell D. I. & Gass G. C. 2011. Biochemical and endocrine responses to impact and collision during elite rugby league match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (6), 1553–1562.
- McNamara D. J., Gabbett T. J., Naughton G., Farhart P. & Chapman P. 2013. Training and competition workloads and fatigue responses of elite junior cricket players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8 (5), 517–526.
- Nassis, G. P. & Gabbett, T. J. 2017. Is workload associated with injuries and performance in elite football? A call for action. *British Journal of Sports Medicine*, 51 (6), 486–487.
- Raglin J. S., Koceja D. M. & Stager J. M. 1996. Mood, neuromuscular function, and performance during training in female swimmers. *Medicine and Science of Sports and Exercise*, 28, 372–377.
- Rhodes, T. & Twist, P. 1993. A Physiological Analysis of Ice Hockey Positions. *Strength and Conditioning Journal*, 15, 6, 44-46.
- Robertson S, Kremer P, Aisbett B, Tran J, Cerin E. 2017. Consensus on measurement properties and feasibility of performance tests for the exercise and sport sciences: a Delphi study. *Sports Medicine Open*, 3, 2.
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C.J., Love, T.D., Bracken, R.M., Kilduff, L.P., 2016. Changes in Acceleration and Deceleration Capacity Throughout Professional Soccer Match-Play. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (10), 2839–2844.

- Saw, A., Main, L. & Gatin, P. 2015. Monitoring the athlete training response: Subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 281–291.
- Scanlan, A., Wen, N., Tucker, P. & Dalbo, V. 2014. The Relationships Between Internal and External Training Load Models During Basketball Training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 28, (9), 2397-2405.
- Schwellnus, M., Soligard, T., Alonso, J., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, P., Gabbett, T., Gleeson, M., Häggglund, M., Hutchinson, M., Janse van Rensburg, C., Meeusen, R., Orchard, J., Pluim, B., Raftery, M., Budgett, R. & Engebretsen, L. 2016. How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 1043-1052.
- Soligard, T., Schwellnus, M., Alonso, J., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, P., Gabbett, T., Gleeson, M., Häggglund, M., Hutchinson, M., Janse van Rensburg, C., Khan, K., Meeusen, R., Orchard, J., Pluim, B., Raftery, M., Budgett, R. & Engebretsen, L. 2016. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 1030–1041.
- Sweeting, Alice & Cormack, Stuart & Morgan, Stuart & Aughey, Robert. 2017. When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Frontiers in Physiology*, 8, 432.
- Vanrenterghem J., Nedergaard N. J., Robinson M. A. & Drust B. 2017. Training load monitoring in team sports: A novel framework separating physiological and biomechanical load-adaptation pathways. *Sports Medicine*, 47 (11), 2135–2142.
- Verheul J., Nedergaard N. J., Pogson M., Lisboa P., Gregson W. & Vanrenterghem J. 2019. Biomechanical loading during running: can a two mass-spring-damper model be used to evaluate ground reaction forces for high-intensity tasks? *Sport Biomechanics*, 1–12.
- Viru A., Viru M. Nature of training effects. 2000. In: Garrett W, Kirkendall D, eds. *Exercise and Sport Science*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Williams, 67–95.
- Weston M., Siegler J., Bahnert A., McBrien J. & Lovell R. 2015. The application of differential ratings of perceived exertion to Australian Football League matches. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18 (6), 704–708.