

19.11.2023



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

**HARJOITUSKUORMAN JA SUBJEKTIIVISEN
HYVINVOINTIKYSELYN YHTEYS
LOUKKAANTUMISTEN JA
SAIRASTELUIDEN ESIINTYVYYTEEN
NAISJALKAPALLOILIJOILLA**

Eero Partio

Pro Gradu tutkielma

Liikunta- ja urheilulääketiede

Itä-Suomen Yliopisto

Lääketieteen laitos

Itä-Suomen yliopisto, Terveystieteiden tiedekunta

Lääketieteen laitos

Liikunta- ja urheilulääketiede

Partio, Eero: Harjoituskuorman ja subjektiivisen hyvinvointikyselyn yhteys loukkaantumisten ja sairasteluiden esiintyvyyteen naisjalkapalloilijoilla

Pro gradu -tutkielma, 108 sivua

Tutkielman ohjaajat: FT Mika Venojärvi, LitT Johanna Ihalainen

Marraskuu 2023

Avainsanat: harjoituskuorma, hyvinvointi, loukkaantuminen, jalkapallo

Tässä tutkimuksessa selvitettiin harjoituskuorman sekä subjektiivisen hyvinvointikyselyn yhteyttä loukkaantumisiin ja sairasteluihin naisjalkapalloilijoilla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää korreloiko akuutti:krooninen kuormasuhdemallin (ACWR) antama tieto loukkaantumisten ja sairasteluiden kanssa. Lisäksi tarkasteltiin subjektiivisen hyvinvointikyselyn (mieliala, unen määrä, unen laatu, harjoituksen ulkopuolinen kuormitus ja lihasarkuus) sekä loukkaantumisten ja sairasteluiden yhteyttä. Tutkimus oli kvantitatiivinen pitkittäistutkimus.

Tutkimusjakso kesti 34 viikkoa, jonka aikana todettiin 23 loukkaantumista ja 18 sairastumista. Loukkaantumisista 48 % ja sairasteluista 73 % ilmeni ennen pelikauden alkua. Viikkokohtainen ACWR keskiarvo oli välillä 0,96–1,30 (keskiarvo 1,10 ja SD 0,69). ACWR:n ja hyvinvointikyselyn yhteys loukkaantumisiin ja sairasteluihin ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Tutkimuksessa ACWR mallilla ja loukkaantumisilla sekä sairastumisilla ei havaittu yhteyttä. Subjektiivinen hyvinvointikysely ei myöskään korreloinut loukkaantumisten ja sairasteluiden kanssa. Harjoituskuorman ja subjektiivisen hyvinvointikyselyn muuttujien välillä havaittiin vain vähän korrelaatiota. RPE:llä ja kroonisella kuormalla havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio lihasarkuuden suhteen. Hyvinvoinnin muuttujista vain unen laadulla ja mielialalla havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio. ACWR mallin ja subjektiivisen hyvinvointikyselyn luotettavuutta loukkaantumisten ja sairasteluiden ennustamisessa voidaan pitää kyseenalaisena naisjalkapalloilijoilla.

University of Eastern Finland, Faculty of Health Sciences
School of Medicine
Sports and exercise medicine
Partio, Eero: The relationship between training load and subjective well-being
questionnaire with injuries and illnesses in female soccer players
Master's thesis, 108 pages
Supervisors: PhD Mika Venojärvi, PhD Johanna Ihalainen
November 2023

Keywords: training load, subjective wellbeing, injury, football

In this thesis, the relationship between training load and subjective well-being questionnaire with injuries and illnesses in female soccer players was investigated. The aim of the study was to find out if acute: chronic workload model (ACWR) of training load correlates with the number of injuries and illnesses. In addition, the correlation of subjective well-being components (mood, sleep quantity, sleep quality, non-exercise load and muscle soreness) with the number of injuries and illnesses was examined. The study was a quantitative longitudinal study.

The study period lasted 34 weeks, during which 23 injuries and 22 illnesses were diagnosed. 48 % of injuries and 73 % of illnesses occurred before the start of the game season. The average ACWR was between 0,96–1,30 (averaged 1,10 and SD 0,69). The relationship between the ACWR and the well-being questionnaire with injuries and illness was not statistically significant.

No relationship was found between the ACWR model and injuries and illnesses. The subjective well-being questionnaire also did not correlate with injuries and illnesses. Minor correlation was found between the exercise load and the variables of the subjective well-being questionnaire. RPE and chronic load showed a moderate positive correlation with respect to muscle soreness. Of the well-being variables, only sleep quality and mood showed a moderate positive correlation. In conclusion the reliability of the ACWR model and the subjective well-being questionnaire in predicting injuries and illnesses is questionable in female soccer players.

Sisällys

1 Johdanto.....	6
1.1 Johdatus tutkimusaiheeseen.....	6
1.2 Tutkimuksen tausta.....	8
1.3 Tutkimuksen rajaus.....	10
1.4 Tutkimuksen keskeiset käsitteet.....	12
1.4.1 Harjoituskuorma.....	12
1.4.2 Sisäinen ja ulkoinen harjoituskuorma.....	13
1.4.3 ACWR malli.....	14
1.4.4 Eksponentiaalisesti painotettu malli.....	18
1.4.5 Loukkaantuminen.....	20
1.4.6 Loukkaantumisen määrittely.....	22
1.4.7 Loukkaantumisen riskitekijät.....	23
1.4.8 Sairastuminen.....	26
1.4.9 Hyvinvointi urheilussa.....	28
1.5 OSTRC-Q vammakysely.....	31
1.6 Athlete Monitoring.....	32
1.7 Tutkimuksen rakenne.....	33
2 Harjoituskuorman, loukkaantumisen ja sairastelun välinen yhteys.....	35
2.1 Johdanto.....	35
2.2 Elimistön sopeutuminen harjoituksen aiheuttamaan stressiin.....	38
2.3 Aikaisempien tutkimusten laatu.....	40
2.4 Harjoituskuorman monitorointimenetelmät.....	42
2.4.1 Subjektiiiviset kyselyt.....	42
2.4.2 RPE.....	45
3 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	50
4 Aineisto ja menetelmät.....	51
5 Tulokset.....	54
6 Pohdinta.....	62
6.1 Tulosten tarkastelu.....	62

6.2 Tutkimuksen luotettavuus	64
6.3 Tulosten hyödynnettävyys	66
6.4 Jatkotutkimusaiheet	66
7 Johtopäätökset.....	68
Lähteet.....	69

1 Johdanto

1.1 Johdatus tutkimusaiheeseen

Huippu-urheilussa yhtenä tavoitteena on määritellä riittävä harjoituskuorma, jotta varmistetaan urheilijoiden altistuminen kilpailun aiheuttamiin kuormitustason vaatimuksiin (Meeusen ym. 2006; Thornton ym. 2019; Myers ym. 2020; Ungureanu ym. 2021; Guerrero-Calderón ym. 2023). Tavoitteen toteuttamiseksi urheilijoiden harjoitusvasteiden, hyvinvoinnin ja loukkaantumisten monitorointiin perustuvien menetelmien implementointi on ollut oleellinen osa joukkueurheilussa (Scanlan ym. 2014; Buchheit ja Simpson 2017; Gabbett ym. 2017; Haddad ym. 2017; McCall ym. 2017; Nässi ym. 2017; Akubat ym. 2018; Andrade ym. 2020). Urheilijoiden hyvinvoinnin ja harjoituskuorman monitoroinnista on tullut merkittävä tekijä kilpailuedun saavuttamiseksi (Akenhead ja Nassis 2016; Halson ym. 2016; Soligard ym. 2016; Lazarus ym. 2017; Gabbett ym. 2017; Haddad ym. 2017; Torres-Ronda ym. 2022), joka osaltaan on kiihdyttänyt teknologisten harjoituskuorman monitorointimenetelmien käyttöönottoa (Torres-Ronda ja Schelling 2017). Valmentajilta odotetaan ymmärrystä, kuinka paljon työtä urheilija on tehnyt, mikä on ollut vaste tehdylle työlle ja onko urheilija väsyneessä tilassa (Gabbett ym. 2017).

Suorituskyvyn kehittäminen edellyttää muutoksia harjoituskuormissa, pääosin frekvenssin, keston ja intensiteetin suhteen (Halson 2014). Urheilijan suorituskyvyn akuuttien muutosten monitorointi voi auttaa ehkäisemään aliharjoittelua ja suorituskyvyn heikentymistä (Nicolas ym. 2019) sekä ei-toiminnallisia ylikuormitustilaa (Coutts ym. 2007). Harjoituskuormien monitorointia yhdessä psykologisten vasteiden seurannan kanssa on pidetty välttämättömyytenä ylikuormittumisen ehkäisemisessä (Milanez ym. 2014). Monitoroinnin tavoitteena pitäisi olla positiivisten vaikutusten, kuten harjoitteluvälmiuden ja suorituskyvyn maksimointi ja negatiivisten, kuten loukkaantumisten, sairastumisten ja väsymyksen minimointi (Taylor ym. 2012; Buchheit ym. 2013; Halson 2014; Gabbett ym. 2017; Myers ym. 2020; Tomazoli ym. 2020), joita voidaan pitää harjoituskuorman säätelyn virheinä (Drew ja Finch 2016; Drew ja Purdam 2016).

Urheilijan harjoituskuorman monitoroinnilla pyritään arvioimaan harjoitusohjelman soveltuvuutta urheilijalle, jotta voidaan ymmärtää yksilölliset harjoitusvasteet (Scott ym. 2013b; Halson 2014; Bourdon ym. 2017; Suchomel ym. 2021). Tavoitteena on myös kerätä tietoa urheilijan stressitasosta ja palautumisen tarpeesta (Nässi ym. 2017). Harjoituskuorman monitorointiin on kehitetty useita eri menetelmiä (Wallace ym. 2009; Scanlan ym. 2014; Saboul ym. 2016; Jaspers ym. 2017; Fox ym. 2018; Impellizzeri ym. 2021), mutta niiden käytettävyys on epäselvä varsinkin joukkueurheilussa (Buchheit ym. 2013; DellaValle ja Haas 2013).

Mikäli tasapaino intensiivisen harjoittelun ja palautumisen välillä ei ole riittävällä tasolla, voi harjoitusväsymys kumuloitua johtaen heikentyneeseen suorituskykyyn eli toiminnalliseen ylirasitustilaan tai mahdollisesti vakavampaan ei-toiminnalliseen ylirasitustilaan (Cunniffe ym. 2010; McLellan ym. 2011; Meeusen ym. 2013). Tarpeeksi suuri harjoituskuorma on kuitenkin adaptaation edellytys ja voi johtaa suorituksen kehittymiseen (Bosquet ym. 2008; Caparros ym. 2015; McLaren ym. 2018).

Loukkaantumiset joukkueurheilussa ovat yleisiä (Gabbett 2004a; Hrysomallis 2013; Fanchini ym. 2020) ja harjoituskuorman on havaittu olevan yhteydessä loukkaantumisten määrään (Gabbett ja Jenkins 2011; Caparros ym. 2015; Sampson ym. 2018; Sniffen ym. 2022). Menestyvät urheilujoukkueet raportoivat matalampia loukkaantumismääriä kuin heikommin menestyvät (Eirale ym. 2013; Hägglund ym. 2013a). Loukkaantumisten monitorointiohjelmat, systemaattinen datan kerääminen ja laadukas analysointi voivat auttaa ennaltaehkäisemään urheiluperäisiä loukkaantumisia ja sairastumisia (Bahr ym. 2020), sillä harjoituskuormaan liittyviä loukkaantumisia pidetään osittain ennaltaehkäistävinä (Gabbett 2016), mutta vastakkaisia näkemyksiäkin on esitetty (Fanchini ym. 2020). Lihasperäisten loukkaantumisten ennaltaehkäisystä on tullut yhä suosittumpaa kilpailun ja huippu-urheilun suurien rahasummien myötä (Hägglund ym. 2013a; Soligard ym. 2016; Drew ym. 2017b). Sopivan harjoituskuorman monitorointimenetelmän löytäminen onkin ollut suosittu tutkimusaihe urheilun ja harjoitusfysiologian tutkimuskentällä (Buchheit ym. 2012; Fanchini ym. 2018).

1.2 Tutkimuksen tausta

Viimeisen 30 vuoden aikana urheilu on ammattimaistunut merkittävästi ja myös tieteellinen näkökulma harjoitteluun ja palautumiseen on kasvanut (Hamlin ym. 2019). Huippu-urheilussa joukkueet sijoittavat merkittäviä summia pelaajien harjoituskuormien monitorointiin saavuttaakseen suotuisia tuloksia (Weaving ym. 2017). Pelkästään puettavien mittauslaitteiden (esim. sykevyöt, sykekellot ja GPS-liivit) markkinoiden arvo oli vuonna 2016 noin 6 miljardia dollaria ja summan on arvioitu kasvavan vuosikymmenen loppuun mennessä 26 miljardiin (Koytcheva 2015; Daking ym. 2016). Vaikka ihmisen liikkeen ja fysiologisen tilan monitorointi on kehittynyt nopeasti viime vuosina (Foster ym. 2017; Plews ym. 2017) vain muutamia menetelmiä on tutkittu systemaattisesti tarkkuuden ja luotettavuuden takaamiseksi (Halson ym. 2016). Harjoituskuorman tieteellinen tutkimus on keskittynyt valtaosin palautumisen akuuttien vasteiden mittaamiseen (Taylor ym. 2015), kumuloituvan harjoituskuorman muuttujien pitkäaikaisen monitoroinnin ollessa puutteellista (Halson 2014). Viimeaikainen tutkimus on pyrkinyt muun muassa selvittämään voisiko harjoitusstatus selittää autonomisen hermoston toiminnan muutosta (Buchheit ym. 2012).

Harjoitusohjelmien suunnittelussa tieteellisen tutkimuksen merkitys on kasvanut merkittävästi (Borresen ja Lambert 2009; Impellizzeri ym. 2020a). Viimeisen vuosikymmenen aikana myös urheilupsykologian tutkimusten määrä liittyen urheilijoiden emotionaalisen hyvinvoinnin ja suorituskyvyn väliseen yhteyteen on kasvanut (Brandt ym. 2016; McCall ym. 2017). Kiinnostuksen kasvuun on vaikuttanut aiemmat tutkimukset, jotka ovat osoittaneet tunteiden olevan ennusteita suorituskyvystä (Lane ym. 2012). Tieteellinen tutkimus on myös pyrkinyt ymmärtämään paremmin loukkaantumisten patologiaa ja riskitekijöitä. On havaittu, että loukkaantumisariski kasvaa merkittävästi akuutin harjoituskuorman kasvaessa äkillisesti ja voimakkaasti (Hulin ym. 2014). Tästä huolimatta on vain vähän tutkittu miten erilaiset harjoitusohjelmat vaikuttavat fysiologiseen sopeutumiseen ja suorituskykyyn. Tämä on yllättävää, sillä huippusuorituskyky edellyttää ymmärrystä harjoituksen mittaamisen vaikutuksesta suorituskykyyn, jotta optimaalinen harjoittelu ja lepo voidaan toteuttaa (Borresen ja Lambert 2009).

Yleistynyt tieteellinen lähestyminen urheilijoiden harjoitusvalmiuden arviointiin käsittää säännöllisen ulkoisen ja sisäisen harjoituskuorman monitoroinnin sekä vasteiden analysoinnin (Coutts ja Cormack 2014; Halson 2014; Gabbet 2016). Suositeltavaa on, että monitorointi tapahtuisi raskaan harjoittelujakson aikana (Buchheit ym 2013) tai kilpailuun valmistavalla jaksolla (Coutts ja Cormack 2014). Monitorointimenetelmistä kaikki eivät sovellu urheiluun sellaisenaan. Esimerkiksi veriarvojen otto voidaan kokea epämukavaksi ja haastavaksi. Harjoituskuorman arvioiminen sykemittauksilla on yleisesti hyväksytty kestävyysurheilussa, mutta menetelmä on kyseenalainen joukkueurheilussa, sillä kokonaiskuorma koostuu usein osista, jotka eivät sisällä merkittävää kardiorespiratorista komponenttia, kuten voima- ja nopeusharjoittelussa (Buchheit ym. 2013). Joukkueurheilu sisältää usein suuria määriä suunnanmuutoksia, jotka ovat omiaan nostamaan perifeeristä ja systeemistä maksimaalista hapenoton vaatimusta, mutta samalla absoluuttinen anaerobinen energian kontribuutio on todennäköisesti suurempi (Buchheit ja Laursen 2013a).

Kilpailujen ja harjoitusten aiheuttamaa fysiologista ja psykologista kuormaa on tärkeitä tutkia muun muassa harjoittelun periodisaation näkökulmasta, jotta saavutetaan tavoiteltu annos-vaste-suhde (Akubat ym. 2012). Pelkästään fysiologisen kuorman mittaaminen ei välttämättä riitä, sillä esimerkiksi Brandtin ym. (2016) tutkimuksessa pienempi harjoittelumäärä näytti johtavan suurempaan jännittyneisyyteen, mentaaliseen sekavuuteen ja tarmokkuuden laskuun. Kilpailunsa voittaneet urheilijat kokivat vähemmän jännittyneisyyttä ja enemmän tarmokkuutta verrattuna hävinneisiin (Brandt ym. 2016). Toisaalta kliinisen hypoteesin mukaan harjoittelun ja kilpailun määrä on yhteydessä loukkaantumisten ja sairastumisten esiintyvyyteen urheilijoilla (Ekstrand ym. 2004). Harjoituskuorman ja sairastelun yhteys ei kuitenkaan ole täydellinen (Drew ja Finch 2016). Gabbet ja Jenkins (2011) puolestaan havaitsivat, että voimaharjoittelulla on niin positiivinen kuin negatiivinen yhteys kentällä tapahtuvien loukkaantumisten kanssa. Tämän takia myös voimaharjoittelun kuormia pitäisi monitoroida ja harjoitteita suunnitella huolella.

Käytetyin menetelmä harjoituskuorman arvioinnille on urheilijan ja valmentajan tuntemukset sekä valmentajan havainnot (Uusitalo ja Nummela 2016). Tästä huolimatta eri harjoituskuormien

monitorointimenetelmien suosio loukkaantumisten ehkäisemiseksi kasvaa yhä huippu-urheilussa, mutta myös riittävän harjoitusstimuluksen aikaansaamiseksi (Caparros ym 2015; Gabbett 2016). Valmentajilla on haastava tehtävä yhdistäessä sisäisen ja ulkoisen harjoituskuormien monitoroinnin näkökulmat tehokkaamman kokonaisharjoituskuorman arvioimiseksi (Aoki ym. 2016; Fox ym. 2018). Joukkueurheilussa haasteita luovat suuret ryhmät, jolloin on epätodennäköistä, että jokainen saa yksilöllistä harjoittelua (Impellizzeri ym. 2005). Ryhmäharjoittelussa yksilö voi kokea harjoituskuorman liian suureksi suhteessa omiin ominaisuuksiinsa, joka voi johtaa kasvaneeseen väsymykseen, loukkaantumiseen ja suorituskyvyn laskuun (Impellizzeri ym. 2005). Teknologiasta huolimatta monitoroinnin haasteena ovat usein ajanpuute, haluttomuus monitoroida ja spesifiset harjoitteet (Buchheit ym. 2020).

Naisjalkapalloilun suosiesta huolimatta tieteellisten tutkimusten määrä on vielä hyvin rajallinen verrattuna miehiin (Sprouse ym. 2020; Goulart ym. 2022). Naisjalkapalloiluun keskittyvien tieteellisten julkaisujen määrä on kuitenkin kasvanut progressiivisesti vuodesta 1939, jolloin tehtiin yksi tutkimus (Datson ym. 2017). Jo vuonna 2019 tutkimuksia oli 202 kappaletta (Okholm ym. 2021). Suosituin tutkimuskohde on ollut loukkaantumiset. Naisilla jalkapallo-ottelussa juostu volyyymi ja intensiteetti eivät juuri eroa miesten lukemista, mutta miehet suorittavat keskimäärin noin 30 % enemmän korkean intensiteetin juoksuja pelin aikana. Naispelaajilla vakavia loukkaantumisia esiintyy useammin verrattuna miehiin (Mufty ym. 2015).

1.3 Tutkimuksen rajaus

Harjoituskuorman, loukkaantumisten, sairasteluiden ja hyvinvoinnin monitorointimenetelmiä ja mittausvälineitä on lukuisia. Tässä tutkimuksessa monitorointialustana toimi Athlete Monitoring puhelinaaplikaatio. Tutkimuksessa keskitytään Athlete Monitoring -menetelmän keräämään dataan. Athlete Monitoring on globaali kokonaisvaltainen urheilijan hyvinvoinnin seurantamenetelmä. Menetelmä sisältää harjoituskuorman mittaamisen, loukkaantumisten ja sairasteluiden seurannan ja hyvinvoinnin arvioimisen. Tämän lisäksi menetelmä toimii alustana harjoitusten luomiselle ja harjoituskalenterille.

Urheilijat latsivat applikaation puhelimelleen ja syöttivät tiedot harjoituksista, loukkaantumisista, sairasteluista ja hyvinvoinnista itsenäisesti. Applikaatio oli käyttäjilleen ilmainen. Harjoitusten jälkeen täytettiin harjoituksen rasittavuutta arvioiva RPE -kysely (Rate of Perceived Exertion), jonka myötä saatiin ACWR lukema. Kerran päivässä täytettiin hyvinvointikysely, jossa kartoitettiin urheilijan päivittäistä hyvinvointia, unen määrää ja laatua, harjoittelun ulkopuolista kuormitusta, mielialaa ja lihasarkuutta. Kerran viikossa urheilijat täyttivät terveyden seurantakyselyyn.

Tämän tutkimuksen menetelmät voidaan rajata fysiologisen sekä psykologisen harjoituskuorman monitorointiin. Harjoituskuormaan ja sen monitorointiin liittyy hyvin laajoja kokonaisuuksia aina levosta fyysiseen ja psykologiseen stressiin. Pelkästään uni on hyvin laaja-alainen ja monisyinen tutkimusaihe ja tämän takia tässä tutkielmassa ei paneuduta tähän palautumisen kannalta tärkeään aiheeseen sen tarkemmin. Harjoituskuormaa voidaan myös monitoroida hyvin monesta eri näkökulmasta, kuten palautumisen, sairauden, loukkaantumisten ja kuntoutuksen kautta. Tässä tutkimuksessa syvennytään monitorointimenetelmiin, joiden tavoitteena on a) arvioida urheilijoiden harjoituskuormaa akuutti:krooninen kuormasuhteen mallin (ACWR, acute:chronic workload ratio) avulla, b) loukkaantumisten ja sairasteluiden seuranta, ja c) psykologisen hyvinvoinnin seuranta. Loukkaantumisten osalta tarkasteltiin vain ei-kontaktiperäisiä loukkaantumisia.

1.4 Tutkimuksen keskeiset käsitteet

1.4.1 Harjoituskuorma

Autonominen hermosto eli tahdosta riippumaton hermosto voidaan jakaa sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon (Nienstedt ym. 2008). Autonomisella hermostolla on keskeinen rooli muun muassa sydänperäisten toimintojen säätelyssä (Pierpont ym. 2000). Autonominen hermosto pyrkii säilyttämään homeostaasin fyysisen harjoituksen aikana sekä sen jälkeen ja tämä voi johtaa fysiologisiin adaptaatioihin elimistössä. Tästä syystä autonomisen hermoston ja harjoituskuorman muutoksen välistä suhdetta on tärkeää tutkia, sillä se voi indikoida elimistön kykyä sietää tai sopeutua harjoitusstimulukseen (Borressen ja Lambert 2008; Schwellnus ym. 2016; Quarrie ym. 2017).

Lyhytaikaisen harjoituksen jälkeen sydämen toimintaan vaikuttaa samanaikaisesti nopea parasympaattisen hermoston aktiivisuuden nousu ja sympaattisen hermoston aktiivisuuden nopea lasku (Tulppo ym. 2011). Säännöllisen kestävyysharjoittelun seurauksena parasympaattisen hermoston aktiivisuus kasvaa ja sympaattisen hermoston toiminta laskee aktiivisilla terveillä yksilöillä (Melanson ja Freedson 2001). Autonominen hermosto kontrolloi kardiovaskulaarista toimintaa sympaattisen ja parasympaattisen hermoston modulaatiolla ja tämä kahden hermoston välinen modulaation tasapaino vaihtelee harjoituskuorman muutosten myötä (Pichot ym. 2002). Harjoituksen jälkeistä sydämen autonomisen säätelyn palautumiseen kuluva aika heijastaa kardiovaskulaarisen homeostaasin palautumista (Stanley ym. 2013). Kaksi suosittua autonomisen sykkeen säätelyn mittausta ovat sykevälivaihtelu ja harjoituksen jälkeisen sykkeen palautumisen seuranta (Bellenger ym. 2016).

Harjoituskuorma voidaan määritellä seuraavasti: ”urheiluun liittyvä ja liittymätön kuorma (yksittäinen tai moniulotteinen, fysiologinen, psykologinen tai mekaaninen stressitekijä), joka kohdistuu elimistön biologiseen systeemiin (Soligard ym. 2016, s. 1031)”. Harjoituskuorma on yksilön kokema yksittäisen tai useamman harjoituskerran kumulatiivinen stressi (Halson 2104; Soligard ym. 2016). Harjoituskuormaa on monitoroitava kokonaisvaltaisella lähestymistavalla ottaen huomioon harjoituskuorman lisäksi myös muut sisäiset ja ulkoiset tekijät, kuten

loukkaantumishistorian, psykologiset, biokemialliset ja immunologiset tekijät, ympäristön, perimän, iän ja sukupuolen (Soligard ym. 2016). Harjoituskuorman kvantifioiminen tarkasti ja luotettavasti on haastavaa joukkueurheilussa liikkeiden toimintojen kompleksisuuden ja jatkuvasti vaihtuvan intensiteetin takia (Wiig ym. 2020).

Urheilijan kokema harjoituskuorma voidaan jakaa fysiologiseen ja psykologiseen kuormaan. Harjoituskuorman fysiologisia vasteita pyritään monitoroimaan pääosin objektiivisin menetelmin. Pyrkimyksenä on mitata ja arvioida elimistön toimintaa ja vastetta harjoittelun rasitukseen nähden (Nienstedt ym. 2008). Psykologisella kuormalla tarkoitetaan harjoituskuorman vaikutuksia urheilijan psykologisiin ominaisuuksiin, kuten mielialaan, tarmokkuuteen ja motivaatioon (Riikonen 2006). Psykologisella kuormalla on sekä lyhyitä että pitkäaikaisia seurauksia, jotka voivat olla yksilön kannalta kielteisiä tai myönteisiä. Lyhyellä aikavälillä tämä voi ilmetä esimerkiksi aikaansaamisen tunteena.

1.4.2 Sisäinen ja ulkoinen harjoituskuorma

Harjoituskuorma jaetaan tyypillisesti myös sisäiseen ja ulkoiseen harjoituskuormaan. Sisäinen kuorma kuvaa fyysistä kuormaa, jonka urheilija kokee (Drew ja Finch 2016). Sisäinen kuorma voidaan määrittellä urheilijalle määrätyn työkuorman aiheuttamaksi vasteeksi ulkoiselle kuormalle, jonka mittaamiseksi on olemassa useita menetelmiä (Wilke ym. 2016). Se voi olla subjektiivista tai objektiivista (Scott ym. 2013b; Drew ja Finch 2016). Sisäinen kuorma voi muodostua sykkeestä, syke-RPE-suhteesta, harjoitteluimpulssista, laktaattipitoisuudesta, laktaatti-RPE-suhteesta, sykepalautumisesta, sykevaihtelusta, biokemiallisista tai hormonaalisista muutoksista (Halson 2014). Sisäinen kuorma tai urheilijan kokema suhteellinen fysiologinen stressi ovat tärkeä stimulus harjoituksen tuomille adaptaatioille (Viru ja Viru 2000).

Ulkoinen harjoituskuorma puolestaan kuvaa työmäärää, joka on ulkoista urheilijalle, kuten juostu matka. Ulkoisen kuorman monitorointia on perinteisesti pidetty perustana valtaosalle monitorointijärjestelmiä (Halson 2014). Ulkoinen kuorma on tärkeä ymmärtää urheilijan tehdyn

työn ja urheilijan kapasiteetin ymmärtämiseksi. Uudet monitorointimenetelmät ovat olleet suosittuja, kuten GPS-paikannusjärjestelmään perustuvat menetelmät ja kiihtyvyyssmittarit (Halson 2014; Wallace ym. 2014b). Ulkoiselle harjoituskuormalle näyttäisi olevan ominaista intensiteetin suuri vaikutus harjoituskuorman muodostumiselle. Joukkueurheilussa kilpailunomainen pelitapahtuma vaatii pelaajilta jatkuvien intensiivisten kiihdytysten ja jarrutusten suorittamista, jotka muodostavat suurimman osan ulkoisen kuorman muodostumisesta (Harper ym. 2019). Harjoittelun volyyymi puolestaan vaikuttaa pääosin sisäiseen harjoituskuormaan (Aoki ym. 2016). Ulkoisen harjoituskuorman validiteetti voidaan todentaa vertaamalla mittauksia kultaiseen standardiin, mutta sisäisen harjoituskuorman menetelmissä fysiologisia markkereita on hyvin vähän saatavilla varsinkin kenttäolosuhteissa, ja monitorointimenetelmien kriteerit eivät ole yhtäläiset (Weaving ym. 2017).

1.4.3 ACWR malli

Alkuperä harjoittelun annos-vastesuhteen ymmärtämiseksi juontuu Banisterin ym. (1975) tilastolliselle mallille, jossa urheilijan sen hetkinen harjoitettavuus nähtiin positiivisten ja negatiivisten vaikutusten erotuksena. Mallin mukaan jokainen harjoitusannos aiheuttaa kaksi antagonista vastetta, joita kutsutaan positiiviseksi pitkäkestoiseksi vasteeksi eli kunnoksi (fitness) ja suureksi, mutta lyhytkestoiseksi negatiiviseksi vasteeksi eli väsymykseksi (fatigue) (Banister ym. 1975). Mallien kehittyessä on tavoitteena ollut mallien parametrien tarkempi ja luotettavampi tulkinta (Imbach ym. 2022).

Tähän malliin pohjautuen Gabbett ym. (2016) kehittivät ACWR mallin paremman harjoitettavuuden aikaansaamiseksi (Gabbett ym. 2016; Weiss ym. 2017). ACWR mallin käyttö on yleistynyt viimeisten vuosien aikana erityisesti loukkaantumisriskin seurannassa joukkueurheilussa (Blanch ja Gabbett 2016; Gabbett 2016; Impellizzeri ym. 2020a). Mallin on ehdotettu olevan parempi kuin muut monitorointimenetelmät mallintamaan kuorman ja loukkaantumisen välistä suhdetta useissa eri urheilulajeissa (Drew ym. 2017a). ACWR antaa tietoa urheilijan valmiudesta harjoitella tai kilpailla (Murray ym. 2017). Akuutin kuorman ollessa matala kokee urheilija vain vähäistä väsymystä ja kroonisen kuorman rullaavan keskiarvon

ollessa korkea, on urheilijan valmius harjoitella hyvä. Tällöin suhde on noin 1 tai vähemmän (Gabbett 2016).

ACWR:ssä akuutin ja kroonisen kuorman suhde määritellään urheilijan akuutin eli lyhyen ajan suhteena krooniseen eli pitkänajan kuorman keskiarvoon nähden (Blanch ja Gabbett 2016; Gabbett 2016; Hulin ym. 2016a). Akuutti aika käsittää tyypillisesti seitsemän päivän tarkastelujakson ja krooninen puolestaan 28 päivää (Buchheit 2017; Gabbett ja Whiteley 2017; Griffin ym. 2020; Andrade ym. 2020; Maupin ym. 2020). Eriäviä malleja on myös olemassa ja esimerkiksi Bowen ym. (2017) ja Carey ym. (2017) suosittelivat kolmen viikon kroonisen kuorman tarkastelujaksoa loukkaantumisriskin selvittämiseksi. Sopivin akuutin ja kroonisen aikajakson suhde voi myös olla hyvin lajikohtainen (Griffin ym. 2020). McCallin ym. (2018) tutkimuksessa akuutin ja kroonisen kuorman suhde 1:3 ja 1:4 näyttivät merkittävää yhteyttä ei-kontaktiperäisten loukkaantumisten kanssa. Fanchini ym. (2018) eivät puolestaan havainneet eroja tuloksissa sen suhteen oliko tarkasteluaika 2, 3 vai 4 viikkoa.

Menetelmässä sisäinen kuorma on yleisesti laskettu sRPE lukemana (session Rating of Perceived Exertion) kyselyllä (Carey ym. 2017; Buchheit 2017), mutta ulkoisen kuorman laskennaksi hyödynnetään useita eri menetelmiä. Esimeriksi jalkapallossa ulkoisen kuorman arvioimiseksi käytetään tyypillisesti GPS-menetelmää (Global Positionin Systems) (Buchheit 2017).

Gabbettin (2016) kehittämä teoreettinen ideaalinen suhdeluku ACWR suhteelle on 0,8–1,5, jolloin loukkaantumisriski olisi matalin. Tätä Gabbettin (2016) U-mallia on myös kyseenalaistettu metodologisten virheiden takia (Impellizzeri ym. 2020b). Careyn ym. (2017) tutkimuksen mukaan urheilijoilla on pienin loukkaantumisriski, kun kuorman suhde on välillä 0,8–1,0. Weissin ym. (2017) tutkimuksessa ideaalinen kuormasuhde koripalloilijoilla oli 1,0–1,49. Ideaalisen kuormasuhteen omaavilla oli kuitenkin suhteellisen paljon loukkaantumisia. Bowenin ym. (2017) tutkimuksessa kontaktivamman riski oli merkittävästi suurentunut ACWR:n suhteen ollessa

juostun kokonaismatkan osalta yli 1,76. Suurentuneen kontaktiperäisen loukkaantumisen syynä näyttäisi olevan elimistön väsyminen (Bowen ym. 2017).

ACWR mallin antama laskennallinen suhde 0,5 tarkoittaa, että urheilijan harjoittelu käsitti vain puolet kyseisen viikon suunnitellusta kuormasta. Kuormasuhde $>1,5$ tarkoittaa korkeaa kroonista kuormaa (Hulin ja Gabbett 2019). Suhde 2,0 puolestaan tarkoittaa, että koettu kuorma oli kaksi kertaa enemmän suunniteltuun nähden (Blanch ja Gabbett 2016). Tämä tarkoittaa myös, että akuutti kuorma on kaksi kertaa suurempi kuin krooninen kuorma, joka nykytiedon mukaan lisää loukkaantumisriskiä merkittävästi (Bowen ym. 2017) ellei korkean akuutin kuorman jakso kestä alle kahta viikkoa (Hulin ym. 2016a).

Suhdelukua tarkasteltaessa on hyvä ymmärtää, että normaalin harjoittelun pitäisi sisältää suhteita, jotka ovat 1,0 suunnitellun harjoituskuorman lisäämisen aikana. Kuinka paljon suhdeluku on yli 1,0 ja kuinka pitkään on oleellisempi kysymys loukkaantumisriskin suhteen (Blanch ja Gabbett 2016). Suhdelukua ei pitäisi koskaan tarkastella eristettynä (Hulin ja Gabbett 2019). Esimeriksi suhdeluku 1,5 on useissa tutkimuksissa yhteydessä kasvaneeseen loukkaantumisriskiin, mutta tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö urheilija voi harjoitella yli 1,0 suhdearvoilla, sillä toleranssi suurille kuormille on hyvin yksilöllinen (Myers ym. 2019).

ACWR mallin käyttöön liittyy myös puutteita. Ensinnäkin ulkoisen suhteellisen kuorman arvioinnissa korkeanopeuksinen juoksu (85–95 % maksiminopeudesta) kuuluu osana kuorman monitorointiin ja eri nopeuksilla juokseminen vaikuttaa eri tavalla loukkaantumisriskiin. Ongelmana on kuitenkin se, että harvoin jokaisen yksilön maksimaalista juoksunopeutta mitataan, joka toimisi lähtökohtana muiden nopeuskategorioiden määrittämiseksi (Buchheit 2017). Toiseksi kaikkien harjoitusten ja pelien tehokas monitorointi ympäri vuoden on harvoin mahdollista, sillä huipputasolla maajoukkueaikojen aikana kuormaa mahdollisesti monitoroidaan, mutta menetelmät ja mittauslaitteet vaihtelevat, data ei siirry seurajoukkueen hyödynnettäväksi tai kuormaa ei mitata laisinkaan (Buchheit 2017; Thornton ym. 2019).

Kuormitusdatan puutteen takia pelaajien kuormitusta on pyritty arvioimaan perustuen keskiarvoihin tai pelaajan kuormitushistoriaan. Kolmanneksi pelikauden jälkeen kuorman monitorointi loppuu usein kokonaan. Tämän myötä yhteisten harjoitusten alkaessa uudelleen on mallin antama suhdeluku ensimmäisten viikkojen ajan vääristynyt (Buccheit 2017). Neljänneksi voidaan nostaa esille mallin tieteelliset heikkoudet, kuten yleisten metodologisten ohjeiden puute varsinkin sisäisen ja ulkoisen harjoituskuorman valinnan suhteen, tilastollisten työkalujen määrittystä ei ole tehty ja ohjeistusta ACWR aikaikkunan valinnalle ei ole (Wang ym. 2021). Wang ym. (2021) katsauksessa ACWR mallin tutkimuksissa metodologiset näkökulmat olivat hyvin heterogeenisiä puuttuvan datan, ACWR määritelmän ja tilastollisten menetelmien suhteen.

Harjoituskuorman akuutti kasvu näyttäisi lisäävän loukkaantumisriskiä (Gabbett ym 2016; Hulin ym. 2016a; Carey ym. 2017; Colby ym. 2017; Malone ym. 2017a; Malone ym. 2017b; Murray ym. 2017; Delecroix ym. 2018; Esmaeili ym. 2018; Fanchini ym. 2018; McCall ym. 2018; Murray ym. 2018; Cummins ym. 2019; Hamlin ym. 2019; Lolli ym. 2019b; Bowen ym. 2020), kun taas suuri krooninen kuorma näyttäisi suojaavan loukkaantumisilta sekä kehittävän suorituskykyä (Gabbett 2016; Gabbett ym 2016; Soligard ym. 2016; Eckard ym. 2018; Delecroix ym. 2019b), mutta päinvastaisiakin tuloksia on havaittu (Delecroix ym. 2018; McCall ym. 2018). Myös matalan ACWR arvon on ehdotettu olevan potentiaalinen riskitekijä loukkaantumiselle (Carey ym. 2017; Esmaeili ym. 2018; Stares ym. 2018), mutta tällä hetkellä näyttö on varsin heikko (Andrade ym. 2020). Korkea krooninen kuorma yhdistettynä suuriin akuutin kuorman piikkeihin näyttäisi nostavan loukkaantumisriskiä merkittävimmin (Hulin ym. 2016a). ACWR malli tarjoaa tärkeän käytännöllisen hyödyn muihin menetelmiin verrattuna, sillä malli todentaa kuorman, mutta myös kuorman johon urheilijalla on valmiudet. Yhteydestä huolimatta on hyvä ymmärtää, että loukkaantumisriski ei kuitenkaan ole sama kuin loukkaantumisaste (Andrade ym. 2020). ACWR noudattelee paraabelia käyrää suhteessa loukkaantumisiin (Maupin ym. 2020).

Menetelmällä on havaittu olevan johdonmukainen yhteys loukkaantumisriskin suhteen (Impellizzeri ym. 2020a). Harjoitusvalmiuden välillä on havaittu niin puoltavia (Hulin ym. 2014; Blanch ja Gabbett 2016; Gabbett 2016; Gabbett ym. 2016; Hulin ym. 2016a; Hulin ym. 2016b;

Malone ym. 2017b; Griffin ym. 2020) kuin vastakkaisiakin tuloksia (Impellizzeri ym. 2021). On kuitenkin muistettava, että ACWR malli on monitorointityökalu muiden joukossa ja sitä on suositeltu vain huippu-urheiluun (Hulin ym. 2016a; Delecroix ym. 2019a; Lathlean ym. 2020) eikä sitä pitäisi käyttää yksinään loukkaantumisriskin arvioimiseen (Andrade ym. 2020; Dudley ym. 2023). Tärkeämpää olisi selvittää urheilijoiden ominaisuudet kuten ikä, vamma- ja harjoitteluhistoria, fyysiset ominaisuudet, hyvinvointikyselyn tulokset ja valmius harjoitella, jotka kaikki vaikuttavat osaltaan tavoiteltavan kuormasuhteen kuorman toleranssiin (Hulin ja Gabbett 2019; Gabbett ym. 2017).

1.4.4 Eksponentiaalisesti painotettu malli

Matemaattisesti yhdistetyssä eli perinteisessä ACWR mallissa krooninen kuorma sisältää kyseisen viikon akuutin kuorman (Windt ja Gabbett 2019; Lolli ym. 2019a). Perinteisessä mallissa osoittaja ja nimittäjä ovat matemaattisesti yhdistetty (coupled) ja täten ne näennäisesti korreloivat toisiaan (Lolli ym 2019a; Impellizzeri ym. 2020a). Perinteisessä mallissa ongelmana on se, että rullaavat keskiarvot yliarvioivat vaihtelut ja keskiarvot eivät huomio, milloin mikäkin stimulus tapahtui tarkastelu- eli harjoitusjaksolla (Menaspà 2017). Malli antaa ACWR mallin suhdearvoksi maksimin neljä huolimatta absoluuttisen kuorman muutoksien voimakkuudesta (Windt ja Gabbett 2019). Suhdeluvun käyttäminen itsessään on nähty olevan ongelmallinen (Impellizzeri ym. 2020b).

ACWR:n laskutavasta on käyty viime aikoina aktiivista keskustelua (Andrade ym. 2020; Impellizzeri ym. 2021). Williams ym. (2017a) ovat ehdottaneet eksponentiaalisesti painotettujen muuttuvien keskiarvojen mallia uutena menetelmänä akuutin ja kroonisen kuorman laskemiseksi. Loukkaantuminen on usein yhteydessä viimeisimpään koettuun kuormaan (Wang ym. 2020) ja tätä epäkohtaa eksponentiaalinen malli pyrkii korjaamaan painotetuilla arvoilla. Tässä mallissa jokainen kuorman arvo ei ole saman arvoinen, vaan jokaiselle vanhemmalle kuorman arvolle annetaan laskeva painotus, jolloin painotus on suurempi viimeisimmille kuormille (Murray ym 2017). Perinteisessä mallissa sen sijaan rullaavat keskiarvot näkevät kuorman ja loukkaantumisen välisen yhteyden lineaarisena ja tämän takia kaikki kuormat

aikajaksolla nähdään samanarvoisina (Murray ym. 2017). Rullaavassa mallissa loukkaantuminen voidaan analysoida loukkaantumispäivästä sen sijaan, että käytettäisiin koko viikkoa (Tiernan ym. 2022). Eksponentiaalimalli ei ota huomioon tulevaa viikkoa kroonisen kuorman laskussa, jolloin ei myöskään ole kuormasuhteen maksimiarvoa (Windt ja Gabbett 2019) kuten perinteisessä mallissa. Eksponentiaalimalli vaatii kuitenkin vähintään 50 mittauspäivää ennen sen käyttöönottoa ja mittausaikana ei tehdä tulkintoja tulosten perusteella (Wang ym. 2020).

$$EWMA_{today} = Load_{today} \times \lambda + ((1 - \lambda) \times EWMA_{yesterday})$$

Jossa λ on arvo 0 ja 1 välillä ja joka edustaa heikentymisen astetta korkeiden arvojen diskontatessa vanhoja havaintoja nopeammalla tasolla. λ annetaan:

$$\lambda = 2/(N + 1)$$

Jossa N on valittu ajan heikkenemisen vakio, tyypillisesti 7 päivää akuutille (väsymys) ja 28 päivää krooniselle (kunto). (Williams ym 2017a)

Vertailtaessa eksponentiaalista mallia ja perinteistä mallia ovat tulokset olleet osittain ristiriitaisia. Foster ym. (2018) päätyivät omassa tutkimuksessaan johtopäätökseen, jonka mukaan eksponentiaalinen malli olisi hyödyllisempi kuin perinteinen malli. Gabbettin ym. (2019) tutkimuksessa mallien välillä näytti olevan lähes täydellinen yhteys ja molemmissa malleissa korkeat ACWR arvot olivat yhteydessä loukkaantumisriskin kasvuun. Sen sijaan Murrayn ym. (2017) tutkimuksessa mallien tulokset olivat merkitsevästi eriävät ja heikosti yhteydessä toisiinsa. Jälkimmäisessä tutkimuksessa molemmat mallit ennustivat suurten akuuttien kuormapiikkien nostavan loukkaantumisriskiä merkittävästi. Esmailin ym. (2018) tutkimuksessa eksponentiaalisen mallin vaikutukset olivat suuremmat ja malli sopii paremmin loukkaantumisriskin arvioimiseksi.

Eksponentiaalimallin mittaus on herkempi havaitsemaan loukkaantumisriskin kasvun korkeammilla ACWR arvoilla (Murray ym. 2017; Esmailin ym. 2018; Andrade ym. 2020) ja

mahdollisesti soveltuvampi loukkaantumisriskin arviointiin kuin perinteinen rullaava malli, joka voi aliarvoida loukkaantumisriskin korkeilla ACWR arvoilla (Griffin ym. 2020). Toisaalta eksponentiaalimallin ongelmana voi olla se, ettei se huomioi tiedostettuja piikkejä harjoituskuormassa, päivittäisiä vaihteluja ja kuorman madalluksia monotonisuuden pienentämiseksi (Sampson ym. 2017). Arvon kompleksinen laskeminen tekee siitä vaikean urheilijoille ja valmentajille tulkittaessa aktiviteettimuutosten vaikutuksia ACWR:ään (Wang ym 2019).

Eri ACWR mallien vertailu ja tarkkojen raja-arvojen määrittely on vaikeata, sillä loukkaantumisen määrittely jo itsessään on monimutkaista ja kirjavaa (Hulin 2017). Vielä ei ole riittävästi tutkimustietoa menetelmien paremmuudesta (Andrade ym. 2020). Ylipäätään ACWR menetelmän systemaattisten katsausten johtopäätöksiä leimaa epäjohtonmukaisuus (MacMillan ym. 2020), joka voi johtua tutkimustulosten satunnaisuudesta, väärästä ennusteluokittelusta, valintaharhasta, vaikutusten kausaalisuuden puutteesta ja sekoittavien tekijöiden osallisuudesta (Schuit ym. 2013; Smoliga ym. 2017). Impellizzerin ym. (2020a) mukaan mallia ei pitäisi käyttää harjoituskuorman seurantamenetelmänä, mikäli tavoitteena on loukkaantumisriskin madaltaminen. Impellizzeri ym. (2021) jopa suosittelevat luopumista mallin käytöstä. Mallia on hyödynnetty laajalti myös urheilijan suorituskyvyn arvioimiseen (Lazarus ym. 2017; Ryan ym. 2021b).

1.4.5 Loukkaantuminen

Harjoittelun ja loukkaantumisen välinen yhteys on ollut tutkijoiden kiinnostuksen kohteena jo pitkään (Hägglund ym. 2013a; Gabbett ym. 2014; Drew ym. 2016; Drew ja Finch 2016; Soligard ym. 2016; Bourdon ym. 2017; Jaspers ym 2017; Jones ym. 2017; Quarrie ym 2017; Windt ja Gabbett 2017; Eckard ym. 2018; Griffin ym. 2020; Maupin ym. 2020; Hecksteden ym. 2023). Harjoituksen altistumisen vaikutuksiin perustuvia harjoituskuorman ja loukkaantumisen välistä yhteyttä tutkivia menetelmiä on kehitetty laajalti (Impellizzeri ym. 2021). Harjoituskuorman ja loukkaantumisriskin välistä yhteyttä on perinteisesti tutkittu regressiomallintamisella pitkittäistutkimuksen aineistosta (Windt ym. 2018). Tilastolliset valinnat, otoskoko ja

tutkimusasetelma vaikuttavat merkittävästi tutkimusten kykyyn määritellä vaikuttaako harjoituskuorma loukkaantumisiin (Shmueli 2010; Mansournia ym 2021).

Harjoituskuorman yhteys loukkaantumisiin on havaittu jo varhain ja tämän pohjalta on tehty oletus, että suurempi määrä harjoittelua johtaa suurempaan määrään loukkaantumisia (Gabbett 2004b). Osa loukkaantumistyypeistä on ollut kasvussa ja osa loukkaantumisista on johtanut urheilu-urien loppumiseen (Bahr ja Holme 2003). Nuorilla loukkaantuminen on nähty olevan yhteydessä urheilun drop out -ilmiöön (Bell ym. 2018) eli liikuntaharrastuneisuuden vähenemiseen murrosiässä. Varsinkin lihasperäiset loukkaantumiset ovat merkittävä huolenaihe urheilijoille ja joukkueille (Fanchini ym. 2020). Esimerkiksi jalkapallossa huipputason joukkueessa loukkaantumisia tapahtuu noin 50 kauden aikana (Ekstrand ym. 2011) ja todennäköisyys loukkaantumiselle on 50–90 % (Jones ym. 2019). Loukkaantumisella voi olla merkittävä negatiivinen vaikutus urheilijan aerobiseen suorituskykyyn (Rowland 1994), voimantuottoon (Sole ym. 1994), joukkueen ja yksilön talouteen (Hickey ym. 2014; Fanchini ym. 2020) ja kykyyn suorittaa toistuvia maksimaalisia kiihdytyksiä (Røksund ym. 2017). Lihasperäisten loukkaantumisten ehkäisy onkin jalkapallojoukkueen lääkinnällisen ja urheilutieteen osaston tärkein tehtävä (McCall ym. 2020).

Loukkaantumisiin ei määritä pelkästään harjoituskuorma (Hamlin ym. 2019; Gabbett 2020) vaan riskin muodostumiseen vaikuttavat muun muassa perfektionismi (Madigan ym. 2018), akateeminen ja emotionaalinen stressi (Ivarsson ym. 2017), uni (Milewski ym. 2014), mieliala (Hamlin ym 2019), ahdistus (Li ym. 2017), ikä (Esmaeili ym. 2018), valmentajan odotukset (Rice ym. 2016), väsymys (McCall ym. 2014) ja opiskelun ja elämän tasapainottaminen (Stallman ja Hurst 2016), pelialusta (Bjorneboe ym. 2010), pelipaikan sijainti (Hägglund ym. 2013b), onko kyseessä harjoitus vai peli (Pfirrmann ym. 2016) ja pelin tilanne tarkasteluhetkellä (Ryynänen ym. 2013). Harjoituskuorma on todennäköisesti yhteydessä loukkaantumisiin seuraavien edellytysten kautta: a) korkeat kuormat lisäävät altistumista ja loukkaantumisiin, b) kuormat lisäävät neuromuskulaarista väsymystä ja lisäävät loukkaantumisiin ja c) kuorma, joka

maksimoi positiiviset adaptaatiot ja minimoi väsymyksen vaikutukset lisäävät toleranssia loukkaantumisille (Orchard ym. 2015; Windt ja Gabbett 2017).

Jalkapallo on korkean intensiteetin ja jaksottaisten juoksujen joukkuelaji, joka vaatii pelaajalta hyvää fyysistä valmiutta suorittaa korkean intensiteetin liikkeitä, toistuvia suunnanmuutoksia, kiihdytyksiä ja jarrutuksia sekä vaativia teknisiä suorituksia (Mohr ym. 2003; Bloomfield ym. 2007). Nämä huomioiden ei ole sattumaa, että ammattilaisjalkapallossa loukkaantuminen ja sairastavuus ovat yleistä (Drawer ja Fuller 2002). Huippu-urheilijat, jotka pystyvät osallistumaan harjoituksiin vähintään 80 %: sesti omaavat merkittävästi suuremman mahdollisuuden saavuttaa heidän omat suorituskykytavoitteensa (Raysmith ja Drew 2016). Menestymisen todennäköisyyden maksimoimiseksi on kiinnitettävä huomiota sekä vammojen että sairauksien ehkäisyyn (Raysmith ja Drew 2016; Drew ym. 2017b).

Jalkapallo on muuttunut viimeisten vuosien aikana yhä nopeammaksi, intensiivisemmäksi sisältäen enemmän kilpailuja. Tämän myötä myös fyysiset ja tekniset vaatimukset ovat myös muuttuneet (Barnes ym. 2014). Sukupuolella on vaikutusta ottelun kuormituksesta palautumiseen (Goulart ym. 2022). Naisjalkapalloilu eroaa miehistä muun muassa voima- ja kestävyysominaisuuksissa, sillä naisilla ottelukohtainen juostujen spurttien, hyppyjen ja jaksottaisten kestävyysjuoksujen määrä on pienempi kuin miehillä (Bradley ym. 2014; Cardoso ym. 2020) vaikka juostu kokonaismatka kansainvälisellä tasolla on lähes sama (Aquino ym. 2019).

1.4.6 Loukkaantumisen määrittely

Urheiluperäisen loukkaantumisen määrittelemiseen vaikuttaa moni tekijä. Harjoituskuorma, väsymys, loukkaantuminen ja sairastelu ovat yleisiä termejä urheilutieteissä, mutta konsensus määritelmistä puuttuu yhä ja määritelmien käyttökin vaihtelee (Jones ym. 2017).

Loukkaantuminen voidaan nähdä kudosvauriona tai muuna normaalin fyysisen toiminnan häiriintymisenä urheilussa (Bahr ym. 2020). Perinteisen epidemiologian mukaan loukkaantuminen johtuu kineettisen energian siirtymisestä, joka vahingoittaa kudosta (Bahr ym.

2020). Loukkaantuminen voidaan luokitella kontaktiperäiseksi tai ei-kontaktiperäiseksi, joka estää tai ei estä osallistumista harjoitteluun ja/tai peliin (Bahr ja Holme 2003; Hulin ym 2014). Tällöin loukkaantumisen kokonaiskuva jää kuitenkin näkemättä, sillä useat urheilijat harjoittelevat loukkaantumisesta huolimatta (Hulin ym. 2014). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan vain ei-kontaktiperäisiä loukkaantumisia ja tutkimuksessa loukkaantumisella tarkoitetaan vain ei-kontaktiperäistä loukkaantumista.

Loukkaantumisen ajankohdan määrittäminen on hyvä aloittaa siitä hetkestä, kun loukkaantuminen tapahtuu siihen päivään asti, kunnes pelaaja on täysipainoisesti mukana harjoittelussa (Bahr ym. 2020). Tutkimuksissa loukkaantumisten esiintyvyys on yleinen mittari (Ekstrand ym. 2013), mutta tämä ei kuitenkaan ota huomioon loukkaantumisten vakavuutta.

Menetetyt harjoittelupäivät ovat yleisin määritelmä loukkaantumisten kestolle urheiluepidemiologian kentällä (Bahr 2009). Perinteisesti loukkaantumisen kesto on ilmoitettu päivinä loukkaantumisesta siihen saakka, kunnes urheilija palaa täysivoimaisesti harjoitteluun ja kilpailuun. Menetelmässä urheilija merkitsee myös loukkaantumisen vakavuuden ja anatomisen alueen, mutta ei loukkaantumisen tyyppiä tai spesifistä diagnoosia. Tämä johtuu siitä, että urheilijan ei oleteta omaavan kykyä luotettavaan diagnoosin määrittämiseen.

1.4.7 Loukkaantumisen riskitekijät

Loukkaantumisten ennaltaehkäisemiseksi on oleellista selvittää urheilijan loukkaantumiseen liittyvät riskitekijät ja vammamekanismit (Bahr ja Krosshaug 2005; O'Brien ym. 2019). Toisaalta myös loukkaantumisriskiä kohottavat olosuhteet sekä korkean loukkaantumisriskin omaavat urheilijat on hyvä identifioida (Hecksteden ym. 2023). Riskin kvantifioiminen ja riskin muodostumiseen vaikuttavat tekijät on tunnistettava mahdollisimman hyvin (Gabbett ja Whiteley 2017). Aina ei selkeästi tiedetä, kenellä on riski loukkaantua (Bahr 2016), jonka myötä urheiluorganisaatiot implementoivat heuristisia ja kliinisiä ennustusmalleja eli luovat

”nyrkkisääntöjä” objektiivisemmän käsityksen saavuttamiseksi urheilijan loukkaantumisriskistä (Bullock ym. 2021a).

Harjoituskuorma ei ole ainoa loukkaantumisriskiä lisäävä stressitekijä (Hamlin ym. 2019). Esimerkiksi jalkapallossa suurin loukkaantumisriski on havaittu olevan alle 14-vuotiailla (Malina 2010) johtuen kypsyysvaiheesta ja harjoitteluhistoriasta. Toisaalta Timminsin ym. (2016) tutkimuksen mukaan nuoret pelaajat ovat enemmän resistenttejä takareiden loukkaantumisille. Suurempi vaikutus loukkaantumisriskin muodostumiseen näyttäisi olevan kasvaneilla peli- ja harjoitusmäärillä (Price ym 2004) ja aikaisemmillä loukkaantumisilla (Brooks ym. 2005; Ekstrand ym. 2011; Freckleton ja Pizzari 2013; Jacobsson ym. 2013; Rogalski ym. 2013). Myös pelissä tai harjoituksissa tapahtuvat taklaukset ja törmäykset hyppyjen aikana näyttäisivät olevan yleisin loukkaantumiseen johtava tapahtuma käsittäen noin 50 % kaikista traumaperäisistä loukkaantumisista (López-Valenciano ym. 2020). Yhdeksi riskitekijäksi nuorilla on myös ehdotettu liian lyhyttä valmistavaa harjoittelujaksoa vastaamaan pelikauden aikaisia kuormia (Ekstrand ym. 2018). Myös varhaisen erikoistumisen urheilulajien harrastajilla on havaittu loukkaantumisriskin kasvua (Myer ym. 2015; Bell ym. 2018; Ahlquist ym. 2020). López-Valencianon ym. (2020) systemaattisessa katsauksessa loukkaantuminen jalkapallopelissä oli kymmenen kertaa todennäköisempää kuin harjoituksissa. Pierce ja Stratton (1981) puolestaan ehdottivat jo aikoinaan, että nuori urheilija kokee suurinta stressiä, kun he suoriutuvat heikosti, tekevät virheitä ja kokiessaan painostusta vanhemmilta, valmentajilta ja kanssapelaajilta.

Urheiluperäisiin loukkaantumisiin liittyy usein monimutkainen ja toisiinsa vaikuttava riskitekijöiden tapahtumaketju, jota ei täysin tunneta (Bahr ja Holme 2003). Ei ole olemassa lineaarista syy-seuraussuhdetta yhden riskitekijän ja loukkaantumisen välillä vaan pikemminkin riski koostuu useiden sisäisten ja ulkoisten tekijöiden summasta (Bittencourt ym. 2016). Näiden sisäisten ja ulkoisten riskitekijöiden ymmärtämiseksi on kehitetty useita malleja (Bittencourt ym. 2016; Windt ja Gabbett 2017). Meeuwissen dynaaminen malli pyrkii selittämään miten nämä useat tekijät vaikuttavat toisiinsa loukkaantumisen synnyssä. Mallia voidaan käyttää riskitekijöiden välisten yhteyksien selvittämiseksi tai ymmärtämään niiden osallisuutta

loukkaantumisten synnyssä (Meeuwisse ym. 2007). Lihasperäisten loukkaantumisten ennustusmalleja on perinteisesti arvioitu systemaattisilla katsauksilla (Claudino ym. 2019; Seow ym. 2020; Van Eetvelde ym. 2021), mutta näitä katsauksia leimaa tutkimusten haun kattavuuden heikko laajuus, datan alkuperä ja metodologian arviointi (Bullock ym. 2021b). Nämä tekijät yhdessä heikentävät kykyä arvioida kriittisesti näitä malleja ja niiden käyttökelpoisuutta kliinisissä olosuhteissa (Bullock ym. 2021b). Bullockin ym. (2022) systemaattisen katsauksen mukaan tällä hetkellä ei ole olemassa mallia loukkaantumisten ennustamiseen, jota voisi suositella käytäntöön. Nykyiset loukkaantumisen syyopin mallit eivät huomioi kuorman ja loukkaantumisen välistä yhteyttä riittävän tarkasti (Windt ja Gabbett 2017). Ensimmäinen multifaktorinen malli oli Meeuwissen vuonna 1994 luoma malli (Meeuwisse 1994). Malli pyrki lisäämään ymmärrystä loukkaantumisista epidemiologisesta ja multifaktoriaalisesta näkökulmasta. Meeuwissen ym. (2007) kehittivät mallia dynaamiseksi rekursiiviseksi loukkaantumisen etiologiseksi malliksi. Mallissa loukkaantumisen riskitekijät jaetaan perinteisesti kahteen pääkategoriaan: sisäisiin ja ulkoisiin riskitekijöihin. Sisäiset riskitekijät ovat tiettyjä urheilijan piirteitä, jotka voivat altistaa loukkaantumisille. Nämä riskitekijät voidaan luokitella muokattaviin tekijöihin, kuten voimatasot ja liikkuvuus sekä muokkaamattomiin, kuten ikä ja sukupuoli (Bahr ja Krosshaug 2005). Ulkoisiin riskitekijöihin lukeutuu muun muassa pelialusta (Meeuwisse ym. 2007).

Intensiivisten jarrutusten ja kiihdytysten jatkuva suorittaminen on yhteydessä neuromuskulaarisen suorituskyvyn heikkenemiseen (Young ym. 2016; Gastin ym. 2019), joka johtaa väsymyksen kehittymiseen ja loukkaantumisen riskin kasvamiseen (Carling ym. 2010; McCall ym. 2014). Väsymys voidaan jakaa subjektiiviseen ja motoriseen väsymykseen (Behrens ym. 2023). Motorinen tai yleisimmin käytetty neuromuskulaarinen väsymys tarkoittaa neuromuskulaarisen järjestelmän maksimaalisen vapaaehtoisen voimantuottokapasiteetin laskua, joka määräytyy hermo- ja lihasperäisistä tekijöistä (Enoka ja Duchateau 2016).

On oleellista ymmärtää kumuloituvan kuorman merkitys, jotta ymmärretään loukkaantumisen ja kuorman välinen suhde (Bowen ym. 2017). Tästä näkökulmasta katsottuna ACWR malli voi olla

hyvä työkalu osana päätöksentekoprosessia, kun pohditaan urheilijan mahdollista paluuta takaisin harjoitteluun tai kilpailuihin (Blanch ja Gabbett 2016). Joukkueen periodisaation suunnittelun pitäisi sisältää akuutin ja kroonisen kuorman vertailua loukkaantumisten todennäköisyyksien madaltamiseksi, ei sen takia, että pyrittäisiin ennustamaan, milloin loukkaantuminen tapahtuu, koska ACWR mallin on todettu olevan huono ennustamaan ei-kontaktiperäisiä loukkaantumisia (Fanchini ym. 2018; McCall ym. 2018). Tavoitteena on hyväksyttävän loukkaantumisriskin identifiointi kyseiseen ympäristöön ja kestäättömien loukkaantumisten osuuden todennäköisyyden madaltaminen (Hulin ja Gabbett 2019).

Kuormituksen ja loukkaantumisriskin väliseen yhteyteen liittyy usein yleisesti käytössä oleva 10 %:n sääntö (Gabbett 2016), jonka mukaan viikoittainen akuutin harjoituskuorman nousu ei saisi olla yli 10 % suhteessa krooniseen harjoituskuormaan. Viikkotasolla yli 15 %:n muutokset harjoituskuormassa johtivat loukkaantumisriskin kasvuun 21–49 % (Gabbett 2016). Lineaarinen kuorman ja loukkaantumisen välinen suhde on kehittynyt kvadraattisen suhteen ympärille, jossa tietyillä harjoittelun raja-arvoilla on suojaava vaikutus loukkaantumisriskeiltä (Gabbett 2016).

Akuutin kuorman nousu on kuitenkin riippuvainen yksilön kroonisen kuorman tasosta (Gabbett 2020). Matala krooninen harjoituskuorma voi hidastaa paluuta harjoituksiin ja peleihin ja suuri viikoittainen krooninen kuorma voi puolestaan heikentää toleranssia akuuteille kuormituksen piikeille. Yleisen konsensuksen mukaan suuret harjoituskuorman akuutit piikit nostavat loukkaantumisriskiä (Hamlin ym. 2019), mutta Gabbettin (2020) mukaan 10 % sääntöä ei ole olemassa. Lisäksi, vaikka kuorman ja loukkaantumisriskin välinen yhteys on ilmeinen ei näiden pohjalta voida kuitenkaan ennustaa loukkaantumista (Gabbett ym. 2019).

1.4.8 Sairastuminen

Sairastumisen ja harjoituskuorman yhteyttä ei ole juurikaan tutkittu verrattaessa loukkaantumisiin. Joskus sairauden ja loukkaantumisen välistä eroa on vaikea määritellä (Bahr ym. 2020). Loukkaantumisen ohella myös sairastelun ajan määrittäminen on hyvä aloittaa siitä

hetkestä, kun sairastuminen tapahtuu siihen päivään asti, kunnes pelaaja on täysipainoisesti mukana harjoittelussa (Bahr ym. 2020). Tässä tutkimuksessa sairaus määritellään henkilön terveyden tilan negatiivisena muutoksena johtaen poissaoloon harjoituksista tai peleistä. Sairastumisten kohdalla on tärkeitä kirjata oireet eikä niinkään pyrkiä diagnosoimaan tautia (Bahr ym 2020). Sairauden esiintyvyyttä tutkitaan monesti syljen immunoglobiini A ja/tai kortisolimarkkereiden avulla merkinä vastustuskyvyn toiminnasta (Jones ym. 2017).

Fyysisen harjoittelun korkea monotonisuus eli keskimääräinen päivittäinen harjoituskuorma jaettuna harjoituskuorman keskihajonnalla sekä harjoittelun rasitus eli viikoittaisen harjoituskuorman ja monotonisuuden summa ovat yhteydessä sairastuvuuteen (Foster 1998). Fosterin (1998) mukaan 84 % sairastumisista voidaan selittää edeltävällä harjoituskuorman piikillä, joka ylittää yksilön harjoituskuorman kynnyksarvon. Ylittävästä osuudesta noin 55 % ei koskaan kuitenkaan johtanut sairastavuuteen. Toisaalta Andersonin ym. (2003) tutkimuksessa sairastavuudella ja harjoituskuormalla ei havaittu merkittävää korrelaatiota. Viitteitä on siitä, että harjoitusten ja otteluiden kokonaiskesto viikkotasolla lisäisi sairastumisriskiä (Brink ym. 2010).

Myös liiallinen harjoitukseen liittyvä tai liittymätön stressi nostaa akuutin sairastumisen riskiä. Toisaalta jopa kilpailukaudella tasaisesti kasvava krooninen kuorma ei välttämättä lisää sairasteluiden esiintyvyyttä (Hamlin ym. 2019). Piggottin ym. (2008) tutkimuksessa havaittiin, että viikoittainen sisäisen kuorman 10 %:n kasvu selitti noin 40 % sairastumisista ja loukkaantumisista seuraavina 7 päivänä. Cunniffen ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin, että ajanjaksot, joilla harjoitusintensiivisyys kasvoi ja pelaaktiivisuus väheni ennen peliä, johti ylähengitysteiden infektioiden kasvuun.

Pitkäaikainen raskas fyysinen rasitus johtaa usein immuunijärjestelmän muutoksiin, jota kutsutaan myös "avoimeksi ikkunaksi" (van Erp ym. 2022). Tämä ikkuna voi kestää 3–72 tuntia, jonka aikana infektioriski on koholla (Nieman ja Pedersen 1999). Viime aikoina tähän "avoimeen

ikkunaan” on kohdistunut myös kriittistä pohdintaa kirjallisuudessa (Campbell ja Turner 2018; Simpson ym. 2020).

1.4.9 Hyvinvointi urheilussa

Hyvinvointi on pääpiirteittäin ymmärretty koostuvan hedonistisesta ja eudaimonisesta ulottuvuudesta (Forgeard ym. 2011). Hedonistiseen näkökulmaan liittyy onnellisuus, joka saavutetaan nautinnollisista kokemuksista, jotka vahvistavat positiivisia tunteita ja tyytyväisyyttä (Diener ym. 1999). Hedonistisen näkökulman tutkimiseen liittyy vahvasti positiivisten tunteiden läsnäolo ja negatiivisten tunteiden poissaolo (Diener ja Ryan 2009; Diener ym. 2017). Eudaimoninen näkökulma puolestaan keskittyy laajemmin henkilökohtaisiin ominaisuuksiin ja elämäntapaan ja tähän liittyy autonomian tunne, henkilökohtainen kasvu ja elämän tarkoitus (Giles ym. 2020).

Yksi yksilön hyvinvoinnin tärkeimmistä tekijöistä on mentaalinen terveys, joka voidaan määritellä *”hyvinvoinnin tilaksi, jossa yksilö ymmärtää omat kykynsä, on kykeneväinen käsittelemään normaalia stressiä, kykenee työskentelemään tuottavasti ja pystyy antamaan oman panoksensa omalle yhteisölle (WHO 2013, s. 12).”* Mentaalisen terveyden ja hyvinvoinnin perustavanlaatuisen merkityksen urheilussa on tunnustettu. Tästä huolimatta luotettavaa psykometristä mittaria urheilijan hyvinvoinnin arvioimiseen ei ole (Lundqvist ja Sandin 2014; Gastin ym. 2013; Macdougall ym. 2015; Rice ym. 2016; Gallo ym. 2017). Urheilijan hyvinvointi voidaan myös identifioida viiden eri tekijän mukaan, jotka ovat uni, väsymys, lihasarkuus, stressi ja mieliala, joista varsinkin väsymyksen ja lihasarkuuden on havaittu olevan keskiössä loukkaantumisten suhteen (Lathlean ym. 2020).

Yleinen tapa arvioida mentaalista hyvinvointia ovat itsetäytetyt kyselyt, koska ne ovat käytännöllisiä, yksinkertaisia ja kustannustehokkaita mittareita kertomaan urheilijan valmiutta harjoitella ja kokemuksia harjoituksen rasittavuudesta (Taylor ym. 2012; Saw ym. 2017; Ryan ym. 2022a). On myös näyttöä siitä, että itsetäytetyt kyselyt korreloivat muiden hyvinvoinnin

indeksien, kuten biologisten mittausten kanssa (Diener ja Ryan 2009). Erityisesti hyvinvoinnin alakategoriat kuten väsymys, lihasarkuus, mieliala ja uni ovat edustettuina kyselyissä (Scott ym. 2020). Yksittäisistä muuttujista lihasarkuus ja palautuminen ovat olleet suosituimpia (Jeffries ym. 2020). Viime aikoina subjektiivisen vasteen seuranta monitorointimenetelmänä on kasvanut eksponentiaalisesti (Cormack ja Coutts 2016). Ongelmana ovat vastausharha ja puutteet kyselyissä (Kahneman ja Krueger 2006). Toisaalta psykososiaalisen ilmiön mittaaminen on hyvin kompleksista ja vaikeata. Luotettavan ja eristetyn käsitteen määrittäminen on haastavaa (Giles ym. 2020).

Vaikka hyvinvoinnin tutkiminen urheilukontekstissa on yleistynyt vuosikymmenen aikana (Lundqvist 2011) ja psykologiassa yleisesti on kehitetty useita erilaisia psykometrisiä hyvinvoinnin mittausmenetelmiä sekä mentaalisen hyvinvoinnin merkitys tunnistetaan myös urheilussa (Uphill ym. 2016; Bellinger ym. 2020), ei urheiluun suunniteltuja luotettavia mittausmenetelmiä ole saatavilla (Lundqvist 2011; Rice ym. 2016). Miten hyvinvointia pitäisi mitata, miten mittareita pitäisi suunnitella tai mitä ulottuvuuksia hyvinvoinnin pitäisi sisältää? Näihin kysymyksiin ei ole vielä vastauksia (Linton ym. 2016). Tämän takia hyvinvointia arvioitaessa hyödynnetään hyvinvointia edustavia indikaattoreita kuten tyytyväisyyttä, subjektiivista eloisuutta, itsetuntoa ja ahdinkoa (Giles ym. 2020). Urheilupsykologian kirjallisuudessa hyvinvointi nähdään ”epäspesifisenä muuttujana, joka on epäjohdonmukaisesti määritelty ja määritelmään liittyy teoreettisesti kyseenalaisia indikaattoreita Lundqvist 2011, s. 118”. Mittaustavasta huolimatta tärkeätä on ymmärtää tarkasteltavan käsitteen eksakti luonne ja laajuus (Giles ym 2020).

Urheilijoiden holistinen terveys on olennainen osa suorituskykyä (Giles ym. 2020). Psykologiset taidot voivat kehittyä urheilun myötä ja nämä taidot voivat osaltaan vaikuttaa itsetuntoon, motivaatioon ja resilienssiin (Weinbergs ja Gould 2019). Fyysinen hyvinvointi voi järkkyyä esimerkiksi loukkaantumisen tai sairastelun takia.

Riski erinäisten mentaalisten häiriöiden, kuten ahdistuneisuuden ja masennuksen esiintyvyyteen on huippu-urheilijoilla yleisempää suhteessa yleiseen väestöön (Gulliver ym. 2015). Harjoittelun positiiviset vaikutukset fyysiseen hyvinvointiin on laajalti tiedossa. Harjoittelulla on myös mentaalisia hyötyjä, sillä urheilu tyypillisesti kehittää psykologisia ominaisuuksia kuten itsetuntoa, motivaatiota ja resilienssiä, jotka puolestaan edesauttavat fyysistä suorituskäkyä (Weinbergs ja Gould 2019). Alisuoriutuminen, odotukset ja uupumus sen sijaan voivat vaikuttaa negatiivisesti mentaaliseen hyvinvointiin (Rice ym. 2016). Varsinkin joukkueurheiluun liittyy olennaisesti myös sosiaalisia hyötyjä, kuten yhteenkuuluvuuden tunnetta.

Hyvinvointiin liittyvät tekijät, kuten väsymys, lihasarkuus ja stressitaso ovat hyödyllisiä tekijöitä ajateltaessa kuorman ja hyvinvoinnin yhdistettyä vaikutusta hyvinvointiin (Beéck ym. 2019). Harjoituskuorman ja koetun hyvinvoinnin välinen suhde on nähty olevan epälineaarinen (Malone ym. 2018). Koetulla hyvinvoinnilla on nähty olevan vaikutusta harjoitusintensiteettiin seuraavissa harjoituksissa ja se voi tarjota valmentajille indikaatin millaista ulkoista kuormaa voidaan olettaa harjoitusten aiheuttavan yksilölle (Gallo ym. 2016; Mooney ym. 2013). Moni tekijä vaikuttaa siihen mikä on urheilijan vaste harjoitteluun, kilpailuun ja muihin stressitekijöihin, kuten akateemisiin ja sosiaalisiin tekijöihin. Korkea kilpailullinen stressi voi johtaa kognitiiviseen ja somaattiseen ahdistukseen, joka puolestaan voi johtaa mentaaliseen väsymykseen. Esimerkiksi yliopistourheilijat kokevat akateemista stressiä, joka voi osaltaan kiihdyttää mentaalisen väsymyksen syntyä ja nostaa loukkaantumisriskiä ja suorituskäyvyn heikentymistä (Ryan ym. 2022).

Riittämättömän unen ja heikentyneen unen laadun on havaittu vaikuttavan negatiivisesti subjektiiviseen hyvinvointiin (Brandt ym. 2016; Biggins ym. 2018; Watson ja Brickson 2018). Yleisesti tiedetään, että urheilijoiden johdonmukaisesti raportoimat unen määrät ovat riittämättömät ja nuorilla riski krooniseen univajeeseen on vielä suurempi ottaen huomioon kilpailut, akateemiset vaatimukset, sosiaaliset ja urheilulliset odotukset sekä kasvuiän (Lastella ym. 2014; Gupta ym. 2017). Watsonin ja Bricksonin (2019) mukaan murrosikäisillä

naisjalkapalloilijoilla havaittiin merkittävästi heikentyneitä mielialaa, väsymystä, stressiä ja lihasarkuutta, vaikka unen ja harjoituskuorman vaikutukset huomioitiin.

Hyvinvointikyselyt ovat tehokkaita arvioimaan pelaajien kapasiteettia suoriutua harjoituksista ja peleistä (Gallo ym. 2016; Malone ym. 2018). Clarsen ym. (2013) puolestaan suosittelevat kyselyiden käyttöönottoa yllirastitusperäisten vammojen selvittämiseksi tutkimuksissa. Hyvinvointikyselyn tulokset näyttäisivät kuitenkin heikentyvän merkittävästi, jopa noin 35–40 %, pelin jälkeisenä päivänä suhteessa peliä edeltävään päivään (Thorpe ym. 2015; Malone ym. 2018). Laskenut hyvinvointi voi puolestaan olla yhteydessä heikentyneeseen kiihdytysnopeuteen sekä kykyyn ylläpitää suurinopeuksista juoksua pelin aikana (Malone ym. 2018).

Subjekttiivisen hyvinvointikyselyn tuloksen heikentyminen on identifioitu riskitekijänä loukkaantumisille useissa eri urheilulajeissa ja ikäryhmissä (Drew ja Finch 2016; Jones ym. 2017; Watson ym. 2017). Gallo ym. (2017) puolestaan tutkivat hyvinvointikyselyiden ja urheilijoiden suorituskyvyn yhteyttä. Tutkimuksessa hyvinvointikyselyllä ja ottelun fyysisellä suorituskyvyllä ei nähty olevan yhteyttä. Toisaalta hyvinvointi on määritelty heikosti aikaisemmissa tutkimuksissa ja ammattilaisurheilussa käytetyn tyyppillisen hyvinvointikyselyn validiteetti on kyseenalainen (Ryan ym. 2020b).

1.5 OSTRC-Q vammakysely

Itsetäytetyt arviot, kuten kyselyt ja päiväkirjat ovat yksinkertaisia ja kustannusehokkaita harjoituskuorman monitorointimenetelmiä, mutta niiden tehokkuus perustuu miten menetelmät ovat implementoitu ja millaista käyttö on (Halsen 2014). Tyyppillisesti tutkimuksissa kyselyillä on kerätty dataa päivittäin, kahdesti viikossa sekä kerran viikossa, mutta oikeaa frekvenssiä ei vielä kuitenkaan tiedetä (Saw ym. 2015).

OSTRC-Q kysely (The Oslo Sports Trauma Research Center questionnaire) kehitettiin alun perin tunnistamaan urheiluun liittyvät rasitusperäiset vammat. Kyselyn pohjalta kehitettiin OSTRC-Q kysely koskien terveydentilan tunnistamista, kuten sairastumisten ja akuuttien loukkaantumisen esiintyvyyttä (Clarsen ym. 2014). Rasitusperäisten vammojen tunnistaminen ja ymmärtäminen on vaikeampaa kuin traumaperäisten akuuttien vammojen, jonka takia niiden tutkiminen ei ole saanut suurta huomiota (Clarsen ym. 2013). Tyypillisesti urheilija jatkaa harjoittelua pienistä kivuista huolimatta (Bahr 2009; Myklebust ym. 2011) johtaen lopulta harjoittelun keskeytymiseen, jolloin loukkaantumisten ennaltaehkäisyssä on epäonnistuttu.

Kysely muodostuu neljästä avain kysymyksestä, jotka liittyvät terveydentilaan. Mikäli urheilija vastaa minimituloksen johonkin näistä kysymyksistä (täydellinen osallistuminen ilman ongelmia/ei rajoituksia harjoitella/ei suorituskyvyn heikentymistä/ei oireita), on kysely suoritettu sen viikon osalta. Mikäli urheilija vastasi jotain muuta, kuin minimiarvon johonkin kysymyksistä tuli urheilijalle lisäkysymyksiä koskien sairautta tai vammaa, johon he viittasivat vastauksissa. Mikäli vastauksissa tuli esille urheilijan kokema loukkaantuminen, pyydettiin vastaajaa tarkentamaan vamman sijainti ja sairauden kyseessä ollessa pyydettiin tarkentamaan merkittävimmät oireet. Poissaoloaika loukkaantumisen tai sairastelun takia määriteltiin päivien lukumääränä, jolloin urheilija ei kyennyt osallistumaan harjoituksiin täysipainoisesti. Kyselyssä tiedusteltiin myös, onko vammasta tai sairaudesta raportoitu aikaisemmin, onko ongelmaa hoidettu ja, jos niin kuka (Clarsen ym. 2013). OSTRC-Q menetelmällä on pystytty identifioimaan huomattava määrä enemmän vammoja verrattaessa standardoituun menetelmään. Menetelmä voi myös vähemmän herkempi tutkimusharjoille, sillä urheilijat ovat raportoineet datan suoraan (Clarsen ym. 2013).

1.6 Athlete Monitoring

Tutkimuksessa hyödynnettiin Athlete Monitoring sovellusta (Athlete Monitoring, FITSTATS Inc, New Brunswick, Canada) datan keruussa. Athlete Monitoring on urheilijoiden monitorointiin kehitetty sovelluspohjainen työkalu niin valmentajille kuin urheilijoille. Menetelmällä voidaan kartoittaa urheilijan kokemaa harjoituskuormaa, raportoida loukkaantumisia ja sairasteluita,

suunnitella harjoituksia, seurata kuukautiskiertoa, tallentaa testituloksia sekä muokata erilaisia subjektiivisia kysymyspatteristoja.

Tutkimuksessa urheilijoita ohjeistettiin täyttämään päivittäinen subjektiivinen hyvinvointikysely puhelimeen ladatun Athlete Monitoring sovelluksen kautta. Hyvinvointikysely sisälsi viisi teemaa, jotka olivat mieliala, unen määrä, unen laatu, harjoituksen ulkopuolinen kuormitus ja lihasarkuus. Kyselyssä teemoihin vastattiin seuraavasti: mieliala (1=erittäin huono...10=erinomainen), unen määrä (määrä tunteina), unen laatu (1=erittäin huono...10=erinomainen), harjoittelun ulkopuolinen kuormitus (1=ei ollenkaan kuormitusta... 10=todella kuormittavaa) ja lihasarkuus (1=ei ollenkaan...10=erittäin paljon). Ohjattujen ja omatoimisten harjoitusten sekä pelien rasittavuutta arvioitiin harjoituksen jälkeen RPE kyselyllä asteikolla 1-10 (1=pieni tai olematon kuormitus... 10=maksimaalinen kuormitus). Mikäli urheilija suoritti omatoimisen harjoituksen, lisättiin se myös sovellukseen. Myös harjoituksen kesto huomioitiin.

Viikoittaisessa vamma- ja oirekyselyssä (OSTRC-Q) kysyttiin osallistumisesta harjoituksiin viimeisen seitsemän päivän ajalta. Vaihtoehtoina olivat "Olen osallistunut normaalisti ilman terveysongelmia", "Olen osallistunut normaalisti, mutta minulla on ollut vamma tai sairaus", "Olen osallistunut vain osittain vamman tai sairauden takia" ja "En ole voinut osallistua lainkaan vamman tai sairauden takia". Mikäli vamma tai sairaus oli estänyt tai muuttanut harjoittelua henkilöä pyydetään tarkentamaan vamman vakavuus, missä vamma on syntynyt ja milloin. Mikäli henkilö oli harjoitellut normaalisti, kyselyssä tiedusteltiin seuraavaksi, onko henkilö aloittanut uutta lääkitystä, onko hänelle tehty koronatestiä sekä tietoja kuukautisten kierrosta.

1.7 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen ensimmäinen kappale käsittää johdatuksen tutkimukseen. Ensimmäinen kappale sisältää tutkimuksen taustatiedot ja perustelut tutkimuksen suorittamiselle sekä tutkimusilmiön

valitsemiselle. Tässä osiossa käydään läpi tutkimuksen luonne sekä tutkimuksen kannalta keskeiset käsitteet.

Tutkimuksen toisessa kappaleessa perehdytään elimistön harjoitusadaptaatioihin tutkimusilmion ymmärtämiseksi. Elimistön fysiologinen ja psykologinen vaste harjoitteluun luo pohjan useille harjoituskuorman monitorointimenetelmille ja hyvinvoinnin arviointikyselyille. Toisessa kappaleessa käydään läpi tarkemmin harjoituskuorman, loukkaantumisen ja sairastelun välistä yhteyttä. Kappaleessa käydään läpi tutkimuksen aiheeseen liittyvä aikaisempi tutkimus ja tutkimuksen kannalta keskeiseen harjoituskuorman monitorointimenetelmään, joka on subjektiivinen RPE kysely.

Kolmannessa kappaleessa käydään läpi tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset. Neljäs kappale keskittyy tutkimusaineistoon ja -menetelmiin. Kappaleessa perustellaan tutkimuksen kannalta olennaisten tilastollisten mallien ja analyysien valinnat ja perustelut.

Viidennessä kappaleessa käydään läpi tutkimuksen tulokset. Kuudes luku käsittää tutkimuksen pohdintaosion. Tässä kappaleessa pohditaan tuloksien merkityksellisyyden ohella tutkimuksen luotettavuutta sekä hyödynnettävyyttä. Kappaleessa pohditaan myös tutkimusaiheen kannalta potentiaalisia tulevaisuuden jatkotutkimuskysymyksiä. Seitsemäs kappale käsittää tutkimuksen johtopäätökset.

2 Harjoituskuorman, loukkaantumisen ja sairastelun välinen yhteys

2.1 Johdanto

Urheilijoiden harjoituskuorman monitoroinnilla ja hallinnalla pyritään loukkaantumisten ennaltaehkäisyyn ja suorituskyvyn optimointiin (Gabbett ym. 2014; Drew ym. 2016; Owoeye ym. 2020). Nykyisen tutkimustiedon mukaan loukkaantumisella ja suorituskyvyllä olisi annos-vaste – suhde. Negatiivinen lopputulema noudattelee joko parabolista (Gamble 2013) tai eksponentiaalista käyrää (Hulin ym. 2014). Suorituskyvyn osalta parabolinen yhteys vaikuttaisi olevan ilmeisempi (Busso 2003). Harjoituskuormalla on havaittu olevan yhteys myös sairastumisiin (Drew ja Finch 2016). Korkeammalla harjoituskuormalla näyttäisi olevan niin loukkaantumisia kuin sairastumisia ehkäisevä vaikutus (Veugeliers ym. 2016), mutta vastakkaisia tuloksia on myös havaittu (Fricker ym. 2005; Gleeson ym. 2013; Thornton ym. 2016; Watson ym. 2017). Korkea kuorma on mahdollisesti yhteydessä heikentyneeseen hyvinvointiin, joka puolestaan lisää herkkyyttä sairastua virusperäisiin infektioihin (Spence ym. 2007; Svendsen ym. 2015; Thornton ym. 2016). Nuorilla jalkapalloilijoilla pidempi harjoituksen kesto sekä useat psykososiaalisen stressitekijät ennustivat sairastumisen todennäköisyyttä (Brink ym. 2010).

Harjoituskuorma on urheilijan suorittaman harjoitteen harjoitusannos (Wallace ym. 2014a). Harjoituskuorman määrittäminen perustuu pääosin ulkoisen kuorman, kuten etäisyyden, voimantuoton tai toistomäärän, ja sisäisen kuorman, kuten hapenoton, sydämen sykkeen tai veren laktaatin indikaattoreihin (Buchheit 2014). Harjoittelun teoria määriteltiin noin viisi vuosikymmentä sitten, jolloin tieto urheilijoiden valmistautumisesta oli varsin puutteellista ja biologinen tietotaito perustui suhteellisen pieneen tutkimusotantaan ja alettiin puhua periodisaatiosta (Issurin 2010; Cunaman ym. 2018).

Periodisaatio voidaan määritellä tarkoituksenmukaiseksi harjoitusohjelman vaihtelun suunnitelmaksi, jotta saavutettaisiin tavoiteltu sopeutuminen harjoitteluun juuri ennen kilpailua (Koutedakis ym. 2006). Periodisaatio perustuu superkompensatioon (Issurin 2010) sekä ajatukselle, että mekaanisen kuorman parametrit johtavat suoraan biologiseen

harjoitusadaptaatioon (Kiely 2018). Periodisaatio on harjoituskuorman perinteisimpiä ja yksinkertaisimpia monitorointimenetelmiä, jossa yhtä tai useampaa harjoitusmuuttujaa, kuten volyyymiä ja/tai intensiteettiä muutetaan harjoitusohjelmassa (Issurin 2010). Harjoitusvasteita voidaan manipuloida lyhytaikaisen periodisaation optimoinnin saavuttamiseksi, mutta myös pidempiaikaisten fysiologisten ja suorituskyvyn adaptaatioiden takia (Stanley ym. 2013). Periodisaatio perustuu monitasoiselle kehittymiselle, erikoistumiselle, vaihtelevuudelle ja pitkäaikaiselle suunnittelulle (Koutedakis ym. 2006). Harjoituskuorman monitorointi voi edesauttaa hahmottamaan selkeän ja luotettavan kuvan sille, miksi suorituskyky on muuttunut vai onko se. Periodisaatio tukee harjoituskuorman hallintaa ja kannustaa pitämään kevennettyjä harjoitusviikkoja palautumisen tehostamiseksi ja stressin lievittämiseksi, jotta loukkaantumisriski madaltuisi ja suorituskyky kehittyisi (Gabbett ja Jenkins 2011; Malone ym. 2015). Viime vuosina periodisaatio on saanut osakseen paljon kritiikkiä. Kritiikin mukaan periodisaatio ei enää nykyisin olisi relevantti menetelmä urheilijan monitorointiin (Buckner ym. 2015).

Harjoituskuorman monitorointitietoa voidaan tutkia retrospektiivisesti, mutta tietoa pystytään hyödyntämään myös harjoitusten suunnittelussa. Tieto voi auttaa lisäämään ymmärrystä siitä, onko pelaajalla riittävä valmius suhteessa kilpailun fyysisiin vaatimuksiin. Monitorointi voi lisätä myös urheilijan ja valmentajan sekä koko valmennusryhmän välistä kommunikaatiota ja syventää suhdetta. Tästä huolimatta kaikki valmentajat ja tutkijat eivät alleviivaa monitoroinnin tärkeyttä, joka voi johtua riittämättömistä resursseista, ja/tai heikosta tietotaidosta koskien monitorointia ja tekniikoita (Halston 2014).

Ymmärrys harjoituskuorman vaikutuksista urheilijaan vaatii validin monitorointimenetelmän, joka on herkkä fyysisen kunnon tai suorituskyvyn muutoksille (Akubat ym. 2012).

Harjoituskuorman monitorointimenetelmiä on tutkittu laajalti ja hyödynnetty urheilussa loukkaantumisriskin madaltamiseksi (Griffin ym. 2020). Näiden menetelmien kykyä kontrolloida loukkaantumisriskiä harjoituskuormaa säätelemällä on pohdittu viime aikojen tarkasteluiden perusteella aineiston metodologisten syiden vuoksi (Impellizzeri ym. 2020b). Haasteena on useiden monitorointilaitteiden valmistajien läpinäkyvyyden puute, eri valmistajien ristiriitaiset

tiedot samasta menetelmästä sekä konsensuksen puute datan keräämisen tiheydestä ja analyysistä (Torres-Ronda ja Schelling 2017). Suorituskyky ja fysiologinen, biokemiallinen ja subjektiivinen mittaus ovat kaikki vaihtoehtoja urheilijoiden monitorointiin (Saw ym. 2016). Harjoituskuormaa on perinteisesti monitoroitu mittaamalla sykettä, hapenottoa, veren laktaattipitoisuutta ja subjektiivisilla kyselyillä, kuten RPE:llä, jotka reflektivat pääosin vain harjoituksen intensiteettiä (Kaikkonen ym. 2010). Harjoituksen kesto vaikuttaa myös harjoituskuormaan, jonka takia menetelmät, jotka huomioivat myös keston, ovat suosittuja. Vain harvalla markkereista on kuitenkin vahva tieteellinen todiste ja vielä ei ole yhtä yksittäistä täsmällistä markkeria (Halson 2014). Maksimaalisilla testeillä saadaan usein tarkkaa tietoa varsinkin suorituskyvystä. Testien tekeminen on kuitenkin haastavaa urheilijoille, sillä testit itsestään aiheuttavat väsymystä urheilijoille, joka ei ole tavoiteltavaa kilpailukaudella (Halson 2014).

Taylorin ym. (2012) katsauksessa selvitettiin huippu-urheilijoiden motiiveja harjoituskuorman monitorointimenetelmien käytölle. Katsaus sisälsi urheilijoita joukkue- ja yksilöurheilusta valtaosan vastaajista edustaen kuitenkin joukkuelajeja. Tärkein syy harjoituskuorman monitorointiin oli loukkaantumisten ehkäisy (29 %), harjoitusohjelman tehokkuuden seuranta (27 %), suorituskyvyn ylläpitäminen (22 %) ja ylläpidon välttäminen (22 %). Yleisin väsymyksen monitorointimenetelmä oli subjektiiviset kyselyt (84 %) ja raportointi oli päivittäistä (55 %), useasti viikossa (24 %), viikoittain (18 %) tai kuukausittain (2 %). Suorituskykytestiä hyödynsi 61 % vastaajista ja testit sisälsivät maksimaalisen hypyn ja/tai voimatestit, spurtit, submaksimaalisen pyöräilyn tai juoksun ja lajispesifiset testit. Nämä testit suoritettiin viikoittain (33 %), kuukausittain (30 %) tai useammin, kuin viikoittain (36 %) (Taylor ym. 2012).

Varsinkin joukkueurheilussa on tärkeää käyttää validia menetelmää monitoroitaessa sisäistä harjoituskuormaa monitoroinnin ja harjoitusprosessin muokkaamisen näkökulmasta (Wrigley ym. 2012), koska yksilöiden väliset erot vasteissa samaan ulkoiseen harjoituskuormaan voivat olla suuria (Manzi ym. 2010) ja vasteen syntyyn vaikuttaa moni tekijä (McLaren ym. 2018). Lisäksi pelipaikkakohtainen harjoituskuorma voi vaihdella merkittävästi ja tämän myötä harjoituksen

volyymien ja intensiteetin monitorointi on tärkeitä (Fox ym. 2017; Berkelmans ym. 2018) ja on suositeltu, että kuorman ohjelmointi olisi täysin pelipaikkakohtaista (Ade ym. 2016; Guerrero-Calderon ym. 2021; Martin-Lopez ym. 2021).

2.2 Elimistön sopeutuminen harjoituksen aiheuttamaan stressiin

Fyysinen harjoittelu johtaa usein väsymykseen, joka liittyy pääosin glykogeenivarastojen tyhjentymiseen, mentaaliseen väsymykseen (Nédélec ym. 2012) ja neuromuskulaariseen väsymykseen (Enoka ja Duchateau 2016). Suotuisan harjoitusvaikutuksen edellytys perustuu elimistön homeostaasin eli tasapainon järkkymiseen ja elimistön sopeutumiseen. Homeostaasia järkyttävien harjoitusten toistaminen riittävällä palautumisella voi pitkällä aikavälillä johtaa halutun fysiologisen ominaisuuden kehittymiseen (Nummela ym. 2006). Pitkällä aikavälillä sekä usein toistettuna, homeostaasi myös muuttuu siten, että palautumisen jälkeen sama harjoitusärsyke ei enää horjuta elimistöä yhtä paljon kuin aikaisemmin. Jokainen harjoituskerta haastaa elimistöä eri tavalla suhteessa harjoituksen sisältöön (Buchheit ja Laursen 2013a). Elimistön sopeutumista harjoituskuormaan voidaan tarkastella akuuttina ja pitkänajan sopeutumisena. Akuutille sopeutumiselle on luonteenomaista homeostaasin säätelyn vasteet, hapenkuljetuksen aktivointi ja energian mobilisointi ATP:n (adenosiinitrifosfaatti) muodostukseen (Viru ja Viru 2000). Pitkänajan sopeutumiseen liittyy vahvasti proteiinisynteesin sopeutuminen. Kestävyystyypinen harjoittelu johtaa myoglobiinin kasvaneisiin tasoihin, mitokondrioiden entsyymien aktiivisuuden nousuun, mitokondrioiden tiheyden kasvuun, kasvaneeseen hengityskapasiteettiin ja hapenkulkeutumiseen sekä tehostuneeseen sydämen toimintaan (Viru ja Viru 2000). Voimaharjoittelu puolestaan johtaa kasvaneeseen lihaksen poikkipinta-alaan ja/tai tehostuneeseen hermo-lihasjärjestelmän toimintaan. Kaikki muutokset lihassolutasolla ovat yhteydessä saman aikaisiin sydämen, maksan, munuaisten, endokriinien ja muiden solujen sopeutumiseen (Koutedakis ym. 2006).

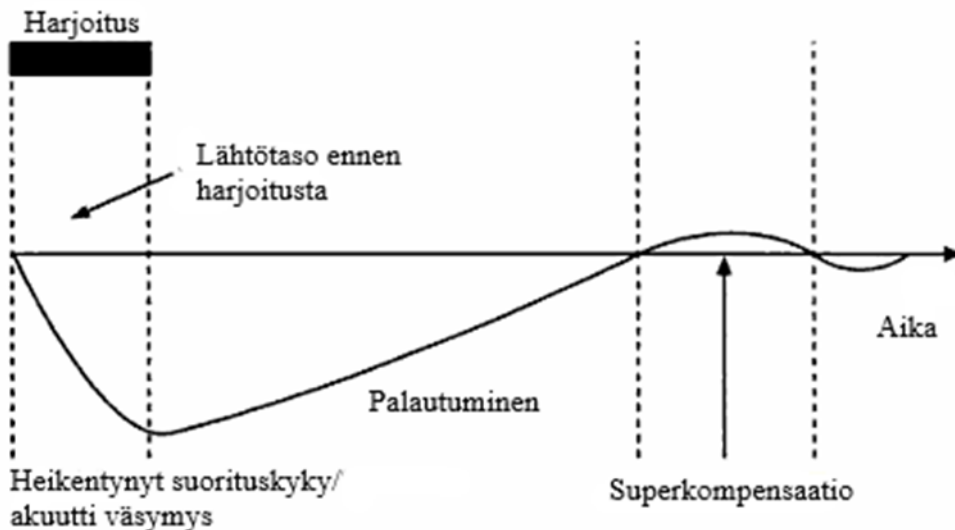
Elimistön sopeutuminen edellyttää riittävää palautumista (Thomson ym. 2016). Harjoitteluun liittyy tiiviisti akuutti väsymyksellinen tila sekä lihasten ja hermoston yllirasitus, jonka seurauksena voi esiintyä lihasarkuutta ja unettomuutta. Palautumisen aikana harjoittelun

käynnistämä hermoston ylläily ja lihasperäiset kudosaauriot palautuvat lähtötasoon nähden. Toinen intensiivinen harjoitus ilman riittävää palautumista voi johtaa lihasten ylikuormitustilaan. Kroonisessa ylikuormitustilassa havaitaan usein sykkeen nousua sekä maitohapon kerääntymistä submaksimaalisissa harjoituksissa, aikaista väsymistä harjoituksen aikana, madaltunutta kykyä sietää harjoituskuormia ja lisääntynyttä janon tunnetta (Koutedakis ym. 2006). Krooniseen kuormitustilaan voi myös liittyä päinvastaisia oireita, kuten sykkeen laskua, varsinkin urheilusuorituksen aikana, mutta myös levossa (Lehmann ym. 1992; Slivka ym. 2010).

Superkompensaatio (Kuvio 1) on keskeinen käsite elimistön sopeutumisessa.

Superkompensaatiota voi tapahtua, mikäli ulkoinen harjoituskuorma ylittää tietyn yksilöllisen raja-arvon ja tätä seuraa kuorman näkökulmasta kevyempi jakso (Brezhnev ym. 2011).

Superkompensaation ensimmäisessä vaiheessa energian tuotanto kasvaa perustasoon nähden, joka johtaa hetkelliseen suorituskyvyn laskuun. Toisessa vaiheessa, jotta suorituskyky palautuisi, on energiavarastojen täydennyttävä, homeostaasin palaututtava, lopputuotteiden poistuttava ja solujen mikroaurioiden korjaututtava (Brezhnev ym. 2011). Kolmas vaihe on tärkein siinä mielessä, että elimistö saavuttaa uuden suuremman tai kehittyneemmän homeostaasin eli tapahtuu superkompensaatio. Tämä tarkoittaa, että enemmän energiaa varastoidaan, enemmän supistuvia proteiineja syntetisoidaan, enemmän happea siirtyy mitokondrioihin tehokkaamman kapillaariverkoston myötä. Tämä prosessi kestää noin 24 tuntia, jolloin glykogeenivarastot ovat täydentyneet korkeimmilleen ja proteiinisynteesi saavuttaa korkeimman tason. Palautumiseen vievä aika riippuu harjoituksen intensiteetistä ja kestosta sekä riittävästä ravinnosta (Koutedakis ym. 2006). Kyky reflektoida homeostaattiseen häiriöön liittyviä fysiologisia ja psykologisia stressitekijöitä on lisännyt kuormituksen monitoroinnin suosiota (Buchheit 2014).



Kuvio 1. Superkompensaatioteoria (mukaellen Zatsiorsky ja Kraemer 2006).

2.3 Aikaisempien tutkimusten laatu

Harjoituskuormaan liittyvä tutkimus on hyvin laaja-alaista, mutta valtaosa tiedosta on peräisin muutamasta urheilulajista ja henkilökohtaisesta kokemuksesta sekä suuri osa tiedosta jää julkaisematta (Halson ym 2014; Bourdon ym. 2017; Kelly ym. 2020). Urheilutieteen vähäinen kontrolloitujen satunnaistettujen tutkimusten määrä heikentää löydösten voimakkuutta (Drew ym. 2016). Runsaasta kirjallisuudesta huolimatta, harjoituskuormituksen, kudosaaurion ja loukkaantumisen välisiä syyreittejä ei täysin ymmärretä (Kalkhoven ym. 2021). Andrade ym. (2020) systemaattisen katsauksen ACWR mallin ja loukkaantumisten välistä yhteyttä selvittävässä tutkimuksissa havaittiin useita metodologisia puutteita, jotka osaltaan kyseenalaistavat tutkimusten tuloksia. Valtaosassa tutkimuksia epäonnistuttiin raportoimaan, miten data siirtyi pelaajan vaihtaessa joukkuetta. Lähes kaikissa tutkimuksissa epäonnistuttiin arvioimaan sekoittavien tekijöiden riskiarviointia ja usea tutkimus ei sisältänyt otoskoon voimakkuuden laskua. (Andrade ym. 2020.) Aiellon ym. (2023) katsauksessa puolestaan yli puolessa tutkimuksista oli puutteellisesti mainittu tutkittavien ikä, kilpataso, joukkueiden ja tutkittavien lukumäärä.

Myös harjoituskuorman ja suorituskyvyn välisen yhteyden tutkimuksissa on havaittu puutteita (Ellis ym. 2021; Dudley ym. 2023). Harjoituskuorman ja aerobisen suorituskyvyn välistä annos-vastesuhdetta käsitteleviä tutkimuksia on hyvin vähän (Ellis ym. 2021). Kirjallisuuden perusteella ei myöskään ole yksimielisyyttä siitä, mikä menetelmä olisi sopivin joukkueurheilun harjoituskuormien monitorointiin (Wallace ym. 2014a; Scott ym. 2016; Fox ym. 2018).

Sniffen ym. (2022) ja Dudley ym. (2023) katsauksissa havaittiin ristiriitaista näyttöä kuorman ja loukkaantumisen välisestä yhteydestä. Tähän on kolme syytä. Ensinnäkin yleisesti käytettyjen sisäisen kuorman psyko-fysiologisten mittausten (usein RPE) ja paikallisen kudoksen mekaanisen stressi-kuormitus vasteen välinen adaptaatio on monimutkainen (Kalkhoven ym. 2021). Se millä tasolla harjoituskuorma on suhteessa loukkaantumisiin mekaanisen kuorma-vasteketjun ja psyko-fysiologisen kuorma-vasteen kautta on hyvin vaihtelevaa (Sniffen ym. 2022). Myös kudoväsymyksen aiheuttama vaurio tai trauma voi vaikuttaa näiden ketjujen lopputulemaan (Kalkhoven ym. 2021). Toiseksi vaihtelevat ja paikoin epä johdonmukaiset kuorman ja loukkaantumisen mittaukset ja mittarit aiheuttavat haasteita todellisen yhteyden määrittelemiseksi (Sniffen ym. 2022). Kolmanneksi harjoituskuorman yhteys loukkaantumisiin ja sairasteluihin on hyvin kompleksinen ja vaatii hyvin monen eri tekijän huomioimisen (Dudley ym. 2023).

Dudley ym. (2023) katsauksessa vain yhdessä tutkimuksessa tutkittiin ulkoisen harjoituskuorman ja sairastelun välistä yhteyttä. Tutkimuksen mukaan harjoituksen kestolla ja pelimäärällä viikossa näytti olevan sairastumisriskiä nostava vaikutus. Drewn ym. (2016) katsauksessa harjoituskuorman ja sairastumisen yhteys havaittiin olevan kohtalainen. Toisaalta harjoituskuormalla on havaittu olevan myös sairauksia suojaava vaikutus (Colby ym. 2014; Cross ym. 2015).

2.4 Harjoituskuorman monitorointimenetelmät

Fysiologista harjoituskuormaa voidaan kuvata elimistön vasteena harjoitteluun. Esimerkiksi fyysisen harjoittelun aikana tai sen jälkeen plasman laktaattipitoisuudet ja sykearvot vaihtelevat harjoittelun eri muuttujien, kuten intensiteetin, volyymin ja keston mukaan. Vaihteluun vaikuttaa moni muukin tekijä, kuten henkilön nestetasapaino, ilman lämpötila ja väsymys. Fyysisen harjoittelun näkökulmasta harjoituskuorma voidaan nähdä moniulotteisena rakenteena, jota määrittelee kaksi kausaalisesti vaikuttavaa tekijää: sisäinen ja ulkoinen kuorma (Impellizzeri ym. 2023).

Yleisimpiä fysiologisia harjoituskuorman monitorointimenetelmiä ovat sydämen sykkeen mittaamiseen perustuvat menetelmät, elimistön biokemiallisten markkereiden seuraaminen ja urheilijan juostun etäisyyden ja sen sisältämien kiihdytysten, jarrutusten ja suunnanmuutosten mittaaminen. Myös neuromuskulaarisen toiminnan mittaaminen on ollut suosittua huippu-urheilussa. Neuromuskulaarista toimintaa on testattu esimerkiksi erilaisilla hypyillä, kuten esikevennyshypyillä, ja mittaamalla liikkeiden kiihtyvyyttä esimerkiksi kyykkyliikkeessä. Tässä tutkimuksessa fysiologista harjoituskuormaa tarkastellaan akuutin ja kroonisen harjoituskuorman suhteella sekä sRPE menetelmällä, koska menetelmät ovat vakiintuneita huippu-urheilussa, mutta myös tieteellisessä tarkastelussa (mm. Alexiou ja Coutts 2008; Saw ym. 2016; Jones ym. 2017; Fox ym. 2018).

2.4.1 Subjektiiiset kyselyt

Ennen kilpailua koettu emotionaalinen tunne on universaalisti tunnistettu urheilijoiden ja valmentajien keskuudessa yhdeksi tärkeimmäksi tekijäksi suorituskyvyn näkökulmasta (Prapaveiss 2000). Subjektiiisen hyvinvointikyselyn on myös nähty ennustavan loukkaantumisia (Millewski ym. 2014; Watson ym. 2017). Suosittu tutkimuksen kohde on ollut selvittää menestyneiden ja ei-menestyneiden urheilijoiden mielialaeroja ennen kilpailuja (Prapaveiss 2000). Suorituskyvyn ja mielialan välillä on vahva intuitiivinen ja anekdoottinen yhteys (Beedie ym. 2000). Tutkimusten mukaan ero mielialassa menestyneiden ja ei-menestyneiden välillä on

merkittävä (Prapaveiss 2000). Ennen suoritusta mitatusta mielialasta voidaan ennustaa suorituksen tulos varsinkin lyhyen matkan lajeissa (Beedie ym. 2000).

Fysiologisen harjoituskuorman lisäksi myös psykologisella kuormalla on merkittävä vaikutus urheilijan kokeman kokonaiskuorman määrään (Schwellnus ym. 2016). Urheilu- ja ei-urheiluperäiset harjoituskuormat aiheuttavat stressiä muuttaen urheilijoiden fyysisen ja psykologisen hyvinvoinnin homeostaasia kohti akuutin väsymyksen vaihetta, lähemmäs ylirasitustilaa (Schwellnus ym. 2016). Vaikka ulkoinen harjoituskuorma on tärkeä harjoittelun suunnittelussa, on psykologinen stressi tärkeä adaptaatiolle (Clarke ym. 2013). Psykologista stressiä pidetään merkittävässä roolissa loukkaantumisten ilmaantumisessa (Brink ym. 2010; Mann ym. 2015). Esimerkiksi Mannin ym. (2015) tutkimuksessa akateeminen stressi lähes kaksinkertaisti (6,2 louk./viikko vrt. 12 louk./viikko) loukkaantumisten määrään.

Psykologiset harjoituskuorman monitorointimenetelmät ovat lähtökohtaisesti subjektiivisia kyselylomakkeita. Itsetäytettävillä kyselyillä on pyritty muuttamaan harjoitusta ja arvioimaan harjoitusvasteita, jotta poikkeamat yksilöiden harjoitusvasteissa havaittaisiin nopeasti, niihin kyettäisiin reagoimaan heti ja harjoitusohjelmien muokkaaminen olisi perusteltua. Kyselyillä pyritään myös määrittämään urheilijoiden valmiutta harjoitteluun (Gabbett 2016). Tyypillisesti urheilijat raportoivat mielialasta, stressitasoista, vireystilasta, unesta, ravinnosta ja lihasarkuudesta (Gabbett 2016). Yksi suurimmista hyödyistä näyttäisi kuitenkin olevan kyselyiden mahdollistama tai käynnistävä valmentajan ja urheilijan sekä valmentajan ja muun taustajoukon välinen keskustelu (Neumaier ym. 2013).

Subjektiivisia kyselypatteristoja on useita, mutta niiden urheiluspesifisyys voi olla heikko (Saw ym. 2015). Subjektiivisissa kyselyissä vastaajan rehellisyys voi olla puutteellista, jolloin tueksi mahdollisesti tarvitaan objektiivista mittausta. Kyselyiden heikkouksia ovat niiden usein aikaa vievä elementti, herkkyyden puute, täyttämisen ajankohta ja palautteen antoon vaadittava aika (Halson 2014). Tuloksien hyödynnettävyyttä heikentää myös, mikäli harjoituksen ja kyselyn

väläinen aika on pitkä, jolloin urheilija ei välttämättä muista tarkasti harjoituksen rasittavuutta (Saw ym. 2016). Esimerkiksi sRPE72 menetelmässä (sRPE kysely 72 tuntia harjoituksen päätyttyä) havaittiin 35,5 %:n virhe, joka tarkoittaa, että menetelmä ei olisi tarpeeksi sensitiivinen havaitsemaan pieniä ja mahdollisesti tärkeitä muutoksia harjoituskuormassa (Scantlebury ym. 2018). Näyttäisi siltä, että kyselylomakkeet olisivat sopivampia arvioimaan harjoitteluperäistä väsymystä kestävyysurheilijoilla (Wallace ym. 2014a).

Borresen ja Lambert (2009) tutkivat mitä urheilijat kirjaavat itsetäytettyihin kyselylomakkeisiin ja mitä he todella ovat tehneet. Tutkimuksessa 24 % osallistujista yliarvioi ja 17 % aliarvioi harjoituksen keston. Myös luotettavuutta ja validiteettia on kyseenalaistettu, sillä luotettavuuden on nähty laskevan sitä mukaan, kun aikaa kuluu itse harjoituksesta. Subjektiivisten kyselyiden vastauksiin voi vaikuttaa myös kulttuurilliset tai henkilöiden väliset erot. Kyselyn pituudella on myös merkitystä, sillä pitkä kysely voi tylsistyttää vastaajaa heikentäen luotettavuutta (Borresen ja Lambert 2009). On mietittävä, kuinka usein kysymyspatteristoa on tarkoitus käyttää urheilijoilla, koska turhautumisen tunne voi tulla nopeastikin, jolloin vastausten arvo heikkenee. Akuutissa vaiheessa tai esimerkiksi leirityksellä kyselyjä on yleisesti käytetty päivittäin tai jopa kaksikin kertaa päivässä. Pitkäaikaisessa monitoroinnissa kysely on toteutettu usein kerran viikossa. Myös kysymysmuotoa tai sanamuotoa on harkittava tarkkaan varsinkin, kun monitoroidaan retrospektiivisesti. Tämän lisäksi on erittäin tärkeitä, että aineisto näytetään urheilijalle merkityksellisessä muodossa (Saw ym. 2015).

Harjoitusvolyymien monitoroinnissa on havaittu huomattava virhemarginaali itseraportoitivissa kyselyissä koskien harjoituksen kestoja (Borresen ja Lambert 2007). Urheilijat voivat kokea laajat kysymykset hyvin vaikeiksi vastata (Saw ym. 2015). Subjektiiviset mittarit ovat kustannustehokkaita ja helppoja toteuttaa verrattaessa objektiivisiin mittareihin. Toisaalta vielä on epäselvää miten tarkasti subjektiiviset mittaukset reflektivat muutoksia urheilijoiden hyvinvoinnista ja miten niitä voitaisiin tehokkaasti integroida käytäntöön (Meeusen ym. 2013). Kyselyiden tulisi ehkäistä mahdollisimman hyvin tyypillisiä subjektiivisten kyselyiden virheitä,

kuten tietoista harhaa, joka johtuu usein siitä, että yksilö vastaa ryhmän yleisen mielipiteen tai hyväksynnän mukaisesti ja kokonaisarviota suosien (Saw ym. 2015).

Psykologiset indikaattorit näyttäisivät olevan herkempiä ja johdonmukaisempia kuin fysiologiset mittarit. Sawin ym. (2016) katsauksessa vajaan puoleen tutkimuksista subjektiiviset mittaukset olivat sensitiivisempiä ja johdonmukaisempia kuin objektiiviset mittaukset. Varsinkin mielialahäiriöiden, koetun stressin ja palautumisen sekä stressin oireiden tunnistaminen oli sensitiivisempää subjektiivisilla menetelmillä (Saw ym. 2016). Objektiiviset mittaukset olivat yleisesti reagoimattomia harjoittelukuormien akuuteille muutoksille, kun mittauksena oli lyhyt ja kestävä suorituskyky. Subjektiivisten monitorointimenetelmien potentiaali urheilijoiden monitoroinnissa on ymmärretty, mutta optimaalinen käyttöönotto on vielä määrittelemättä. Käyttöönottopa vaikuttaa siihen, miten hyvin urheilijan hyvinvointi reflektoituu mittauksissa ja voidaanko dataa käyttää tarkoituksen mukaisesti (Saw ym. 2015). Yleisimpiä joukkueurheilussa käytettyjä subjektiivisia menetelmiä ovat RPE, POMS ja REST-Q kyselyt (Leunes ja Burger 2000; Drew ym. 2016; McLaren ym. 2016; Saw ym. 2016).

2.4.2 RPE

RPE menetelmä on yksi yleisimmistä sisäisen harjoituskuorman monitorointimenetelmistä (Borresen ja Lambert 2008; Halson 2014; Jones ym. 2017; Buchheit 2017; Eckard ym. 2018; Foster ym. 2021; Dudley ym. 2023), joka pohjautuu Borgin (1970) asteikolle. Foster (1998) kehitti Borgin luomaa RPE menetelmää, jonka myötä otettiin käyttöön sRPE menetelmä (session Rating of Perceived Exertion), jossa yhdistyy objektiivinen (aika) ja subjektiivinen (RPE) ulottuvuus harjoituskuormaa arvioitaessa (Haddad ym. 2017; Mujika 2017). sRPE-menetelmässä henkilöä pyydetään arvioimaan harjoituksen intensiteetti (usein asteikolla 1–10) ja tämä lukema kerrotaan harjoituksen kestolla, jolloin saadaan lopputulemaksi yksi arvo kuvaamaan harjoituksen rasittavuutta (Foster 1998). sRPE arvo on intensiteetin surrogaatti (Fusco ym. 2020).

Harjoituskuorma TL (A.U.) = RPE x session kesto (min), jossa TL kuvaa harjoituskuormaa, (training load), A.U. omavaltaista yksikköä (Arbitrary Units) ja RPE koettua rasittavuustasoa (Haddad ym. 2017).

Yleistyneen käytännön mukaan RPE kysely on ohjeistettu täyttämään 30 min harjoituksen jälkeen luotettavan arvioinnin saavuttamiseksi, mutta kysely täytettynä heti harjoituksen jälkeen antaa yhtä luotettavat tulokset (Fanchini ym. 2015). RPE:n täyttäminen olisi suositeltavaa tapahtuvan ilman vertaisten läsnäoloa tulosten luotettavuuden parantamiseksi (Saw ym. 2017). RPE menetelmän yleisyys perustuu siihen, että harjoitusperäistä stressiä voidaan monitoroida harjoituksen aikana sekä retrospektiivisesti, helppokäyttöisyyteen ja hyödynnettävyyteen suhteessa muihin monitorointimenetelmiin (Impellizzeri ym. 2004; Alexiou ja Coutts 2008; Clarke ym. 2013; Halson 2014).

sRPE on yleistynyt varsinkin joukkueurheilussa sykemenetelmien puutteiden vuoksi (Alexio ja Coutts 2008; Borressen ja Lambert 2008). RPE ei kuitenkaan korvaa sykeperusteisia menetelmiä harjoitusintensiteetin validina mittarina (Impellizzeri ym. 2004), joskin tätä on kyseenalaistettu (Ungureanu ym. 2021). Menetelmä näyttäisi olevan validi ja luotettava (DellaValle ja Haas 2013; Foster ym. 2017; Lupo ym. 2020). RPE:n on havaittu olevan hyvä mittari arvioimaan intensiteettiä jaksottaisessa harjoittelussa ja menetelmä kykenee mahdollisesti huomioimaan myös fysiologisten muuttujien ulkopuoliset tekijät, jotka liittyvät kokonaisstressin muodostumiseen (Foster ym. 1995; Foster ym. 2001b; Impellizzeri ym. 2004; Rodriguez-Marraoyo ym. 2014b; Rodriguez-Zamora ym. 2014). Lisäksi RPE ottaa huomioon intensiteetin ohella harjoituksen keston (Kaikkonen ym. 2010) sekä frekvenssin (Rodriguez-Zamora ym. 2014). Casamichanan ym. (2013), Scottin ym. (2016), Nunesin ym. (2014), McLarenin ym. (2018) ja Maughanin ym. (2021) tutkimuksissa sRPE menetelmä oli merkittävästi yhteydessä useisiin ulkoisen harjoituskuorman indikaattoreihin harjoituksen aikana, kuten kokonaismatkaan, pelaajien kuormaan, ja ponnisteluiden tiheyteen korkeassa intensiteetissä (Phibbs ym. 2017). Hyvä korrelaatio on havaittu myös sykehuipun (Coutts ym. 2007), Bannisterin ja Edwardsin sykepohjaisten menetelmien (Alexiou ja Coutts 2008; Borressen ja Lambert 2008; Scott ym. 2013b; Impellizzeri

ym. 2014), minuuttiventilaation (Hampson ym. 2001) ja suhteellisen maksimaalisen hapenoton kanssa (Borg 1982).

Aikaisemmat tutkimukset ovat epäonnistuneet havaitsemaan merkittävän yhteyden joukkueurheilijoiden fyysisen kunnon muutosten ja yhden sessioperusteisen sRPE:n välillä (Gabbett ja Domrow 2007). Lisäksi sRPE:n käytössä asteikolla 1–10 on havaittu suuria mittausvirheitä verrattuna sykemittaukseen kestävyyspyöräilyn aikana (Wallace ym. 2014a) ja jaksottaisessa juoksussa (Scott ym. 2013b). On myös epäilty, onko sRPE herkkä havaitsemaan loukkaantumisriskin muodostumiselle olennaisia juoksunopeuden muutoksia (Malone ym. 2015). Tiedossa on myös, että valmentajien ja urheilijoiden käsitys harjoituksen RPE arvosta on usein hyvin eriävä (Lupo ym. 2020). Nuorten urheilijoiden kohdalla sRPE:n käyttöön pitää suhtautua kriittisesti, sillä vaikka sRPE näyttäisi olevan validi arvioimaan intensiivistä harjoittelua myös nuorilla (Kasal ym. 2021) voi nuorten kyky arvioida itseään ja kuormaa olla puutteellinen (Bourdon ym. 2017).

Taktisten haasteiden aiheuttama kognitiivinen ponnistus voi myös vaikuttaa RPE:n tulokseen (Wilke ym. 2016). Mentaalinen väsymys voi tehostaa RPE:tä ja heikentää intensiivisen, lyhytkestoisen harjoituksen suorituskykyä ehdottaen, että fyysinen ja kognitiivinen ponnistus ovat vuorovaikutuksessa ja määrittävät RPE:n (Wilke ym. 2016). Syketietojen kerääminen on helppoa, mutta datan analysointi vaatii ammattitaitoa ja se on aikaa vievää (Alexandre ym. 2012). Subjektiiiset mittaukset sen sijaan voidaan ottaa käyttöön ja raportoida nopeastikin (Bourdon ym. 2017).

sRPE:llä on myös havaittu puutteita sisäisen kuorman mittaamisessa, sillä menetelmä ei ota huomioon harjoittelutyyppejä antaen saman kuorman lyhyelle intensiiviselle harjoitukselle, kuin matalan intensiteetin pitkäkestoiselle harjoitukselle (Drew ja Finch 2016). Lisäksi menetelmään liittyy metodologisia heikkouksia, kuten koetun ponnistelun määrittelyn vaikeus (Halperin ja Emanuel 2020). sRPE korreloi hyvin sykkeen kanssa paikallaan tehtävässä tasasykkeisessä

harjoituksessa ja korkeaintensiivisen pyöräintervalliharjoituksen kanssa, mutta ei lyhytkestoisen intervalliharjoituksessa (Foster 1998; Borressen ja Lambert 2009; Wallace ym. 2009). Toisaalta on myös havaittu, että sRPE olisi validi indikaattori harjoitusintensiteetin mittaamisessa jaksottaisessa aerobisessa harjoittelussa, kuten jalkapalloharjoitteissa, mutta se ei ole validi substituutti sykemittauksille korkean intensiteetin harjoitteissa (Coutts ym. 2007). Puutteista huolimatta RPE on nähty olevan validi ja sopiva harjoituskuorman mittaamiseen yksilö- ja joukkueurheilussa (Foster ym. 2001b; Impellizzeri ym. 2004; Manzi ym. 2010; Buchheit ym. 2013; Scott ym. 2013b; Brink ym. 2014; Kelly ym. 2016; Slimani ym. 2017; Scantlebury ym. 2018).

Campos-Vazquezin ym. (2016) tutkimuksen tulokset ehdottavat, että harjoitusvolyymi ja sisäisen kuorman subjektiiviset mittaukset (kumuloinut sRPE ja RPE summa) voivat selittää noin 50 % jaksottaisen suorituskyvyn vaihtelusta harjoituskauden jälkeen. Lisäksi näyttäisi siltä, että sRPE-menetelmä voisi olla hyvä vaihtoehto sykemenetelmille sisäisen harjoituskuorman mittaamiseksi kilpailuiden aikana ammattilaisjalkapalloilijoilla (Campos-Vazquez ym. 2016). Huomioitavaa on se, että RPE on varsin hyvä menetelmä harjoituskuorman mittauksessa plyometrisessä, vastus-, ja intervalliharjoittelussa, joissa sykemenetelmät eivät ole tarkkoja tai käyttökelpoisia (Day ym. 2004; Wallace ym. 2014b). RPE menetelmän luotettavuutta ei kuitenkaan vielä ole täysin saavutettu, koska luotettavan järjestysasteikon määrittäminen on haastavaa (Scott ym. 2013a). sRPE:n ja loukkaantumisten ja fyysisen suorituskyvyn välillä on kohtuullinen tieteellinen annos-vaste-suhde (Gabbett 2005, 2016; Drew ja Finch 2016), mutta ennustamiseen menetelmä ei sovi (Raya-González ym. 2019).

sRPE on todettu olevan kustannustehokas ja helposti mitattava sisäisen kuorman menetelmä (Casamichana ym. 2013). RPE:llä on hyvä luotettavuus ja sisäinen johdonmukaisuus on todettu useissa tutkimuksissa eri ikäisillä miehillä ja naisilla (Haddad ym. 2017). Vahvoista tieteellisissä hyödyistä huolimatta näyttäisi, että ulkoisen kuorman monitorointi voisi olla relevantimpaa loukkaantumisten seurannassa (Duhig ym. 2016; Bowen ym. 2017). Onkin ehdotettu, että valmentajien pitäisi käyttää sRPE menetelmää yhdessä kiihtyvyyssmittarin kanssa sisäisen ja ulkoisen harjoituskuorman mittaamiseksi (Aoki ym. 2016).

Sawin ym. (2016) katsaus antaa tukea käsitykselle, jonka mukaan subjektiiviset mittarit reflektivat urheilijoiden hyvinvoinnin akuutteja ja kroonisia harjoitusperäisiä muutoksia. Urheilijoiden yksilöllinen arviointi, säännöllinen monitorointi ja vertailuaineiston kerääminen pitkältä ajalta on tärkeitä (Bourdon ym. 2017), sillä perusteellisesti tehtynä psykologiset indeksit voivat olla sensitiivisempiä ja johdonmukaisempia kuin fysiologiset indeksit (Meeusen ym. 2013). Useat menetelmät, kuten RPE mittaavat kuitenkin mennyttä aikaa, kun tärkeitä olisi tietää urheilijan nykytila varsinkin harjoituskuorman akuuteissa vaihteluissa (Meeusen ym. 2013). RPE sen sijaan kehitettiin alun perin, jotta sykemittausta ei tarvittaisi (Kellmann 2002). Syketietojen mittaaminen antaa kuitenkin tietoa, jota RPE ei (Halson 2014).

3 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän Pro gradu -tutkielman tavoitteena on selvittää retrospektiivisesti, onko harjoituskuormalla yhteyttä loukkaantumisiin ja sairastumisiin naisjalkapalloilijoilla. Tutkimuksessa tarkastellaan harjoituskuorman eri tekijöiden (akuutti kuorma, krooninen kuorma, RPE kysely sekä ACWR) yhteyttä loukkaantumisten ja sairasteluiden esiintyvyyteen. Tutkimuksen tavoitteena on myös tarkastella subjektiivisten itsetäytettyjen hyvinvointikyselyiden alakategorioiden (mieliala, unen määrä, unen laatu, harjoituksen ulkopuolinen kuormitus ja lihasarkuus) yhteyttä loukkaantumisten ja sairasteluiden esiintyvyyteen. Tämän lisäksi tutkittiin harjoituskuormaan ja hyvinvointiin liittyvien muuttujien välistä yhteyttä.

Tutkimuskysymykset

1. Kykeneekö ACWR malli ennustamaan loukkaantumisia ja sairasteluita?
2. Onko hyvinvointikyselyn eri osa-alueilla (unen laatu, unen määrä, mieliala, lihasarkuus ja harjoituksen ulkopuolinen kuormitus) yhteyttä loukkaantumisiin tai sairasteluihin?
3. Onko harjoituskuorman ja hyvinvointikyselyn muuttujilla korrelaatiota?

4 Aineisto ja menetelmät

Tämä Pro gradu -tutkimuksen aineisto on kerätty osana Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen Training Room -hanketta, jossa hankkeessa mukana olleille urheiluseuroille tarjottiin Athlete Monitoring sovellusta harjoituskuorman monitorointiin loukkaantumisten ennaltaehkäisemiseksi ja harjoitusten suunnittelun tueksi. Athlete Monitoring applikaation käyttökoulutus toteutettiin alkuvuodesta 2020 joukkueiden taustahenkilöille yhteisessä koulutustilaisuudessa. Lisäksi mukana olleille urheiluseuroille toimitettiin Athlete Monitoring -applikaation käyttöohjeet. Aineisto on kerätty ajalta 1.1.2020 – 31.12.2020. Puutteellisen datan vuoksi tutkimusajaksi valikoitui helmi-syyskuu (8 kk). Aineistona toimii naisten Kansallisen liigan jalkapallojoukkue JyPk (Jyväskylä). Loukkaantumiset, sairastelut, RPE- ja hyvinvointitiedot täytettiin urheilijoiden toimesta Athlete Monitoring applikaatioon.

Loukkaantumis- ja sairastumistiedot syötettiin Athlete Monitoring applikaatioon kerran viikossa OSTRC-Q menetelmän mukaisesti. Urheilija merkitsi loukkaantumisen alkamis- ja päättymisajankohdan, sijainnin kehossa sekä tiedon vaikuttaako loukkaantuminen harjoituksiin ja/tai peliin osallistumiseen. Mahdollista oli myös kirjata, oliko loukkaantuminen akuutti vai rasisperäinen ja tapahtuiko loukkaantuminen pelissä vai harjoituksissa. Sairastelun osalta kirjattiin sairastumisen alkamis- ja päättymisajankohta, sairastelun luonne sekä tieto vaikuttiko sairastelu harjoituksiin ja/tai peliin osallistumiseen.

Tutkittavat

Tutkimukseen osallistui 46 naisjalkapalloilijaa kahdesta eri Kansallisen liigan joukkueesta. Tutkimukseen valikoitui lopulta vain yhden Kansallisen liigan joukkue puutteellisen datan takia. Joukkueessa oli 21 pelaajaa. Näistä pelaajista seitsemän rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle puutteellisen datan vuoksi. Seitsemältä pelaajalta puuttui harjoituskuormadata usealta viikolta. Tutkimusjakso lyheni vuodesta kahdeksaan kuukauteen ollen helmi-syyskuu 2020. Tutkimushenkilöiden määrä (n) oli lopulta 14 (Taulukko 1). Keski-ikä 20,9 vuotta. Pelaajat raportoivat hyvinvointi-, loukkaantumis- ja sairastelutiedot 12 kuukauden ajalta. Tutkimukseen

osallistuneesta 46 pelaajasta vain neljällätoista (30,4 %) pelaajalla oli hyväksyttävä vastausaste tutkimusjaksoksi valitun ajankohdan ajan.

Pelikausi alkoi poikkeuksellisesti koronan takia 13.06.2020 viimeisen pelin ollessa 31.10.2020. Pelejä oli yhteensä 17. Tyypillisesti Kansallisen liigan pelikausi alkaa huhtikuussa ja loppuu elokuun lopussa. Pelikausi ei ollut juurikaan lyhyempi kuin ennen koronaa, mutta sarjan aloitus ja loppu olivat poikkeukselliset.

Taulukko 1. Tutkimuksen otannan urheilijoiden ikä.

Urheilija ID	Ikä (v)
1	17
2	23
3	21
4	19
5	20
6	25
7	19
8	22
9	25
10	22
11	20
12	20
13	20
14	20

keskiarvo 20,9 v

Harjoituskuorma

sRPE laskettiin kertomalla RPE lukema harjoituksen kestolla (min) käyttäen Borgin muokattua CR-10 asteikkoa (Foster ym. 2001a). Pelaajat syöttivät RPE tiedot Athlete Monitoring applikaatioon joukkueen yhteisten harjoitusten jälkeen. Mikäli pelaajat suorittivat omatoimisen harjoituksen, oli heitä ohjeistettu syöttämään harjoituksen tiedot applikaatioon. Mikäli päivän aikana oli useita harjoituksia, laskettiin näiden harjoitusten RPE lukemat yhteen. RPE tietojen

syöttämisen jälkeen Athlete Monitoring applikaatiolla voitiin seurata akuutin ja kroonisen harjoituskuorman trendejä sekä ACWR arvoja. ACWR:n täsmällinen laskenta perustuu tässä tutkimuksessa uncoupled -laskentaan, jossa nykyistä harjoitusviikkoa (akuutti) ei huomioida kroonisen kuorman laskennassa (Lolli ym. 2017) ja ACWR noudattelee perinteistä 4 viikon rullaavan keskiarvon mallia.

Harjoituskuorman ja loukkaantumisriskin välistä yhteyttä on perinteisesti tutkittu pitkittäistutkimuksilla ja regressiomalleilla (Windt ym. 2018). Tässä kvantitatiivisessa tutkimuksessa tilastollinen analyysi suoritettiin SPSS (versio 21.0.0.1; SPSS Inc, Chicago, IL) ohjelmalla. Loukkaantumisen ja sairastelun yhteyttä selittäviin muuttujiin tarkasteltiin binäärisellä logistisella regressioanalyysillä selitettävien muuttujien ollessa dikomomisiasia. Merkitsevyystaso asetettiin 5 %:in ($p < 0,05$). Lievää multikollineaarisuutta ilmeni akuutin ja kroonisen kuorman välillä (korrelaatiokerroin 0,7), mutta VIF-testin (variance Inflation factor) arvot akuutille ja krooniselle kuormalle olivat 2,99 ja 2,45 viitaten heikkoon multikollineaarisuuteen. Akuutilla ja kroonisella kuormalla sekä myös RPE-lukemalla on odotetusti yhteys, sillä akuuttia kuormaa arvioidaan RPE-kyselyllä ja krooninen kuorma muodostuu pitkän ajan akuutista kuormasta. Harjoituskuorman ja hyvinvointikyselyn muuttujien välistä yhteyttä analysoitiin lineaarisella regressiolla.

5 Tulokset

Tutkimusjakso käsitti yhteensä 34 viikkoa. Tutkimusjakson aikana kirjattiin yhteensä 23 loukkaantumista ja 18 sairastumista (Taulukko 2). Loukkaantumisista 50 % tapahtui harjoituksissa, 27 % peleissä, 18 % rasitusperäisiä ja 5 % ei ole tarkkaa tietoa. Loukkaantumisista oli akuutteja 78 %, rasitusperäisiä 17 % ja ei tarkkaa tietoa 5 %. Loukkaantumiset aiheuttivat 84 ja sairastumiset 60 poissaolovuorokautta. Loukkaantumiset jakaantuivat yhdeksälle eri pelaajalle ja sairastelut yhdelletoista. Loukkaantumiset jakaantuivat melko tasaisesti tutkimusjaksolle. Huomionarvoista on se, että loukkaantumisista 48 % tapahtui ennen sarjakauden alkamista. Vastaava lukema sairastumisien määrälle oli 73 %. Pelien määrä tutkimusjaksolla oli yhteensä 14. Akuutin kuorman keskiarvo oli 2597 (SD 1208) miniarvon ollessa 180 ja maksimin 5750. Kroonisen kuorman osalta lukemat olivat 2597 (SD 934) sekä 100 ja 5376. Tutkittavien viikkokohtainen ACWR keskiarvo vaihteli välillä 0,96–1,30 (keskiarvo 1,10 ja SD 0,69).

Taulukko 2. Loukkaantumisten ja sairasteluiden jakaantuminen.

Kuukausi	Loukkaantuminen (kpl)	Poissaolo (vrk)	Sairastuminen (kpl)	Poissaolo (vrk)	ACWR (ka)	Pelien määrä
Helmikuu	4	27	6	12	0,97	0
Maaliskuu	3	3	6	22	1,10	0
Huhtikuu	3	13	1	2	1,30	0
Toukokuu	1	4	0	0	1,20	0
Kesäkuu	4	17	0	0	1,10	3
Heinäkuu	4	13	2	9	1,03	4
Elokuu	3	6	1	7	1,17	5
Syyskuu	1	1	2	8	0,96	2
Yhteensä	23	84	18	60	1,10	14

Loukkaantuminen (kpl)

Tyyppi

Akuutti	18
Rasitus	4
Ei tietoa	1

Tapahtuma

Harjoitus	11
Peli	6
Ei tietoa	2

Taulukosta 3 havaitaan loukkaantumisten jakaantuminen kehon osittain. Yleisimmät loukkaantumiselle altistuneet kehon osat olivat reisi (35 %), nilkka (17 %) ja polvi (17 %). Sairastumiset jakaantuivat kahteen kategoriaan. Suurin osa sairastumisista luokiteltiin ylähengitystiesairauksiksi (67 %), päänsärky/huonovointisuutta (17 %) ja ei tietoa (16 %).

Taulukko 3. Loukkaantumisten jakaantuminen kehon osittain ja sairastumisten tyyppi.

Loukkaantuminen	Määrä (kpl)	Sairastuminen	Määrä (kpl)
Reisi	8	Ylähengitystiesairaus	12
Nilkka	4	Päänsärky/huonovointisuus	3
Polvi	4	Ei tietoa	3
Nivunen	2		
Sääri	1		
Alaselkä	1		
Olkapää	1		
Ei tietoa	2		

Loukkaantumisten yhteys kuormitus- ja hyvinvointitekijöihin

Kaikkien harjoituskuorman tekijöiden osalta yhteys loukkaantumisiin osoittautui tilastollisesti merkitsemättömiksi. Muuttujien p-arvot (Taulukko 4) olivat hyvin kaukana merkitsevyystasosta 0,05 (akuutti kuorma 0,806, krooninen kuorma 0,967, RPE 0,229 ja ACWR 0,427). RPE:n ja ACWR:n osalta vaikutus loukkaantumisiin oli negatiivinen (-0,278 ja -0,949).

Taulukko 4. Harjoituskuorman muuttujien ja loukkaantumisen välinen yhteys.

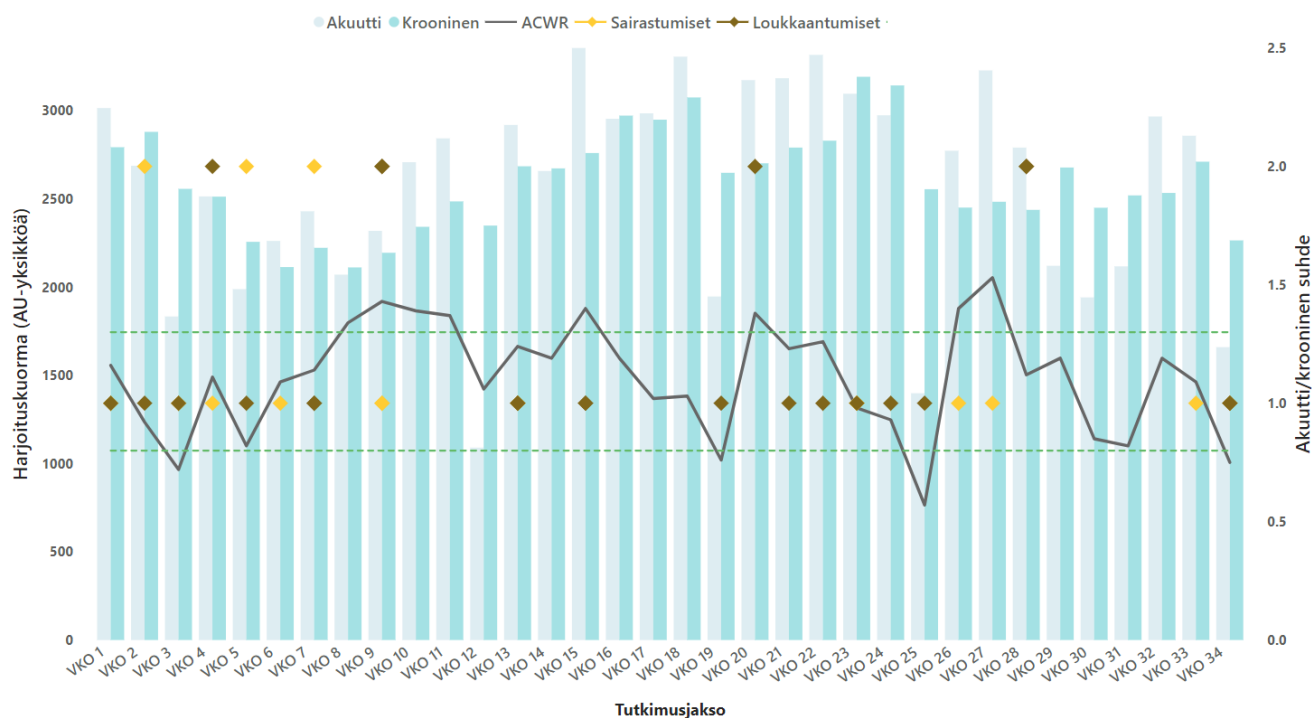
	B	S.E.	Wald	df	p-arvo	Exp(B)	95 % luottamusväli	
							Alin	Ylin
Akuutti kuorma	,000	,001	,060	1	,806	1,000	,999	1,001
Krooninen kuorma	,000	,001	,002	1	,967	1,000	,999	1,001
RPE	-,278	,231	1,445	1	,229	,757	,481	1,191
ACWR	-,949	1,196	,630	1	,427	,387	,037	4,033
Constant	-1,297	1,353	,919	1	,338	,273		

Hyvinvointitekijöiden ja loukkaantumisen osalta ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä (Taulukko 5). P-arvot olivat kaukana merkitsevyydestä 0,05 (mieliala 0,181, unen määrä 0,197, unen laatu 0,645, harjoituksen ulkopuolinen kuormitus 0,153 ja lihasarkuus 0,232). Mielialalla (0,396), unen laadulla (0,104) ja lihasarkuudella (0,234) oli positiivinen vaikutus loukkaantumisiin, kun taas unen määrällä (-0,476) ja harjoituksen ulkopuolisella kuormituksella (-0,298) negatiivinen.

Taulukko 5. Hyvinvointikyselyn muuttujien ja loukkaantumisen välinen yhteys.

	B	S.E.	Wald	df	p-arvo	Exp(B)	95% luottamusväli	
							Alin	Ylin
Mieliala	,396	,296	1,786	1	,181	1,486	,831	2,657
Unen määrä	-,476	,368	1,667	1	,197	,622	,302	1,279
Unen laatu	,104	,224	,213	1	,645	1,109	,714	1,722
Ulk.kuormitus	-,298	,209	2,038	1	,153	,742	,493	1,118
Lihaskuus	,234	,195	1,428	1	,232	1,263	,861	1,853
Constant	-2,672	3,958	,456	1	,500	,069		

ACWR:n teoreettinen, joskin kyseenalaistettu ideaalialue on 0,8–1,3, jolloin loukkaantumisriski olisi matalin (Gabbet 2016). Kuviossa 2 kyseinen ideaalialue rajautuu kahden vihreän katkoviivan sisälle. Tutkimuksessa joukkueen ACWR keskiarvo oli yli 1,3 kahdeksana viikkona ja alle 0,8 neljänä viikkona. Taulukosta 6 havaitaan, että ACWR:llä ja loukkaantumisilla ei ole selkeää korrelaatiota. Yksittäisen pelaajan korkein ACWR arvo oli 6,30.



Kuvio 2. ACWR mallin yhteys loukkaantumisiin ja sairasteluihin.

Sairastumisen yhteys kuormitus- ja hyvinvointitekijöihin

Harjoituskuorman muuttujien osalta ei havaittu tilastollisesti merkitsevää yhteyttä sairastumisiin (Taulukko 6). Selittävien muuttujien p-arvot olivat hyvin kaukana merkitsevyydestä 0,05 (akuutti kuorma 0,523, krooninen kuorma 0,635, RPE 0,074 ja ACWR 0,448). RPE:n ja ACWR:n vaikutus sairastumisiin oli negatiivinen. RPE:n ja ACWR:n yhteys sairastumisiin oli negatiivinen, kun taas akuutin ja kroonisen kuorman yhteys positiivinen.

Taulukko 6. Harjoituskuorman muuttujien ja sairastumisten välinen yhteys.

	B	S.E.	Wald	d	p-arvo	Exp(B)	95 % luottamusväli	
							Lower	Upper
Akuutti kuorma	,000	,001	,408	1	,523	1,000	,999	1,001
Krooninen kuorma	,000	,001	,225	1	,635	1,000	,999	1,001
RPE	-,494	,276	3,200	1	,074	,610	,355	1,048
ACWR	-,850	1,119	,577	1	,448	,427	,048	3,835
Constant	-,493	1,382	,127	1	,721	,611		

Hyvinvointikyselyn muuttujien osalta yhteys sairastumisiin ei ollut tilastollisesti merkitsevä minkään muuttujan osalta (Taulukko 7). Mielialalla, unen laadulla ja lihasarkuudella oli negatiivinen vaikutus sairastumiseen ja unen määrällä ja harjoituksen ulkopuolisella kuormituksella positiivinen.

Taulukko 7. Hyvinvointikyselyn muuttujien ja sairastumisen välinen yhteys.

	B	S.E.	Wald	df	p-arvo	Exp(B)	95% luottamusväli	
							Alin	Ylin
Mieliala	-,161	,238	,456	1	,500	,851	,534	1,358
Unen määrä	,793	,407	3,794	1	,051	2,210	,995	4,907
Unen laatu	-,345	,237	2,124	1	,145	,708	,446	1,126
Ulk.kuormitus	,009	,212	,002	1	,965	1,009	,666	1,530
Lihaskuus	-,130	,215	,365	1	,546	,878	,575	1,339
Constant	-5,729	4,364	1,724	1	,189	,003		

Harjoituskuormitus- ja hyvinvointitekijöiden väliset korrelaatiot

Harjoituskuorman ja hyvinvointikyselyn muuttujien korrelaatiot on kuvattu taulukossa 8. Akuutin ja kroonisen kuorman välinen korrelaatio oli 0,724 ja akuutin kuorman ja RPE:n korrelaatio 0,505. Näiden osalta yhteys oli vahva. Kohtalainen korrelaatio havaittiin mielialan ja unen laadun (0,240), lihasarkuuden ja RPE:n (0,290), lihasarkuuden ja kroonisen kuorman (0,366) ja akuutin kuorman sekä ACWR:n (0,314) välillä. Muiden muuttujien välillä ilmeni heikko korrelaatio.

Taulukko 8. Harjoituskuorman ja hyvinvointikyselyn muuttujien väliset korrelaatiot.

Muuttuja	Mieliala	Mieliala	Unen määrä	Unen laatu	Ulk. kuormitus	Lihasarkeus	Akuutti kuorma	Krooninen kuorma	RPE	ACWR
Mieliala	Pearson Correlat.	1	,044	,240**	-,192**	-,171**	-,025	-,034	-,002	-,128**
	Sig. (2-tailed)		,338	,000	,000	,000	,588	,462	,973	,005
Unen määrä	Pearson Correlat.	,044	1	,131**	-,284**	,052	,197**	,227**	-,013	,102*
	Sig. (2-tailed)	,338		,004	,000	,253	,000	,000	,780	,025
Unen laatu	Pearson Correlat.	,240**	,131**	1	-,097*	,049	,088	,091*	,135**	-,048
	Sig. (2-tailed)	,000	,004		,034	,283	,056	,048	,003	,293
Ulk. kuormitus	Pearson Correlat.	-,192**	-,284**	-,097*	1	,366**	,114*	,194**	,262**	-,079
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,034		,000	,013	,000	,000	,087
Lihasarkeus	Pearson Correlat.	-,171**	,052	,049	,366**	1	,281**	,366**	,290**	-,043
	Sig. (2-tailed)	,000	,253	,283	,000		,000	,000	,000	,346
Akuutti kuorma	Pearson Correlat.	-,025	,197**	,088	,114*	,281**	1	,724**	,505**	,314**
	Sig. (2-tailed)	,588	,000	,056	,013	,000		,000	,000	,000
Krooninen kuorma	Pearson Correlat.	-,034	,227**	,091*	,194**	,366**	,724**	1	,424**	-,020
	Sig. (2-tailed)	,462	,000	,048	,000	,000	,000		,000	,669
RPE	Pearson Correlat.	-,002	-,013	,135**	,262**	,290**	,505**	,424**	1	,083
	Sig. (2-tailed)	,973	,780	,003	,000	,000	,000	,000		,071

	Mieliala	Mieliala	Unen määrä	Unen laatu	Ulk. kuormi-tus	Lihis-arkuus	Akuutti kuorm a	Krooninen kuorma	RPE	ACWR
ACWR	Pearson Correlat.	-,128**	,102*	-,048	-,079	-,043	,314**	-,020	,083	1
	Sig. (2-tailed)	,005	,025	,293	,087	,346	,000	,669	,071	

** korrelaatio merkitsevä tasolla 0,01 (2-tailed), * korrelaatio on merkitsevä tasolla 0,05 (2-tailed)

6 Pohdinta

6.1 Tulosten tarkastelu

Loukkaantumisten ja sairasteluiden ennustaminen harjoituskuormamallien pohjalta on osoittautunut haastavaksi (Impellizzeri ym. 2020, 2021, 2023). Hyvinvointi ja suorituskyky ovat itsessään hyvin moniulotteisia, usein laajasti määriteltävissä ja koostuvat useista eri tekijöistä, jolloin hyvinvointiin liittyvien tekijöiden ja loukkaantumisten ja sairasteluiden yhteys voi olla vaikeasti havaittavissa (Avalos ym. 2003; Imback ym. 2022). On myös hyvä huomioida, että loukkaantumisten syy on harvoin yksiselitteinen tapahtuma, vaan se on seurausta sisäisten ja ulkoisten tekijöiden vuorovaikutuksesta (Bahr ja Holme 2003). Sisäisistä tekijöistä muun muassa loukkaantumishistoria on havaittu altistavan urheilijoita loukkaantumisille (Bahr ja Holme 2003; Esmaeili ym. 2018). Ulkoisista tekijöistä varusteet, alusta ja ilmasto vaikuttavat loukkaantumisiin (Bahr ja Holme 2003). Tässä tutkimuksessa ei huomioitu ulkoisia tekijöitä. Tämän tutkimuksen tärkeimmän havainnon mukaan ACWR malli ei kyennyt ennustamaan loukkaantumisia ja sairasteluita. Lisäksi hyvinvointikyselyn muuttujilla ei näyttäisi olevan selkeää korrelaatiota loukkaantumisten ja sairasteluiden kanssa.

Kuormituksen ja loukkaantumisriskin välistä suhdetta analysoitaessa tilastolliseen voimakkuuteen vaikuttavista tekijöistä tärkein on vammojen määrä (Bahr ja Holme 2003). Tässä tutkimuksessa vuoden seurantajaksosta huolimatta tutkimusjakso jouduttiin lyhentämään 8 kuukauteen sekä tutkittavien määrä väheni yli 30 %:lla puutteellisen myötä. Nämä osaltaan vaikuttavat loukkaantumisten määrään, joka tutkimuksessa oli 23, kun Bahr ja Holme (2003) ehdottavat, että otoskoon olisi hyvä sisältää ainakin 200 loukkaantumista. Pieni loukkaantumisten, sairasteluiden ja tutkittavien lukumäärä mahdollisesti heikensi korrelaatioita ja nosti sattuman merkitystä, jonka takia muuttujien väliset yhteydet selitettäviin tekijöihin eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Toisaalta on myös muistettava, että urheilussa vähäinen loukkaantumisten ja sairasteluiden määrä on tavoiteltavaa. Tässä tutkimuksessa muuttujien väliset korrelaatiot olivat binäärisen regression lisäksi myös Poissonin lineaarisella regressiomallilla tilastollisesti merkitsemättömiä (dataa Poissonin regressiosta ei esitetty tässä tutkimuksessa).

Tutkimuksessa joukkueen viikkokohtainen ACWR:n keskiarvo noudatteli osaltaan superkompensaatiomallia kuormituksen kasvaessa ja laskiessa säännöllisesti. ACWR ei pysynyt pitkiä jaksoja loukkaantumisten näkökulmasta liian korkealla tai matalalla. Toisaalta loukkaantumisten näkökulmasta suuret vaihtelut akuutissa kuormassa nostavat loukkaantumiseriskiä, mutta tässä tutkimuksessa akuutin kuorman piikit eivät toistettavasti lisänneet loukkaantumisia. ACWR:n viikoittainen keskiarvo ylitti toisinaan pidetyn loukkaantumiseriskiä nostavan suhdearvon 1,3. Viikoilla 8–11 kuormasuhde oli jatkuvasti yli 1,3, mutta se ei näkynyt kasvaneina loukkaantumisina. Toisin kuin yleisesti ajatellaan ei tässä tutkimuksessa loukkaantumisten esiintyvyyteen vaikuttanut pelien määrä, sillä 48 % loukkaantumisista ilmeni jaksena, jolloin sarjapelejä ei pelattu.

ACWR:n ja sairastumisten välillä ei myöskään havaittu yhteyttä. Sairastumiset ilmenivät tutkimusjakson alussa ja lopussa, valtaosan sijoituessa ensimmäisille viikoille (73 % sairastumisista esiintyi tutkimusviikoilla 1–12 käsittäen helmi-huhtikuun). Pelien määrällä ei myöskään näyttänyt olevan vaikutusta sairasteluiden määrään. Unen määrän on nähty vaikuttavan sairasteluiden määrään (Fitzgerald ym. 2019), mutta tässä tutkimuksessa korrelaatiota ei havaittu. Helmi-huhtikuun sairasteluiden suurta määrää suhteessa muihin kuukausiin selittää todennäköisimmin vuoden aikaan liittyvät normaalit influenssakaudet sekä koronavirus.

Harjoituskuorman muuttujien toisiaan korreloiva vaikutus selittyy sillä, että muuttujat ovat kytköksissä toisiinsa. Akuutin ja kroonisen kuorman erittäin vahva korrelaatio on odotettu tulos, sillä krooninen kuorma koostuu akuutin neljän viikon kuorman keskiarvosta. Akuutin kuorman ja RPE lukeman vahva korrelaatio johtu puolestaan siitä, että subjektiivisella RPE kyselyllä arvioidaan harjoituksen (akuutin kuorman) rasittavuutta. Mikäli harjoitus on ollut intensiteetiltään raskas, on RPE lukema oletettavasti myös korkea. Unen määrän vähenemistä ja unen laadun heikentymistä on havaittu harjoituskuormien nousun myötä (Dumortier ym. 2018; Lastella ym. 2020). On havaittu, että päivittäinen harjoituskuorma korreloi negatiivisesti riittävän subjektiivisen unen määrän ja laadun kanssa nuorilla urheilijoilla. Heikentynt unen määrä on

havaittu olevan yksistään riskitekijä loukkaantumisille (Milewski ym. 2014). Tämän tutkimuksen mukaan harjoituksen rasittavuudella ei ollut yhteyttä unen määrään tai laatuun sekä unen määrällä tai laadulla ei ollut yhteyttä loukkaantumisiin. Vastaavia tuloksia on havaittu esimerkiksi Watsonin ym. (2017) tutkimuksessa.

Lihasarkuus voidaan nähdä kudosvauriona ja ikään kuin esiasteena ylikuormitusvammoille (Montgomery ja Hopkins 2013). Lathlean ym. (2020) tutkimuksessa vain lihasarkuudella ja stressillä nähtiin olevan yhteys tulevan viikon loukkaantumisiin. Tämä tutkimus ei havainnut yhteyttä lihasarkuuden ja loukkaantumisten välillä, mutta lihasarkuudella ja RPE:llä sekä kroonisella kuormalla oli kohtalainen korrelaatio. Heikentynyt mieliala on nähty olevan jopa yksittäinen loukkaantumisia ennustava tekijä (Watson ym. 2017; Milewski ym. 2014). Mielialan akuutit vaihtelut voivat johtaa heikkoihin päätöksiin harjoituksissa tai pelissä, jotka voivat nostaa riskiä loukkaantumisille tai sairastumisille (Watson ym. 2017). Tämän tutkimuksen tulosten mukaan mieliala korreloi kohtalaisesti vain unen laadun kanssa, mutta mielialalla ei havaittu yhteyttä loukkaantumisiin.

6.2 Tutkimuksen luotettavuus

Yleisesti voidaan sanoa, että urheilijoille suunnatut, urheilijoiden täyttämät kyselyt (AROM, athlete-reported outcome measures) ovat sisällöllisen validiteetin näkökulmasta heikkolaatuisia, mutta sisäinen johdonmukaisuus on laadukas (Jeffries ym. 2020). Toisaalta pitkittäistutkimuksissa tiedonkeruussa puuttuva data on lähes väistämätöntä (Karahalios ym. 2012). Tässä tutkimuksessa on myös huomioitava, että harjoituskuormatietojen puuttuminen on voinut johtaa valintaharhaan (Bache-Mathiesen ym. 2022). Mielenkiintoista on, että yleisimmin urheilussa käytössä olevia monitorointimenetelmiä ei ole validoitu, vaikka usein on mainittu validiteetista menetelmän kohdalla. Ongelmana on usein se, että hyvinvoinnin eri osa-alueita (esim. uni ja stressi) yhdistetään kyselyyn ilman, että niitä on validoitu (Jeffries ym. 2020).

Bullockin ym. (2022) katsauksessa valtaosa urheilun lihasvammaperäisten loukkaantumisten ennustumalleista arvioitiin suuren harhan riskin omaaviksi. Havaittiin myös, että malleja, joita voitaisiin suositella käytännön tasolla ei tällä hetkellä ole saatavilla. Tyypillisesti nämä mallit pohjautuvat pienelle otoskoolle ja mallien suorituskyky oli sopimaton ja epätäydellisesti arvioitu. Mikään näistä malleista ei ole ulkoisesti validoitu (Bullock ym. 2022). Vaikka ACWR malli on yleisesti käytössä, on sen kyky ennustaa loukkaantumisia kyseenalaistettu.

Tämän tutkimuksen luotettavuutta heikentää se, että ulkoista harjoituskuormaa (esim. GPS-menetelmän antama data) ei kerätty. Ulkoinen harjoituskuorma tarjoaa usein objektiivista tietoa kuormituksesta, kuten harjoituksissa juostu kokonaismäärä. Lisäksi tutkimuksessa raportointi oli urheilijan vastuulla, jolloin pitää arvioida vastaajien rehellisyyttä raportoida loukkaantumisten ja sairasteluiden määrä, sillä jalkapallossa on havaittu loukkaantumisten aliraportointia (Hammond ym. 2014). Tiedossa ei ollut harjoitusten kokonaismäärää tai harjoitusohjelmaa. Näin ollen ei voida verrata harjoitustuntien kokonaismäärää vastaaviin tutkimuksiin ja arvioida loukkaantumisten ja sairasteluiden määrää 1000 tuntia kohden. Tutkittavien loukkaantumishistoria ei myöskään ollut tiedossa.

Tutkimukseen valikoitujen henkilöiden datan kirjaaminen oli poikkeuksetta laadukasta ja puuttuvaa dataa ilmeni vain tilanteessa, jossa vastaajalta puuttui muuttujan osalta tiedot viikkotasolla. Puuttuva data korvattiin kyseisen vastaajan edellisen viikon keskiarvolla. Yksimielisyyttä puuttuvan datan käsittelyn suhteen ei kuitenkaan ole harjoituskuorman tutkimuskentässä (McCall ym. 2018). Datan laadusta huolimatta, voidaan pohtia heikentäkö tutkimuksen luotettavuutta merkittävimmin otoskoon ja loukkaantumisten ja sairasteluiden pieni määrä, joka on mahdollisesti vaikuttanut heikkoihin korrelaatioihin. Esimeriksi Watsonin ym. (2017) tutkimuksessa otoskoko oli 75 naisjalkapalloilijaa ja tutkimusjakso kesti vain 20 viikkoa. Loukkaantumisia kirjattiin 34 ja sairastumisia 54, mutta hyvinvoinnin muuttujien ja ACWR:n sekä loukkaantumisten välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio (Watson ym. 2017). Toisaalta tämän tutkimusjakson kesto (34 viikkoa) voidaan pitää kohtalaisen pitkänä

suhteessa loukkaantumisten ja sairasteluiden esiintyvyyttä joukkueurheilussa koskeviin tutkimuksiin.

6.3 Tulosten hyödynnettävyys

Tutkimuksessa ei havaittu korrelaatiota harjoituskuorman sekä hyvinvointikyselyn muuttujien ja loukkaantumisten sekä sairasteluiden välillä. Todennäköisin syy tähän on liian pieni loukkaantumisten ja sairastumisten lukumäärä. Tältä osin loukkaantumisia ja sairasteluja tutkittaessa on pyrittävä varmistamaan riittävän pitkä tutkimusjakso ja riittävä otoskoko, jotta varmistetaan tarpeeksi suuri määrä loukkaantumisia ja sairasteluita.

Käytännön valmennukseen harjoituskuorman ja hyvinvointikyselyn muuttujien yhteydet antavat hyödyllistä tietoa. Tutkimuksessa unen määrä ei korreloinut unen laadun kanssa. Urheilijoiden kuormitusta ja hyvinvointia seurattaessa olisi hyvä keskittyä myös laadulliseen mittariin pelkän unen määrän sijaan. Tutkimuksessa ainoastaan unen laadulla oli kohtalainen korrelaatio mielialan kanssa muiden muuttujien yhteyden ollessa heikko. Tutkimuksen tulosten perusteella joukkueurheilussa on yhä tärkeätä seurata urheilijoiden psykologista hyvinvointia teknologian mahdollistavien objektiivisten mittareiden suosion lisääntymisestä huolimatta. Olennaista olisi pohtia tarkkaan mikä hyvinvoinnin muuttuja tarjoaa luotettavinta tietoa päätöksentekoon ja monitoroida sitä mahdollisimman systemaattisesti. Lisäksi mikäli ACWR menetelmää käytetään harjoituskuorman monitorointiin, on urheilijoiden oltava tietoisia, miten harjoitusten rasittavuutta arvioidaan.

6.4 Jatkotutkimusaiheet

Tulevaisuus on hyvin todennäköisesti teknologian entistä voimakkaampaa esiinmarssia entistä tehokkaampien, koneoppimista hyödyntävien data-analyysiohjelmien myötä (Carling ym. 2018). Kiinnostus koneoppimista hyödyntäviin harjoituksen vasteiden mallintamiseen (Carrard ym. 2020) sekä urheilijan suorituskyvyn ennustamiseen on kasvanut viime vuosina voimakkaasti

(Mitchell ym. 2020). Teknologian kehittymisen myötä markkinoille on tulossa muun muassa uudempia GPS-laitteita ja kiihtyvyyssmittareita, joiden myötä data on helpommin saatavilla ja se on todennäköisesti tarkempaa kuin aikaisemmin (Lacome ym. 2018). Hyvinvoinnin monitorointi kasvojen kuvauksen perusteella voi myös olla tulevaisuudessa arkipäivää (Carling ym. 2018). Monitorointimenetelmien tarkoituksena on tuottaa yksilöllistä tietoa mitattavasta ja näyttäisi siltä, että sisäisen harjoituskuorman rooli olisi kasvamassa (Foster ym. 2017). Vaikka teknologiayritykset panostavat tuotekehitykseen, useita menetelmiä ja laitteita ei ole tieteellisesti validoitu (Halson ym. 2016). Valmentajat tiedostavat harjoituskuorman ja palautumisen välisen suhteen tärkeyden, mutta heidän osaamisensa palautumisen ja stressin monitorointivälineistä on usein puutteellinen (Kellmann 2010) ja mittausvälineiden siirtely, monitorointimenetelmien puutteet sekä systemaattinen datan keräämisen puute heikentävät menetelmien käyttöönottoa (Carling ym. 2018). Kaikkien harjoitusten ja kilpailuiden jatkuva monitorointi olisi suotavaa tulevaisuuden tutkimukselle paremman ja selkeämmän kuvan saamiseksi (Jaspers ym. 2017).

Loukkaantumisten ennaltaehkäisyyn on varsinkin viime vuosina panostettu merkittävästi. Loukkaantumisriskiä on pyritty selvittämään lukuisissa tutkimuksissa ja loukkaantumisia ennustavia malleja on kehitetty jatkuvasti. Tästä huolimatta esimerkiksi jalkapallossa hamstring lihasten vammat ja niistä johtuvat poissaolot ovat tuplaantuneet 21 vuoden seurannan aikana (Ekstrand ym. 2023). On selvää, että loukkaantumisten ennaltaehkäisyn tulokset ovat olleet heikot eikä tutkimuskenttä ole pystynyt identifioimaan loukkaantumisen ja sairastumisen syntyyn vaikuttavia tekijöitä riittävällä tarkkuudella ja voimakkuudella. Loukkaantumisten ja sairasteluiden tutkiminen on jatkossakin tarpeellista, mutta otoskoon on oltava riittävän suuri, jotta mahdollistettaisiin riittävä loukkaantumisten ja sairasteluiden määrä.

7 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää AWR mallin ja subjektiivisen hyvinvointikyselyn soveltuvuutta ennustaa loukkaantumisia ja sairastumisia naisjalkapalloilijoilla. Tutkimuksessa ACWR mallilla ja loukkaantumisilla sekä sairastumisilla ei havaittu yhteyttä. Subjektiivinen hyvinvointikysely ei myöskään korreloinut loukkaantumisten tai sairasteluiden kanssa. Niin ACWR:n kuin hyvinvointikyselynkin suhteen tulosten heikkoa korrelaatiota selittänee pieni otoskoko ja loukkaantumisten ja sairasteluiden pieni lukumäärä.

Harjoituskuorman ja subjektiivisen hyvinvointikyselyn muuttujien välillä havaittiin vain vähän korrelaatiota. RPE:llä ja kroonisella kuormalla havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio lihasarkuuden suhteen. Hyvinvoinnin muuttujista vain unen laadulla ja mielialalla havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio. Loukkaantumisista suurin osa tapahtui harjoituksissa ja sairauksien esiintyminen oli suurinta keväällä. ACWR mallin ja subjektiivisen hyvinvointikyselyn luotettavuus ennustaa loukkaantumisia ja sairasteluja on kyseenalainen naisjalkapalloilijoilla.

Lähteet

Ade J, Fitzpatrick J, Bradley P. High-intensity efforts in elite soccer matches and associated movement patterns, technical skills and tactical actions. Information for position-specific training drills. *J Sports Sci* 2016;34:2205–2214. doi: 10.1080/02640414.2016.1217343.

Ahlquist S, Cash B, Hame S. Associations of early sport specialization and high training volume with injury rates in national collegiate athletic association division I athletes. *Orthop J Sports Med* 2020;8:232596712090682. doi: 10.1177/2325967120906825.

Aiello F, Impellizzeri F, Brown S, Serner A, McCall A. Injury-Inciting Activities in Male and Female Football Players: A Systematic Review. *Sports Med* 2023;53:151-176. doi: 10.1007/s40279-022-01753-5

Akenhead R, Nassis G. Training load and player monitoring in high-level football: current practice and perceptions. *Int Sports Physiol Perform* 2016;11(5):587–593. doi: 10.1123/ijssp.2015-0331.

Akubat I, Patel E, Barrett S, Abt G. Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. *J Sports Sci* 2012;30(14):1473-1480. doi: 10.1080/02640414.2012.712711.

Akubat I, Barrett S, Sagarra M, Abt G. The Validity of External:Internal Training Load Ratios in Rested and Fatigued Soccer Players. *Sports (Basel)* 2018;6(44): E44. doi: 10.3390/sports6020044

Alexandre D, da Silva C, Hill-Haas S, Wong del P, Natali A, De Lima J, Bara Filho M, Marins J, Garcia E, Karim C. Heart rate monitoring in soccer: Interest and limits during competitive match play and training, practical application. *J Strength Cond Res* 2012; 26:2890-2906. doi: 10.3390/sports6020044.

Alexiou H, Coutts A. A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2008;3:320-330. doi: 10.1123/ijssp.3.3.320.

Anderson L, Triplett-McBride T, Foster C, Doberstein S, Brice G. Impact of training patterns on incidence of illness and injury during a women's collegiate basketball season. *J Strength Cond Res.* 2003;17:734–738. doi: 10.1519/1533-4287(2003)017<0734:iotpoi>2.0.co;2.

Andrade R, Wik E, Rebelo-Marques, A, Blanch P, Whiteley R, Espregueira-Mendes J, Gabbett T. Is the Acute: Chronic Workload Ratio (ACWR) Associated with Risk of Time-Loss Injury in Professional Team Sports? A Systematic Review of Methodology, Variables and Injury Risk in Practical Situations. *Sports Med* 2020;50:1613-1635. doi: 10.1007/s40279-020-01308-6.

Aoki M, Ronda L, Marcelino P, Drago G, Bradley P, Moreira A. Monitoring training loads in professional basketball players engaged in a periodized training programme. *J Strength Cond Res* 2016;31(2):348-358. doi: 10.1519/JSC.0000000000001507.

Aquino R, Machado J, Clemente F, Praça G, Luiz G, Gonçalves B, João V, Ferrari L, Vieira P, Puggina E, Carling C. Comparisons of ball possession, match running performance, player prominence and team network properties according to match outcome and playing formation during the 2018 FIFA World Cup. *Int J of Perform Anal Sport* 2019;19(6):1026–37. doi.org/10.1080/24748668.2019.1689753.

Arden C, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, Gojanovic B, Griffin S, Khan K, Moksnes H, Mutch S, Phillips N, Reurink G, Sadler R, Silbernagel K, Thorborg K, Wangensteen A, Wilk K, Bizzini M. 2016 consensus statement on return to sport from the first world congress in sports physical therapy, Bern. *Br J Sports Med* 2016;50:853-864. doi: 10.1136/bjsports-2016-096278.

Avalos M, Hellard P, Chatard J-C. Modeling the training-performance relationship using a mixed model in elite swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(5):838. doi: 10.1249/01.MSS.0000065004.05033.42.

Bache-Mathiesen L, Andersen T, Clarsen B, Fagerland M. Handling and reporting missing data in training load and injury risk research. *Scien Med Football* 2022;6(4):452 – 464. doi: 10.1080/24733938.2021.1998587.

Bahr R, Holme I. Risk factors for sport injuries – a methodological approach. *Br J Sports Med* 2003;37:1384-392. doi: dx.doi.org/10.1136/bjism.37.5.384

Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med* 2005;39(6):324–9. doi: 10.1136/bjism.2005.018341.

Bahr R. No injuries, but plenty of pain? On the methodology for recording overuse symptoms in sports. *Br J Sports Med* 2009;43:966–72. doi: 10.1136/bjsm.2009.066936.

Bahr R. Why screening tests to predict injury do not work—and probably never will...: a critical review. *Br J Sport Med* 2016;50(13):776–80. doi: 10.1136/bjsports-2016-096256.

Bahr R, Clarsen B, Derman W, Dvorak J, Emery C, Finch C, Hägglund M, Junge A, Kemp S, Khan K, Marshall S, Meeuwisse W, Mountjoy M, Orchard J, Pluim B, Quarrie K, Reider B, Schwellnus M, Soligard T, Stokes K, Timpka T, Verhagen E, Bindra A, Budgett R, Engebretsen L, Erdener U, Chamari K. International Olympic Committee consensus statement: methods for recording and reporting of epidemiological data on injury and illness in sport 2020 (including STROBE Extension for Sport Injury and Illness Surveillance (STROBE-SIIS)). *Br J Sports Med* 2020;54:372-389. doi: 10.1136/bjsports-2019-101969.

Banister E, Calvert T, Savage M, Bach A. A systems model of training for athletic performance. *Aust J Sports Med*. 1975;7:57–61.

Beedie C, Terry P, Lane A. The profile of mood states and athletic performance: Two meta-analyses. *J Appl Sport Psychol* 2000;12(1):49-68. doi: 10.1016/j.apmr.2013.02.022.

Beéck T, Jaspers A, Brink M, Frencken W, Staes F, Davis J, Helsen W. Predicting Future Perceived Wellness in Professional Soccer: The Role of Preceding Load and Wellness. *Int J Sports Physiol Perform* 2019;14:1074-1080. doi: 10.1123/ijsp.2017-0864.

Behrens M, Gube M, Chaabene H, Prieske O, Zenon A, Broschied K-C, Schega L, Husmann F, Weippert M. Fatigue and Human Performance: An Updated Framework. *Sports Med* 2023;53:7-31. doi: 10.1007/s40279-022-01748-2. doi: 10.1007/s40279-022-01748-2.

Bell D, Post E, Biese K, Bay C, McLeod T. Sport Specialization and Risk of Overuse Injuries: A Systematic Review With Meta-analysis. *Pediatrics* 2018;142(3):e20180657. doi: 10.1542/peds.2018-0657.

Bellenger C, Fuller J, Thomson R, Davison K, Robertson E, Buckley J. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2016;46:1461-1486. doi: 10.1007/s40279-016-0484-2.

- Bellinger P, Ferguson C, Newans T, Minahan C. No Influence of Prematch Subjective Wellness Ratings on External Load During Elite Australian Football Match Play. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:801-807. doi: 10.1123/ijsp.2019-0395.
- Berkelmans D, Dalbo V, Kean C, Milanović Z, Stojanović E, Stojilković N, Scanlan A. Heart Rate Monitoring in Basketball: Applications, Player Responses, And Practical Recommendations. *J Strength Cond Res* 2018;32(8):2383-2399. doi: 10.1519/JSC.0000000000002194.
- Biggins M, Cahalan R, Comyns T, Purtill H, O'Sullivan K. Poor sleep is related to lower general health, increased stress and increased confusion in elite Gaelic athletes. *Phys Sportsmed* 2018;46:14–20. doi: 10.1080/00913847.2018.1416258.
- Bittencourt N, Meeuwisse W, Mendonça L, Nettel-Aguirre A, Ocarino J, Fonseca S. Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition—narrative review and new concept. *Br J Sports Med* 2016;50(21):1309–14. doi: 10.1136/bjsports-2015-095850.
- Bjorneboe J, Bahr R, Andersen T. Risk of injury on third-generation turf in Norwegian professional football. *Br J Sports Med* 2010;44(11):794-798. doi: 10.1136/bjism.2010.073783.
- Blanch P, Gabbett T. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *Br J Sports Med* 2016;50:471-475. doi: 10.1136/bjsports-2015-095445.
- Bloomfield J, Polman R, O'Donoghue P. Physical demands of different positions in FA premier league soccer. *J Sports Sci Med* 2007;6(1):63–70.
- Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 1970;2(2):92-8.
- Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377–81.
- Borresen J, Lambert M. Quantifying training load: A comparison of subjective and objective methods. *Int J Sports Physiol Perform* 2008;3:16-30. doi: 10.1123/ijsp.3.1.16.
- Borresen J, Lambert M. The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Med* 2009;39:779-95. doi: 10.2165/11317780-000000000-00000.

Bosquet L, Merkari S, Arvisais D, Aubert A. Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med* 2008;42:709-714. doi: 10.1136/bjism.2007.042200.

Bourdon P, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley M, Gabbett T, Coutts A, Burgess D, Gregson W, Cable N. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12:161-170. doi: 10.1123/IJSP.2017-0208.

Bowen L, Gross A, Gimpel M, Li F. Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury in elite youth football players. *Br J Sports Med* 2017;61:452-459. doi: 10.1136/bjsports-2015-095820.

Bowen L, Gross A, Gimpel M, Bruce-Low S, Li F. Spikes in acute: chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5–7 times greater injury rate in English Premier League football players: a comprehensive 3-year study. *Br J Sports Med* 2020;54(12);731-738. doi: 10.1136/bjsports-2018-099422.

Bradley PS, Dellal A, Mohr M, Castellano J, Wilkie A. Gender differences in match performance characteristics of soccer players competing in the UEFA Champions League. *Hum Mov Sci Netherlands* 2014;33:159–71. doi: 10.1016/j.humov.2013.07.024.

Brandt R, Bevilacqua G, Andrade A. Perceived sleep quality, mood states, and their relationship with performance among Brazilian elite athletes during a competitive period. *J Strength Cond Res* 2016;31(4):1033-1039. doi: 10.1519/JSC.0000000000001551.

Brezhnev Y, Zaitsev A, Sazonov A. To the analytical theory of the supercompensation phenomenon. *Biophysics* 2011;56(2):298-303.

Brink M, Visscher C, Arends S, Zwerver J, Post W, Lemmink K. Monitoring stress and recovery: New insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *Br J Sports Med* 2010;44:809-815. doi: 10.1136/bjism.2009.069476.

Brink M, Frencken W, Jordet G, Lemmink K. Coaches' and players' perceptions of training dose: Not a perfect match. *Int J Sports Physiol Perform* 2014;9:497-502. doi: 10.1123/ijsp.2013-0009.

- Brooks J, Fuller C, Kemp S, Reddin D. Epidemiology of injuries in english professional rugby union: part 1 match injuries. *Br J Sports Med* 2005;39(10):757–66. doi: 10.1136/bjism.2005.018135.
- Buchheit M, Simpson M, Al Haddad H, Bourdon P, Mendez-Villanueva A. Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur J of Appl Physiol* 2012;112:711-23. doi: 10.1007/s00421-011-2014-0.
- Buchheit M, Laursen P. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 2013a;43:313-338. doi: 10.1007/s40279-013-0029-x.
- Buchheit M, Laursen P. High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle – Part II: Anaerobic Energy, Neuromuscular Load and Practical Applications. *Sports Med* 2013b;43:927-954. doi: 10.1007/s40279-013-0066-5.
- Buchheit M, Racinais S, Bilsborough J, Bourdon P, Voss S, Hocking J, Cordy J, Mendez-Villanueva, Coutts A. Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *J Sci Med Sport* 2013;16:550-555. doi: 10.1016/j.jsams.2012.12.003.
- Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol* 2014;5(73):1-19. doi: 10.3389/fphys.2014.00073.
- Buchheit M. Applying the acute:chronic workload ratio in elite football: worth the effort? *Br J Sports Med* 2017;51(18):1325-1327. doi: 10.1136/bjsports-2016-097017.
- Buchheit M, Simpson B. Player tracking technology: half-full or half-empty glass? *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12(2): 235-241. doi: 10.1123/ijsp.2016-0499.
- Buchheit M, Simpson B, Lacombe M. Monitoring Cardiorespiratory Fitness in Professional Soccer Players Is It Worth the Prick. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:1437-1441. doi: 10.1123/ijsp.2019-0911.
- Buckner S, Mouser J, Dankel S, Jessee M, Mattocks K, Loenneke J. The general adaptation syndrome: potential misapplications to resistance exercise. *J Sci Med Sport* 2017;20(11):1015-7. doi: 10.1016/j.jsams.2017.02.012.

- Bullock G, Hughes T, Sergeant J, Callaghan M, Riley R, Collins G. Clinical prediction models in sports medicine: a guide for clinicians and researchers. *J Orthop Sport Phys Ther* 2021a;51(10):517–25. doi: 10.2519/jospt.2021.10697.
- Bullock G, Hughes T, Sergeant J, Callaghan M, Collins G, Riley R. Improving prediction model systematic review methodology: Letter to the Editor. *Trans Sport Med* 2021b;4(4):545–7.
- Bullock G, Mylott J, Hughes T, Nicholson K, Riley R, Collins G. Just How Confident Can We Be in Predicting Sports Injuries? A Systematic Review of the Methodological Conduct and Performance of Existing Musculoskeletal Injury Prediction Models in Sport. *Sports Med* 2022;52:2469-2482. doi: 10.1007/s40279-022-01698-9.
- Busso T. Variable dose-response relationship between exercise training and performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(7):1188-95. doi: 10.1249/01.MSS.0000074465.13621.37.
- Campbell J, Turner J. Debunking the myth of exercise-induced immune suppression: redefining the impact of exercise on immunological health across the lifespan. *Front Immunol* 2018;9:648. doi: 10.3389/fimmu.2018.00648.
- Camomilla V, Bergamini E, Fantozzi S, Vannozzi G. Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. *Sensors* 2018;18(3):E873. doi: 10.3390/s18030873.
- Campos-Vazquez M, Toscano-Bendala F, Mora-Ferrera J, Suarez-Arones L. Relationship between internal load indicators and changes on intermittent performance after the preseason in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 2016;31(6):1477-1485. doi: 10.1519/JSC.0000000000001613.
- Caparros T, Alentorn-Geli E, Myer G, Capdevila L, Samuelsson K, ym. The Relationship of Practice Exposure and Injury Rate on Game Performance and Season Success in Professional Male Basketball. *J Sports Sci Med* 2015;15:397-402.
- Cardoso M, de Araújo C, Baumgart C, Jansen J, Hoppe M. Sex differences in physical capacities of german bundesliga soccer players. *J Strength Cond Res* 2020;34(8):2329–37. doi: 10.1519/JSC.0000000000002662.

Carey D, Blanch P, Ong K-L, Crossley K, Crow J, Morris, M. Training loads and injury risk in Australian football – differing acute: chronic workload ratios influence match injury risk 2017;51:1215-1220. doi: 10.1136/bjsports-2016-096309.

Carling C, Gall F, Reilly T. Effects of physical efforts on injury in elite soccer. *Int J Sports Med* 2010;31:180–5. doi: 10.1055/s-0029-1241212.

Carling C, Lacombe M, McCall A, Dupont G, Le Gall F, ym. Monitoring of Post-Match Fatigue in Professional Soccer: Welcome to the Real World. *Sports Med* 2018;48(12):2695-2702. doi: 10.1007/s40279-018-0935-z.

Carrard J, Kloucek P, Gojanovic B. Modelling training adaptation in swimming using artificial neural network geometric optimisation. *Sports* 2020;8(1):8. doi: 10.3390/sports8010008.

Casamichana D, Castellano J, Calleja-Gonzalez J, San Roman J, Castagna C. Relationship Between Indicators of Training Load in Soccer Players. *J Strength Cond Res* 2013;27(2):369-374. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182548af1.

Clarke N, Farthing J, Norris S, Arnold B, Lanovaz J. Quantification of Training Load in Canadian Football: Application of Session-RPE in Collision-Based Team Sports. *J Strength Cond Res* 2013;28(7):2198-2205. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827e1334.

Clarsen B, Myklebust G, Bahr R. Development and validity of a new method for the registration of overuse injuries in sports injury epidemiology: the Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC) Overuse Injury Questionnaire. *Br J Sports Med* 2013;47:495-502. doi: 10.1136/bjsports-2012-091524.

Clarsen B, Rønsen O, Myklebust G, Flørenes T, Bahr R. The Oslo Sports Trauma Research Center questionnaire on health problems: a new approach to prospective monitoring of illness and injury elite athletes. *Br J Sports Med* 2014;48:754-760. doi: 10.1136/bjsports-2012-092087.

Claudino J, de Oliveira C, de Souza T, Serrão J, Pereira A, Nassis G. Current approaches to the use of artificial intelligence for injury risk assessment and performance prediction in team sports: a systematic review. *Sports Med-Open* 2019;5(1):1–12. doi: 10.1186/s40798-019-0202-3.

- Colby M, Dawson B, Peeling P, Heasman J, Rogalski B, Drew M, Stares J, Zouhal H, Lester L. Multivariate modelling of subjective and objective monitoring data improve the detection of non-contact injury risk in elite Australian footballers. *J Sci Med Sport* 2017;20(12):1068–74. doi: 10.1016/j.jsams.2017.05.010.
- Colby M, Dawson B, Peeling P, Heasman J, Rogalski B, Gabbett T. Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers. *J Strength Cond Res.* 2014;28(8):2244-52. doi: 10.1519/JSC.0000000000000362.
- Cormack S, Coutts A. Monitoring training load. In: Joyce D, Lewindon D, eds. *Sports Injury Prevention and Rehabilitation: Integrating Medicine and Science for Performance Solutions*. Abingdon, Oxon; New York, NY: Routledge; 2016.
- Coutts A, Wallace L, Slattery K. Monitoring changes in performance, physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *Int J Sports Med* 2007;28:125-134. doi: 10.1055/s-2006-924146.
- Coutts A, Cormack S. 2014. Monitoring the Training Response. In: *High-Performance Training for Sports*. Eds: Joyce, D. & Lewindon, D. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Cross M, William S, Trewartha G, Kemp S, Stokes K. The influence of In-Season Training Loads on Injury Risk in Professional Rugby Union. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;11(3):350-5. doi: 10.1123/ijsp.2015-0187.
- Cummins C, Welch M, Inkster B, Cupples B, Weaving D, Jones B, King D, Murphy A. Modelling the relationships between volume, intensity and injury-risk in professional rugby league players. *J Sci Med Sport* 2019;22(6):653–60. doi: 10.1016/j.jsams.2018.11.028.
- Cunaman A, DeWeese B, Wagle J, Carroll K, Sausaman R, ym. The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization. *Sports Med* 2018;48:787-797. doi: 10.1007/s40279-017-0855-3.
- Cunniffe B, Hore A, Whitcombe D, Jones K, Baker J, Davies B. Time course of changes in immuneoendocrine markers following an international rugby game. *Eur J Appl Physiol* 2010;108(1):113–22. doi: 10.1007/s00421-009-1200-9.

- Cunniffe B, Griffiths H, Proctor W, Davies B, Baker J, Jones K. Mucosal immunity and illness incidence in elite rugby union players across a season. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43(3):388–97. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181ef9d6b.
- Datson N, Drust B, Weston M, Jarman IH, Lisboa PJ, Gregson W. Match physical performance of elite female soccer players during international competition. *J Strength Cond Res* 2017;31:2379–87. doi: 10.1519/JSC.0000000000001575.
- Day M, McGuigan M, Brice G, Foster C. Monitoring Exercise Intensity During Resistance Training Using the Session RPE Scale. *J Strength Cond Res* 2004;18(2):353-358. doi: 10.1519/R-13113.1.
- Delecroix B, McCall A, Dawson B, Berthoin S, Dupont G. Workload and non-contact injury incidence in elite football players competing in European leagues. *European Journal of Sports Science* 2018;18(9):1280-1287. doi: 10.1080/17461391.2018.1477994.
- Delecroix B, Delaval B, Dawson B, Berthoin S, Dupont G. Workload and injury incidence in elite football academy players. *J Sports Scien* 2019a;37(24):2768-2773. doi: 10.1080/02640414.2019.1584954.
- Delecroix B, Mccall A, Dawson B, Berthoin S, Dupont G. Workload monotony, strain and non-contact injury incidence in professional football players. *Science Med Football* 2019b;3(2):105-108. doi: 10.1080/24733938.2018.1508881
- DellaValle D, Haas J. Quantification of Training Load and Intensity in Female Collegiate Rowers: Validation of a Daily Assessment Tool. *J Strength Cond Res* 2013; 27(2):540-548. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182577053.
- Diener E, Suh E, Lucas R, Smith H. Subjective well-being: three decades of progress. *Psychol Bull.* 1999;125:276–302. doi: 10.1007/s11126-019-09645-0.
- Diener E, Ryan K. Subjective well-being: a general overview. *S Afr J Psychol.* 2009;39:391–406. doi doi.org/10.1177/008124630903900402.
- Diener E, Heintzelman S, Kushlev K, Tay L, Wirtz D, Lutes L, Oishi S. Findings all psychologists should know from the new science on subjective well-being. *Can Psychol.* 2017;58:87–104. doi: <https://doi.org/10.1037/cap0000063>

Drawer S, Fuller CW. Evaluating the level of injury in English professional football using a risk based assessment process. *Br J Sports Med* 2002;36(6):446–51. doi: 10.1136/bjism.36.6.446.

Drew M, Finch C. The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Med* 2016a;46:861-883. doi: 10.1007/s40279-015-0459-8.

Drew M, Cook J ja Finch C. Sports-related workload and injury risk: simply knowing the risks will not prevent injuries: narrative review. *Br J Sports Med* 2016;50(21):1306–8. doi: 10.1136/bjsports-2015-095871.

Drew M, Purdam C. Time to bin the term ‘overuse’ injury: is ‘training load error’ a more accurate term? *Br J Sports Med* 2016;50:1423-124. doi: 10.1136/bjsports-2015-095543.

Drew M, Blanch P, Purdam C, Gabbett T. Yes, rolling averages are a good way to assess training load for injury prevention. Is there a better way? Probably, but we have not seen the evidence. *Br J Sports Med* 2017a;51(7):618-619. doi: 10.1136/bjsports-2016-096609.

Drew M, Raysmith B, Charlton P. Injuries impair the chance of successful performance by sportspeople: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2017b;51(16):1209–14. doi: 10.1136/bjsports-2016-096731.

Dudley C, Johnston R, Jones B, Till K, Westbrook H, Weakley J. Methods of Monitoring Internal and External Loads and Their Relationships with Physical Qualities, Injury, or Illness in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Best-Evidence Synthesis. *Sports Med* 2023
<https://doi.org/10.1007/s40279-023-01844-x>

Duhig S, Shield A, Opar D, Gabbett T, Ferguson C, Williams M. Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk. *Br J Sports Med* 2016;50:1536-40. doi: 10.1136/bjsports-2015-095679.

Dumortier J, Mariman A, Boone J, Delesie L, Tobbac E, Vogelaers D, Bourgois J. Sleep, training load and performance in elite female gymnasts. *Eur J Sport Sci*. 2018;18(2):151–161. doi: 10.1080/17461391.2017.1389992.

Duking P, Hotho A, Holmberg H, Fuss F, Sperlich B. Comparison of non-invasive individual monitoring of the training and health of athletes with commercially available wearable technologies. *Front Physiol* 2016;7(71):861-83. doi: 10.3389/fphys.2016.00071.

Eckard T, Padua D, Hearn D, Pexa B, Frank B. The Relationship Between Training Load and Injury in Athletes: A Systematic Review. *Sports Med* 2018;48:1929-1961. doi: 10.1007/s40279-018-0951-z.

Eirale C, Tol J, Farooq A, Smiley F, Chalabi H. Low injury rate strongly correlates with team success in Qatari professional football. *Br J Sports Med* 2013;47:807-8. doi: 10.1136/bjsports-2012-091040.

Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M. A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performances during that World Cup. *Br J Sports Med* 2004;38(4):493-7. doi: 10.1136/bjism.2003.009134.

Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of Muscle Injuries in Professional Football (Soccer). *Am J Sports Med* 2011;39(6):1226-1232. doi: 10.1177/0363546510395879.

Ekstrand J, Hägglund M, Kristenson K, Magnusson H, Waldén. Fewer ligament injuries but no preventive effect on muscle injuries and severe injuries: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med* 2013;47:732-7. doi: 10.1136/bjsports-2013-092394.

Ekstrand J, Spreco A, Davison M. Elite football teams that do not have a winter break lose on average 303 player-days more per season to injuries than those teams that do: a comparison among 35 professional European teams. *Br J Sports Med* 2018;53(19):1231-1235. doi: 10.1136/bjsports-2018-099506.

Ekstrand J, Bengtsson H, Walden M, Davison M, Khan K, Hägglund M. Hamstring injury rates have increased during recent season and now constitute 24% of all injuries in men's professional football: the UEFA Elite Club Injury Study from 2001/02 to 2021/22. *Brit J Sports Med* 2023;57:292-298. doi: 10.1136/bjsports-2021-105407.

Ellis M, Penny R, Wright B, Noon M, Myers T, Akubat I. The dose-response relationship between training-load measures and aerobic fitness in elite academy soccer players. *Scienc Med Football* 2021;5(2):128-136. doi: 10.1080/24733938.2020.1817536.

Enoka R, Duchateau J. Translating fatigue to human performance. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48(11):2228–38. doi: 10.1249/MSS.0000000000000929.

Esmaeili A, Hopkins W, Stewart A, Elias G, Lazarus B, Aughey R. The individual and combined effects of multiple factors on the risk of soft tissue non-contact injuries in elite team sport athletes. *Front Physiol* 2018;9:1280. doi: 10.3389/fphys.2018.01280.

Fanchini M, Ghielmetti R, Coutts A, Schena F, Impellizzeri F. Effects of Training-Session Intensity Distribution on Session Rating of Perceived Exertion in Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform* 2015;10:426-430. doi: 10.1123/ijsp.2014-0244.

Fanchini M, Rampinini E, Riggio M, Coutts A, Pecci C, McCall A. Despite association, the acute:chronic ratio does not predict non-contact injury in elite footballers. *Sci Med Football* 2018;2(2):108-114. doi: 10.1080/24733938.2018.1429014.

Fanchini M, Steendahl I, Impellizzeri F, Pruna R, Dupont G, Coutts A, Meyer T, McCall A. Exercise-Based Strategies to Prevent Muscle Injury in Elite Footballers: A Systematic Review and Best Evidence Synthesis. *Sports Medicine* 2020;50:1653-1666. doi: 10.1007/s40279-020-01282-z.

Fitzgerald D, Beckmans C, Joyce D, Mills K. The influence of sleep and training load on illness in nationally competitive male Australian Football athletes: A cohort study over one season. *J Scienc Med Sport* 2019;22(2):130-134. doi: 10.1016/j.jsams.2018.06.011.

Forgeard M, Jayawickreme E, Kern M, Seligman M. Doing the right thing: measuring well-being for public policy. *Int J Wellbeing* 2011;1:79–106.

Foster C, Hector L, Welsh R, Schrage M, Green M, Snyder A. Effects of specific versus cross-training on running performance. *Eur J Appl Physio* 1995;70:367-72. doi: 10.1007/BF00865035.

Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1164-8. doi: 10.1097/00005768-199807000-00023.

- Foster C, Florhaug J, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin L, Parker S, Doleshal P, Dodge C. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 2001a;15:109-115.
- Foster C, Heimann K, Esten P, Brice G, Porcari J. Differences in perceptions of training by coaches and athletes. *South Africa J Sports Med* 2001b;8:3-7.
- Foster C, Rodriguez-Marroyo J, de Koning J. Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12:2-8. doi: 10.1123/ijsp.2016-0388.
- Foster I, Byrne P, Moody J, Fitzpatrick P. Monitoring Training Load Using the Acute: Chronic Workload Ratio in Non-Elite Intercollegiate Female Athletes. *ARC J Res Sports Med* 2018;3(1):22-28.
- Foster C, Boulosa D, McGuigan M, Fusco A, Cortis C, Arney B, Orton B, Dodge C, Jaime S, Radtke K, van Erp T, de Koning J, Bok B, Rodriguez-Marroyo J, Porcari J. 25 Years of Session Rating of Perceived Exertion: Historical Perspective and Development. 2021;16:612-621. doi: 10.1123/ijsp.2020-0599.
- Fox J, Scanlan A, Stanton R. A Review of Player Monitoring Approaches in Basketball: Current Trends and Future Directions. *J Strength Cond Res* 2017;31(7):2021-2029. doi: 10.1519/JSC.0000000000001964.
- Fox J, Stanton R, Sargent C, Wintour SA, Scanlan A. The Association Between Training Load and Performance in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Med* 2018;48(12):2743-2774. doi: 10.1007/s40279-018-0982-5.
- Freckleton G, Pizzari T. Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2013;47:351-8. doi: 10.1136/bjsports-2011-090664.
- Fricker P, Pyne D, Saunders P, Cox A, Gleeson M, Telford R. Influence of training loads on patterns of illness in elite distance runners. *Clin J Sport Med* 2005;15(4):246-52. doi: 10.1097/01.jsm.0000168075.66874.3e.
- Fusco A, Knutson C, King C, Mikat R, Porcari J, Cortis C, Foster C. Session RPE During Prolonged Exercise Training. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:292-294. doi: 10.1123/ijsp.2019-0137.

- Gabbett T. Incidence of injury in junior and senior rugby league players. *Sports Med* 2004a;34:849–59. doi: 10.2165/00007256-200434120-00004.
- Gabbett T. Influence of training and match intensity on injuries in rugby league. *J Sports Sci* 2004b;22(5):409–417. doi: 10.1080/02640410310001641638.
- Gabbett T. Physiological and anthropometric characteristics of junior rugby league players over a competitive season. *J Strength Cond Res* 2005;19(4):764–771. doi: 10.1519/R-16804.1.
- Gabbett T, Domrow N. Relationships between training load, injury, and fitness in sub-elite collision sport athletes. *J Sports Sci* 2007;25:1507–1519. doi: 10.1080/02640410701215066.
- Gabbett T, Jenkins D. Relationship between training load and injury in professional rugby league players. *J Sci Med Sport* 2011;14:204–209. doi: 10.1016/j.jsams.2010.12.002.
- Gabbett T, Whyte D, Hartwig T, Wescombe H, Naughton G. The relationship between workloads, physical performance, injury and illness in adolescent male football players. *Sports Med* 2014;44(7):989–1003. doi: 10.1007/s40279-014-0179-5.
- Gabbett T. The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *Br J Sports Med* 2016;50(5):273–280. doi: 10.1136/bjsports-2015-095788.
- Gabbett T, Hulin B, Blanch P, Whiteley. High training workloads alone do not cause sports injuries: how you get there is the real issue. *Br J Sports Med* 2016;50:444–5. doi: 10.1136/bjsports-2015-095567.
- Gabbett T, Nassis G, Oetter E, Pretorius J, Johnston N, Medina D, Rodas G, Myslinski T, Howells D, Beard A, Ryan A. The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. *Br J Sports Med* 2017;51(20):1451–1452. doi: 10.1136/bjsports-2016-097298.
- Gabbett T, Whiteley R. Two Training-Load Paradoxes: Can We Work Harder and Smarter, Can Physical Preparation and Medical Be Teammates? *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12:S2–54. doi: 10.1123/ijsp.2016-0321.

Gabbett T, Hulin B, Blanch P, Chapman P, Bailey D. To Couple or not to Couple? For Acute:Chronic Workload Ratios and Injury Risk, Does it Really Matter? *Int J Sports Med* 2019;40(09):597-600. doi: 10.1055/a-0955-5589.

Gabbett T. Debunking the myths about training load, injury and performance: empirical evidence, hot topics and recommendations for practitioners. *Br J Sports Med* 2020;54(1): 58-66. doi: 10.1136/bjsports-2018-099784.

Gallo T, Cormack S, Gabbett T, Lorenzen C. Pre-training perceived wellness impacts training output in Australian football players. *J Sports Sci* 2016;34(15):1445–1451. doi: 10.1080/02640414.2015.1119295.

Gallo T, Cormack S, Gabbett T, Lorenzen C. Self-reported wellness profiles of professional Australian football players during the competition phase of the season. *J Strength Cond Res* 2017;31(2):495-502. doi: 10.1519/JSC.0000000000001515.

Gastin P, Meyer D, Robinson D. Perceptions of wellness to monitor adaptive responses to training and competition in elite Australian football. *Strength Cond Res* 2013;27(9):2518-2526. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827fd600.

Gastin P, Hunkin S, Fahrner B, Robertson S. Deceleration, acceleration, and impacts are strong contributors to muscle damage in professional Australian football. *J Strength Cond Res*. 2019;33(12): 3374-3383. doi: 10.1519/JSC.0000000000003023.

Gleeson M, Bishop N, Oliveira M, Tauler P. Influence of training load on upper respiratory tract infectin incidence and antigen-stimulated cytokine production. *Scand J Med Sci Sports* 2013;23(4):451-7. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01422.

Giles S, Fletcher D, Arnold R, Ashfield A, Harrison J. Measuring Well-Being in Sport Performers: Where are We Now and How do we Progress? *Sports Med* 2020;50:1255-1270. doi: 10.1007/s40279-020-01274-z.

Goulart K, Coimbra C, Campos H, Drummond L, Ogando P, Brown G, Couto B, Duffield R, Wanner S. Fatigue and Recovery Time Course After Female Soccer Matches: A Systematic Review And Meta-Analysis. *Sports Med* 2022;8:72. doi: 10.1186/s40798-022-00466-3.

- Griffin A, Kenny I, Comyns T, Lyons M. The Association Between the Acute:Chronic Workload Ratio and Injury and its Application in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine* 2020;50:561-580. doi: 10.1007/s40279-019-01218-2.
- Guerrero-Calderón B, Klemp M, Castillo-Rodríguez A, Morcillo J, Memmert D. A new approach for training-load quantification in elite level soccer: Contextual factors. *Int J Sports Med* 2021;42:716–723. doi: 10.1055/a-1289-9059.
- Guerrero-Calderón B, Fradua L, Morcillo J, Castillo-Rodríguez A. Analysis of the Competitive Weekly Microcycle in Elite Soccer: Comparison of Workload Behavior in Absolute and Relative Terms. *J Stren Cond Res* 2023;37(2):343-350. doi: 10.1519/JSC.0000000000004219.
- Gulliver A, Griffiths K, Mackinnon A, Batterham P, Stanimirovic R. The mental health of Australian elite athletes. *J Sci Med Sport* 2015;18(3):255–61. doi: 10.1016/j.jsams.2014.04.006.
- Gupta L, Morgan K, Gilchrist S. Does elite sport degrade sleep quality? A systematic review. *Sports Med* 2017;47:1317–1333. doi: 10.1007/s40279-016-0650-6.
- Haddad M, Stylianides G, Djaoul L, Dellal A, Chamari K. Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Front Neurosci* 2017;11(612):1-14. doi: 10.3389/fnins.2017.00612.
- Halperin I, Emanuel A. Rating of Perceived Effort: Methodological Concerns and Future Directions. *Sports Medicine* 2020;50:679-687. doi: 10.1007/s40279-019-01229-z.
- Halson S. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Med* 2014;44(2):139-147. doi: 10.1007/s40279-014-0253-z.
- Halson S, Peake J, Sullivan J. Wearable Technology for Athletes: Information Overload and Pseudoscience? *Int J Sports Physiol Perform* 2016;11:705-706. doi: 10.1123/IJSP.2016-0486.
- Hamlin M, Wilkes D, Elliot C, Lizamore C, Kathiravel Y. Monitoring Training Loads and Perceived Stress in Young Elite University Athletes. *Front Psychol* 2019;10(34):1-12. doi: 10.3389/fphys.2019.00034.

Hammond L, Lilley, J, Pope G, Ribbans W. 'We've just learnt to put up with it': an exploration of attitudes and decision-making surrounding playing with injury in English professional football. *Qual Res Sport Exerc Health* 2014;6(2):161-181. doi: doi.org/10.1080/2159676X.2013.796488

Hampson D, St Clair Gibson A, Lambert M, Noakes T. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. *Sports Med* 2001;31(13):935-52. doi: 10.2165/00007256-200131130-00004.

Harper D, Carling C, Kiely J. High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Med* 2019;49:1923-1947. doi: 10.1007/s40279-019-01170-1.

Hecksteden A, Schmartz G, Eqtytien Y, Aus der Funten K, Keller A, Meyer T. Forecasting football injuries by combining screening, monitoring and machine learning. *Scien Med Football* 2023;7(3):214-228. doi: 10.1080/24733938.2022.2095006.

Hickey J, Shield A, Williams M, Opar D. The financial cost of hamstring strain injuries in the Australian Football League. *Br J Sports Med*. 2014;48(8):729-30. doi: 10.1136/bjsports-2013-092884.

Hulin B, Gabbett T, Blanch P, Chapman P, Bailey D, Orchard J. Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *Br J Sports Med* 2014;48(8):708-12. doi: 10.1136/bjsports-2013-092524.

Hulin B, Gabbett T, Lawson D, Caputi P, Sampson J. The acute: chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *Br J Sports Med* 2016a;50:231-6. doi: 10.1136/bjsports-2015-094817.

Hulin B, Gabbett T, Caputi P, Lawson D, Sampson J. Low chronic workload and the acute: chronic workload ratio are more predictive of injury than between-match recovery time: a two-season prospective cohort study in elite rugby league players. *Br J Sports Med* 2016b;50:1008-12. doi: 10.1136/bjsports-2015-095364.

Hulin B. The never-ending search for the perfect acute:chronic workload ratio: what role injury definition? *Br J Sports Med* 2017;51(13): 991-992. doi: 10.1136/bjsports-2016-097279.

Hulin B, Gabbett T. Indeed association does not equal prediction: the never-ending search for the perfect acute:chronic workload ratio. *Br J Sports Med* 2019;53:144–5. doi: 10.1136/bjsports-2018-099448.

Hrysomallis C. Injury incidence, risk factors and prevention in Australian rules football. *Sports Med* 2013;43:339-54. doi: 10.1007/s40279-013-0034-0.

Häggglund M, Waldén M, Magnusson H, Kristenson K, Bengtsson H, Ekstrand J. Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med* 2013a;47:738-42. doi: 10.1136/bjsports-2013-092215.

Häggglund M, Waldén M, Ekstrand J. Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: the UEFA Injury Study. *Am J Sports Med* 2013b;41(2):327-335. doi: 10.1177/0363546512470634.

Imbach F, Sutton-Charani N, Montmain J, Candau R, Perrey S. The Use of Fitness-Fatigue Models for Sport Performance Modelling: Conceptual Issues and Contributions from Machine-Learning. *Sports Med* 2022;8:29. doi: 10.1186/s40798-022-00426-x.

Impellizzeri F, Rampinini E, Coutts A, Sassi A, Marcora S. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1042-1047. doi: 10.1249/01.mss.0000128199.23901.2f.

Impellizzeri F, Rampinini E, Marcora S. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sport Sci* 2005;23(6):583-592. doi: 10.2165/00007256-200535060-00004.

Impellizzeri F, Tenan M, Kempton T, Novak A, Coutts A. AcuteChronic Workload Ratio Conceptual Issues and Fundamental Pitfalls. *Int J Sports Physiol Perform* 2020a;15:907-913. doi: 10.1123/ijsp.2019-0864.

Impellizzeri F, Menaspà P, Coutts A, Kalkhoven J, Menaspà M. Training load and its role in injury prevention, part I: back to the future. *J Athl Train* 2020b;55:885–92. doi: 10.4085/1062-6050-500-19.

- Impellizzeri, F, Woodcock S, Coutts A, Fanchini M, McCall A, Vigotsky A. What Role Do Chronic Workloads Play in the Acute to Chronic Workload Ratio? Time to Dismiss ACWR and Its Underlying Theory. *Sports Med* 2021;51:581-592. doi: 10.1007/s40279-020-01378-6.
- Impellizzeri F, Shrier I, McLaren S, Coutts A, McCall A, Slattery K, Jeffries A, Kalkhoven J. Understanding Training Load as Exposure and Dose. *Sports Med* 2023;53:1667-1679. doi: 10.1007/s40279-023-01833-0.
- Issurin V. New Horizons for the Methodology and Physiology of Training Periodization. *Sports Med* 2010;40(3):189-206. doi: 10.2165/11319770-000000000-00000.
- Ivarsson A, Johnson U, Andersen M, Tranaeus U, Stenling A, Lindwall M. Psychosocial factors and sport injuries: meta-analyses for prediction and prevention. *Sports Med* 2017;47:353–65. doi: 10.1007/s40279-016-0578-x.
- Jacobsson J, Timpka T, Kowalski J, Nilsson S, Ekberg J, Dahlström Ö, Renström P. Injury patterns in Swedish elite athletics: annual incidence, injury types and risk factors. *Br J Sports Med* 2013;47:941-52. doi: 10.1136/bjsports-2012-091651.
- Jaspers A, Brink M, Probst S, Frencken W, Helsen W. Relationship Between Training Load Indicators and Training Outcomes in Professional Soccer. *Sports Med* 2017;47:533-544. doi: 10.1007/s40279-016-0591-0.
- Jeffries A, Wallace L, Coutts A, McLaren S, McCall A, Impellizzeri M. Athlete-Reported Outcome Measures for Monitoring Training Responses: A Systematic Review of Risk of Bias and measurement Property Quality According to the COSMIN Guidelines. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:1203-1215. doi: 10.1123/ijsp.2020-0386.
- Jones C, Griffiths P, Mellalieu S. Training Load and Fatigue Marker Associations with Injury and Illness: A Systematic Review of Longitudinal Studies. *Sports Med* 2017;47:943-974. doi: 10.1007/s40279-016-0619-5.
- Jones S, Almousa S, Gibb A, Allamby N, Mullen R, Andersen T. Injury Incidence, Prevalence and Severity in High-Level Male Youth Football: A Systematic Review. *Sports Med* 2019;49:1879-1899. doi: 10.1007/s40279-019-01169-8.

- Kahneman D, Krueger A. Developments in the measurement of subjective well-being. *J Econ Perspect* 2006;20:3-24. doi: 10.1257/089533006776526030.
- Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummerla A. Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *Eur J Appl Physiol* 2010;108:435-442. doi: 10.1007/s00421-009-1240-1.
- Kalkhoven J, Watsford M, Coutts A, Edwards W, Impellizzeri F. Training load and injury: causal pathways and future directions. *Sports Med.* 2021;51(6):1137–50. doi: 10.1007/s40279-020-01413-6.
- Karahalios A, Baglietto L, Carlin JB, English DR, Simpson JA. 2012. A review of the reporting and handling of missing data in cohort studies with repeated assessment of exposure measures. *BMC Med Res Methodol.* 12 (1):96. DOI:10.1186/1471-2288-12-96. doi: 10.1186/1471-2288-12-96
- Kasal D, Parfitt G, Tarca B, Eston R, Tsiros M. The Use of Ratings of Perceived Exertion in Children and Adolescents: A Scoping Review. *Sports Med* 2021;51(1):33-50. doi: 10.1007/s40279-020-01374-w.
- Kellmann M. *Enhancing Recovery: Preventing Underperformance in Athletes.* Champaign, IL: Human Kinetics 2002.
- Kellmann M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20(2):95-102. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x.
- Kelly D, Strudwick A, Atkinson G, Drust B, Gregson W. The within-participant correlation between perception of effort and heart rate-based estimations of training load in elite soccer players. *J Sports Sci* 2016;34(14):1328-1332. doi: 10.1080/02640414.2016.1142669.
- Kelly D, Strudwick A, Atkinson G, Drust B, Gregson W. Quantification of training and match-load distribution across a season in elite English Premier League soccer players. *Science and Medicine in Football* 2020;4(1):59-67. doi: <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1651934>
- Kiely J. 2018. Periodization Theory: Confronting an Inconvenient Truth. *Sports Med* 2018;48(4):753-764. doi: 10.1007/s40279-017-0823-y.

- Knufinke M, Nieuwenhuys A, Geurts S, Møst E, Maase K, Moen M, Coenen A, Kompier M. Train hard, sleep well? Perceived training load, sleep quantity and sleep stage distribution in elite level athletes. *J Sci Med Sport* 2018;21(4):427–432. doi: 10.1016/j.jsams.2017.07.003.
- Koutedakis Y, Metsios G, Stavropoulos-Kalinoglou A. 2006. *The Physiology of Training*. Churchill Livingstone. s. 1-21.
- Koytcheva M. 2015. Wearables market to be worth \$25 billion by 2019. <http://www.ccsinsight.com/press/company-news/2332-wearables-market-to-be-worth-25-billion-by-2019-reveals-ccs-insight> (Luettu 15.09.2018).
- Lacome M, Simpson B, Buchheit M. Monitoring Training Status With Player-Tracking Technology – Still on the road to Rome. *Aspeter Sports Med J* 2018:54-66.
- Lane A, Beedie C, Jones M, Uphill M, Devonport T. The BASES Expert Statement on emotion regulation in sport. *J Sports Sci* 2012;30:1189-1195. doi: 10.1080/02640414.2012.693621.
- Lastella M, Lovell G, Sargent C. Athletes' precompetitive sleep behaviour and its relationship with subsequent precompetitive mood and performance. *Eur J Sport Sci* 2014;14 (1):S123–S130.
- Lastella M, Roach G, Vincent G, Scanlan A, Halson S, Sargent C. The impact of training load on sleep during a 14-day training camp in elite, adolescent, female basketball players. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15(5):724–730. doi: 10.1123/ijssp.2019-0157.
- Lathlean T, Gastin P, Newstead S, Finch C. Absolute and Relative Load and Injury in Elite Junior Australian Football Players Over 1 Season. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:511-519. doi: 10.1123/ijssp.2019-0100.
- Lazarus B, Steward A, White K, Rowell A, Esmaeili A, Hopkins W, Aughey R. Proposal of a Global Training Load Measure Predicting Match Performance in an Elite Team Sport. *Front Physiol* 2017;21(8):930. doi: 10.3389/fphys.2017.00930.
- Lehmann M, Gastmann U, Petersen K, Bachl N, Seidel A, Khalaf A, Fischer S, Keul J. Training-overtraining: Performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle- and long-distance runners. *Br J Sports Med* 1992;26:233-242. doi: 10.1136/bjism.26.4.233.

Leunes A, Burger J. Profile of Mood States Research in Sport and Exercise Psychology: Past, Present, and Future. *J Appl Sports Psychol* 2000;12(1):5-15. doi:

<https://doi.org/10.1080/10413200008404210>

Li H, Moreland J, Peek-Asa C, Yang J. Preseason anxiety and depressive symptoms and prospective injury risk in collegiate athletes. *Am J Sports Med* 2017;45:2148-55. doi: 10.1177/0363546517702847.

Linton M-J, Dieppe P, Medina-Lara A. Review of 99 self-report measures for assessing well-being in adults: exploring dimensions of well-being and developments over time. *BMJ Open* 2016;6:e010641. doi: 10.1136/bmjopen-2015-010641.

Lolli L, Batterham A, Hawkins R, Kelly D, Strudwick A, Thorpe R, Gregson W, Atkinson G. Mathematical coupling causes spurious correlation within the conventional acute-to-chronic workload ratio calculations. *Br J Sports Med* 2019a;53(15):921-922. doi: 10.1136/bjsports-2017-098110.

Lolli L, Batterham A, Hawkins R, Kelly D, Strudwick A, Thorpe R, Gregson W, Atkinson G. The acute-to-chronic workload ratio: an inaccurate scaling index for an unnecessary normalisation process? *Br J Sports Med* 2019b;53(24):1510-1512. doi: 10.1136/bjsports-2017-098884.

López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, Garcia-Gómez A, Vera-Garcia F, De Ste Croix M, Myer G, Ayala F. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2020;54(12):711-718. doi: 10.1136/bjsports-2018-099577.

Lundqvist C. Well-being in competitive sports—the feel-good factor? A review of conceptual considerations of well-being. *Int Rev Sport Exerc Psychol*. 2011;4:109-27. doi: 10.1080/1750984X.2011.584067.

Lundqvist C, Sandin F. Well-being in elite sport: dimensions of hedonic and eudaimonic well-being among elite orienteers. *Sport Psychol* 2014;28:245-54. doi: 10.1123/tsp.2013-0024.

Lupo C, Ungureanu A, Frati R, Panichi M, Grillo S, Brustio P. Player Session Rating of Perceived Exertion: A More Valid Tool Than Coaches' Ratings to Monitor Internal Training Load In Elite

Youth Female Basketball. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:548-553. doi: 10.1123/ijsp.2019-0248.

Madigan D, Stoeber J, Forsdyke D, Dayson M, Passfield L. Perfectionism predicts injury in junior athletes: Preliminary evidence from a prospective study. *J Sports Sci* 2018;36:545–50. doi: 10.1080/02640414.2017.1322709.

Macdougall H, O'Halloran P, Shields N, Sherry E. Comparing the well-being of para and olympic sport athletes: a systematic review. *Adapt Phys Act Q* 2015;32:256–76. doi: 10.1123/APAQ.2014-0168.

Malina R. Maturity status and injury risk in youth soccer players. *Clin J Sports Med* 2010;20:132. doi: 10.1097/01.jsm.0000369404.77182.60.

Malone J, Di Michele R, Morgans R, Burgess D, Morton J, Drust B. Seasonal training-load quantification in elite English Premier League soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2015;10:489–497. doi: 10.1123/ijsp.2014-0352.

Malone S, Owen A, Newton M, Mendes B, Collins K, Gabbett T. The acute: chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer. *J Sci Med Sport* 2017a;20(6):561-5. doi: 10.1016/j.jsams.2016.10.014.

Malone S, Roe M, Doran D, Gabbett T, Collins K. High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. *J Sci Med Sport* 2017b;12:393-410. doi: 10.1016/j.jsams.2016.08.005.

Malone S, Owen A, Newton M, Mendes B, Tiernan L, Hughes B, Collins K. Wellbeing perception and the impact on external training output among elite soccer players. *J Sci Med Sport* 2018;21:29-34. doi: 10.1016/j.jsams.2017.03.019.

Mann J, Bryant K, Johnstone B, Ivey P, Sayers S. Effects of Physical and Academic Stress on Illness and Injury in Division 1 College Football Players. *J Strength Cond Res* 2015;30(1):20-25. doi: 10.1519/JSC.0000000000001055.

- Mansournia M, Collins G, Nielsen R, Nazemipour M, Jewell N, Altman D, Cambell M. A checklist for statistical assessment of medical papers (the CHAMP statement): explanation and elaboration. *Br J Sports Med* 2021;55(18):1009-1017. doi: 10.1136/bjsports-2020-103652.
- Manzi V, D'Ottavio S, Impellizzeri F, Chaouachi A, Chamari K, Castagna C. Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. *J Strength Cond Res* 2010;5(24):1399-1406. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d7552a.
- Martin-Lopez A, Mendes R, Castillo-Rodriguez A. Internal and external loads in training week before the competition in U19 high-level soccer players. *J Strength Cond Res* 2021;35:1766-1772. doi: 10.1519/JSC.0000000000002975.
- Maupin D, Schram B, Canetti E, Orr R. The relationship between acute: chronic workload ratios and injury risk in sports: a systematic review. *Open Access J Sports Med* 2020;11:51-755. doi: 10.2147/OAJSM.S231405.
- McCall A, Carling C, Nedelec M, Davison M, Le Gall F, Berthoin S, Dupont G. Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: Current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *Br J Sports Med* 2014;49:583-589. doi: 10.1136/bjsports-2014-093439.
- McCall A, Fanchini M, Coutts A. Prediction: The Modern-Day Sport-Science and Sports-Medicine "Quest for the Holy Grail". *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12:704-706. doi: 10.1123/ijsp.2017-0137.
- McCall A, Dupont G, Ekstrand J. Internal workload and non-contact injury: a one-season study of five teams from the UEFA Elite Club Injury Study. *Br J Sports Med* 2018;52:1517-1522. doi: 10.1136/bjsports-2017-098473.
- McCall A, Pruna R, Van der Horst N, Dupont G, Buchheit M, Coutts A, Impellizzeri F, Fanchini M. Exercise-Based Strategies to Prevent Muscle Injury in Male Elite Footballers: An Expert-Led Delphi Survey of 21 Practitioners Belonging to 18 Teams from Big-5 European Leagues. *Sports Medicine* 2020;50:1667-1681. doi: 10.1007/s40279-020-01315-7.

- McLaren S, Smith A, Spears I, Weston M. A detailed quantification of differential ratings of perceived exertion during team-sport training. *J Science Med Sport* 2016;20(3):290-295. doi: 10.1016/j.jsams.2016.06.011.
- McLaren S, Macpherson T, Coutts A, Hurst C, Spears I, Weston M. The Relationships Between Internal and External Measures of Training Load and Intensity in Team Sports: A Meta-Analysis. *Sports Med* 2018;48:641-658. doi: 10.1007/s40279-017-0830-z.
- McLellan C, Lovell D, Gass G. Markers of postmatch fatigue in professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 2011;25(4):1030-9. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cc22cc.
- MacMillan G, Batterham A, Chesterton P, Gregson W, Lolli L, Weston M, Atkinson G. Variability in the Study Quality Appraisals Reported in Systematic Reviews on the Acute:Chronic Workload Ratio and Injury Risk. *Sports Med* 2020; 50(11):2065-2067. doi: 10.1007/s40279-020-01333-5.
- Maughan P, MacFarlane N, Swinton P. Relationship Between Subjective and External Training Load Variables in Youth Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perfor* 2021;16:1127-1133. doi: 10.1123/ijsp.2019-0956.
- Meeusen R, Duclos M, Gleeson M, Urhausen A. Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome - ECSS Position Statement 'Task Force'. *Eur J Sport Sci* 2006;6(1):1-14. doi: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a.
- Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, Raglin J, Rietjens G, Steinacker J, Urhausen A. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc* 2013;45(1):186-205. doi: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a.
- Meeuwisse W. Assessing causation in sport injury: a multifactorial model. *Clin J Sport Med* 1994;4:166-70.
- Meeuwisse W, Tyreman H, Hagel B, Emery C. A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. *Clin J Sport Med* 2007;17(3):215-219. doi: 10.1097/JSM.0b013e3180592a48.

- Melanson E, Freedson P. The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. *Eur J Appl Physiol* 2001;85(5):442-449. doi: 10.1038/jhh.2009.51.
- Menaspà P. Are rolling averages a good way to assess training load for injury prevention. *Br J Sports Med* 2017;51:618-619. doi: 10.1136/bjsports-2016-096131.
- Milanez V, Ramos S, Okuno N, Boullosa D, Nakamura F. Evidence of a Non-Linear Dose-Response Relationship between Training Load and Stress Markers in Elite Female Futsal Players. *J Sports Sci Med* 2014;13:22-29.
- Milewski M, Skaggs D, Bishop G, Pace J, Ibrahim D, Wren T, Barzdukas A. Chronic lack of sleep is associated with increased sports injuries in adolescent athletes. *J Pediatr Orthop* 2014;34:129-33. doi: 10.1097/BPO.000000000000151.
- Mitchell L, Rattray B, Fowle J, Saunders P, Pyne D. The impact of different training load quantification and modelling methodologies on performance predictions in elite swimmers. *Eur J Sport Sci* 2020;20:1329-38. doi: 10.1080/17461391.2020.1719211.
- Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003;21(7):519-28. doi: 10.1080/0264041031000071182.
- Montgomery P, Hopkins W. The effects of game and training loads on perceptual responses of muscle soreness in Australian football. *Int J Sports Physiol Perform* 2013;8(3):312-318. doi: 10.1123/ijsp.8.3.312.
- Mooney G, Cormack J, O'Brien M, Morgan M, McGuigan M. Impact of neuromuscular fatigue on match exercise intensity and performance in elite Australian football. *J Strength Cond Res* 2013;27:166-173. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182514683.
- Mufty S, Bollars P, Vanlommel L, Van Crombrugge K, Corten K, Bellemans J. Injuries in male versus female soccer players: epidemiology of a nationwide study. *Acta Orthop Belg*. 2015;81(2):289-295.
- Mujika I. Quantification of training and competition loads in endurance sports: methods and applications. *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12 (2):29-217. doi: 10.1123/ijsp.2016-0403.

Murray N, Gabbett T, Townshend A, Blanch P. Calculating acute:chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages. *Br J Sports Med*. 2017;51(9):749–54. doi: 10.1136/bjsports-2016-097152.

Murray N, Gabbett T, Townshend A. The use of relative speed zones in Australian football: are we really measuring what we think we are? *Int J Sports Physiol Perform* 2018;13(4):442–51. doi: 10.1123/ijsp.2017-0148.

Myklebust G, Hasslan L, Bahr R, Steffen K. High prevalence of shoulder pain among elite Norwegian female handball players. *Scand J Med Sci Sports*. 2013;23(3):288-94. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01398.x.

Myer G, Jayanthi N, Difiori J, Faigenbaum A, Kiefer A, Logerstedt D, Micheli L. Sport specialization, part I: does early sports specialization increase negative outcomes and reduce the opportunity for success in young athletes? *Sports Health* 2015;7:437–42. doi: 10.1177/1941738115598747.

Myers N, Aguillar K, Mexicano G, Farnsworth J, Knudson D, Kibler B. The Acute:Chronic Workload Ratio Is Associated with Injury in Junior Tennis Players. *Med Sci Sports Exerc* 2019;15:1196-1200. doi: 10.1249/MSS.0000000000002215.

Myers N, Mexicano G, Aguilar K. The Association Between Noncontact Injuries and the Acute–Chronic Workload Ratio in Elite-Level Athletes: A Critically Appraised Topic. *J Sport Rehabil* 2020;29(1):127-130. doi: 10.1123/jsr.2018-0207.

Neumaier A, Main L, Gastin P. Monitoring athletes through self-report: Perceived benefits and outcomes. *ASICS Conference / Journal of Science and Medicine in Sport*. 2013;16S:39-58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.10.121>.

Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S, Dupont, G. Recovery in soccer: part I—post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Med* 2012;42(12):997-1015. doi: 10.2165/11635270-000000000-00000.

Nicolas M, Vacher P, Martinent G, Mourot L. Monitoring stress and recovery states: Structural and external stages of the short version of the RESTQ sport in elite swimmers before championships. *J Sport Health Sci* 2019;8(1):1-12. doi: 10.1016/j.jshs.2016.03.007.

- Nienstedt W, Hänninen O, Arstila A, Björkqvist S-E. 2008. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WSOY, Helsinki.
- Nummela A, Vääntinen T, Hynynen E, Finni E, Jouste P, Keränen T, Luhtanen P, Mets T, Mononen K, Mäkelä I, Norvapalo K, Rusko H, Salonen M, Toivonen R, Tummavuori M. 2006. Jalkapallon, yleisurheilun teholajien ja kivääriammunnan kuormitus- ja palautumiskonseptien kehittäminen. Kilpa ja huippu-urheilun tutkimuskeskus Kihu, Jyväskylä. Kihun julkaisusarja nro 6.
- Nunes J, Moreira A, Blair A, Crewther B, Nosaka K, Viveiros L, Aoki M. Monitoring Training Load, Recovery-Stress State, Immune-Endocrine Responses, And Physical Performance in Elite Female Basketball Players During a Periodized Training Program. *J Strength Cond Res* 2014;28(10):2973-2980. doi: 10.1519/JSC.0000000000000499.
- Nässi A, Ferrauti A, Meyer T, Pfeiffer M, Kellmann M. Development of two short measures for recovery and stress in sport. *Eur J Sport Sci* 2017;17(7):894-903. doi: 10.1080/17461391.2017.1318180.
- O'Brien J, Finch C, Pruna R, McCall A. A new model for injury prevention in team sports: the Team-sport Injury Prevention (TIP) cycle. *Sci Med Footb.* 2019;3(1):77-80. doi: <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1512752>.
- Okholm Kryger K, Wang A, Mehta R, Impellizzeri FM, Massey A, McCall A. Research on women's football: a scoping review. *Sci Med Footb.* 2021. doi: 10.1080/24733938.2020.1868560.
- Orchard J, Blanch P, Paoloni J, Kountouris A, Sims K, Orchard J, Brukner P. Cricket fast bowling workload patterns as risk factors for tendon, muscle, bone and joint injuries. *Br J Sports Med* 2015;49(16):1064-1068. doi: 10.1136/bjsports-2014-093683.
- Owoeye O, VanderWey M, Pike I. Reducing injuries in soccer (football): an umbrella review of best evidence across the epidemiological frame-work for prevention. *Sports Med Open* 2020;6(1):46. doi: 10.1186/s40798-020-00274-7.
- Pfirschmann D, Berbst M, Ingelfinger P, Simon P, Tug S. Analysis of Injury Incidence in Male Professional Adult and Elite Youth Soccer Players: A Systematic Review. *J Athl Train* 2016;51(5):410-424. doi: 10.4085/1062-6050-51.6.03.

Phibbs P, Roe G, Jones B, Read D, Weakley J, Darrall-Jones J, Till K. Validity of daily and weekly self-reported training load measures in adolescent athletes. *J Strength Cond Res* 2017;31(4):1121-1126. doi: 10.1519/JSC.0000000000001708.

Piggott B, Newton M, McGuigan M. The relationship between training load and incidence of injury and illness over a preseason at an Australian football league club. *J Austr Strength Cond Res* 2008;17(3):4-17.

Pierpont G, Stolpman D, Gornick C. Heart rate recovery postexercise as an index of parasympathetic activity. *J Auton Nerv Syst* 2000;80:169-74. doi: 10.1590/s0100-879x2002000800018.

Pichot V, Busso T, Roche F, Garet M, Costes F, Duverney D, Lacour J, Barthelemy J. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34:1660-6. doi: 10.1097/00005768-200210000-00019.

Plews D, Scott B, Altini M, Wood M, Kilding A, Laursen P. Comparison of Heart Rate Variability Recording With Smart Phone Photoplethysmographic, Polar H7 Chest Strap and Electrocardiogram Methods. *International J Sports Physiol Perform* 2017;12(10):1324-1328. doi: 10.1123/ijsp.2016-0668.

Prapavessis H. The POMS and sports performance: A review. *J Appl Sport Psychol* 2000;12(1):34-48. doi: 10.1080/10413200008404212.

Price R, Hawkins R, Hulse M, Hodson A. The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football. *Br J Sports Med* 2004;38:466-71. doi: 10.1136/bjism.2003.005165.

Quarrie K, Raftery M, Blackie J, Cook C, Fuller C, Gabbett T, Gray A, Gill N, Hennessy L, Kemp S, Lambert M, Nichol R, Mellalieu S, Piscione J, Stadelmann J, Tucker R. Managing player load in professional rugby union: a review of current knowledge and practices. *Bri J Sports Med* 2017;51:421-7. doi: 10.1136/bjsports-2016-096191.

Rabelo F, Pasquarelli B, Conçalves B, Matzenbacher F, Campos F, Sampaio J, Nakamura F. Monitoring the Intended and Perceived Training Load of a Professional Futsal Team Over 45

Week: A Case Study. *J Strength Cond Res* 2015;30(1):134-140. doi: 10.1519/JSC.0000000000001090.

Raya-González J, Nakamura F, Castillo D, Yanci J, Fanchini M. Determining the Relationship Between Internal Load Markers and Noncontact Injuries in Young Elite Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform* 2019;14:421-425. doi: 10.1123/ijsp.2018-0466.

Rice S, Purcell R, De Silva S, Mawren D, McGorry P, Parker AG. The mental health of elite athletes: a narrative systematic review. *Sport Med* 2016;46:1333-53. doi: 10.1007/s40279-016-0492-2.

Riikonen E. Henkinen hyvinvointi. Teoksessa Riikonen E, Kämäräinen M, Lappalainen J, Oksa P, Pääkkönen R, ym. (toim.) Työsuojelun perusteet (3. painos). Vammala: Työterveyslaitos 2006, s. 74-93.

Rodriguez-Marroyo J, Villa G, Garcia-Lopez J, Foster C. Comparison of Heart Rate and Session Rating of Perceived Exertion Methods of Defining Exercise Load in Cyclists. *J Strength Cond Res* 2014a;26(8):2249-2257. doi: 10.1519/JSC.0b013e31823a4233.

Rodriguez-Marroyo J, Medina J, Garcia-Lopez J, Garcia-Tormo J, Foster C. Correspondence between training load executed by volleyball players and the one observed by coaches. *J Strength Cond Res* 2014b;28:1588-1594. doi: 10.1519/JSC.0000000000000324.

Rodriguez-Zamora L, Iglesias X, Barrero A, Torres L, Chaverri D, Rodriguez A. Monitoring Internal Load Parameters During Competitive Synchronized Swimming Duet Routines in Elite Athletes. *J Strength Cond Res* 2014;28(39):742-751. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182a20ee7.

Rogalski B, Dawson B, Heasman J, Gabbet T. Training and game loads and injury risk in elite Australian footballers. *J Science Med Sport* 2013;16(6):499-503. doi: 10.1016/j.jsams.2012.12.004.

Rowland T. Effect of prolonged inactivity on aerobic fitness of children. *J Sports Med Phys Fit* 1994;34:147-55.

Ryan S, Pacecca E, Tebble J, Hocking J, Kempton T, Coutts A. Measurement Characteristics of Acute Monitoring Tools in Professional Australian Football. *Int J Sports Physiol Perform* 2020a;15:457-463. doi: 10.1123/ijsp.2019-0060.

Ryan S, Impellezzeri F, Kempton T, Coutts A. Training monitoring in professional Australian football: theoretical basis and recommendations for coaches and scientists. *J Sci Med Foot* 2020b;4(1):52–5. doi: <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1641212>

Ryan S, Kempton T, Coutts A. Data Reduction Approaches to Athlete Monitoring in Professional Australian Football. *Int J Sports Physiol Perform* 2021a;16:59-65. doi: [10.1123/ijsp.2020-0083](https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0083).

Ryan S, Crowcroft S, Kempton T, Coutts A. Associations between refined athlete monitoring measures and individual match performance in professional Australian football. *Scien Med Football* 2021b;5(3):216-224. doi: [10.1080/24733938.2020.1837924](https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1837924).

Ryan G, Snarr R, Eisenman M, Rossi S. Seasonal Training Load Quantification and Comparison in College Male Soccer Players. *J Stren Cond Res* 2022;36(4):1038-1045. doi: [10.1519/JSC.0000000000003589](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003589).

Ryynänen J, Junge A, Dvorak J, Peterson L, Karlsson J, Borjesson M. The effect of change in the score on injury incidence during three FIFA World Cups. *Br J Sports Med* 2023;47(15):960-964. doi: [10.1136/bjsports-2012-091843](https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091843).

Røksund O, Kristoffersen M, Bogen B, Wisnes A, Engeset M, Nilsen A-K, Iversen V, Mæland S, Gundersen H. Higher drop in speed during a repeated sprint test in soccer players reporting former hamstring strain injury. *Front Physiol.* 2017;8:25. doi: [10.3389/fphys.2017.00025](https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00025).

Saboul D, Balducci P, Millet G, Pialoux V, Hautier C. A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *Eur J Sport Sci* 2016;16(2):172-181. doi: [10.1080/17461391.2015.1004373](https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1004373).

Sampson J, Murray A, Williams S, Halseth T, Hanisch J, Golden G, Fullagar H. Injury risk-workload associations in NCAA American college football. *J Sci Med Sport* 2018;21:1215-1220. doi: [10.1016/j.jsams.2018.05.019](https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.019).

Sampson J, Fullagar H, Murray A. Evidence is needed to determine if there is a better way to determine the acute:chronic workload. *Br J Sports Med* 2017;51(7):621-622. doi: [10.1136/bjsports-2016-097085](https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097085).

- Saw A, Main L, Gatin P. Monitoring athletes through self-report: factors influencing implementation. *J Sports Sci Med* 2015;14:137-46.
- Saw A, Main L, Gatin P. Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *Br J Sports Med* 2016;50:281-291. doi: 10.1136/bjsports-2015-094758.
- Saw A, Kellmann M, Main L, Gatin P. Athlete self-report measures in research and practice: considerations for the discerning reader and fastidious practitioner. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12: S2-127–S2-135. doi: 10.1123/ijsp.2016-0395.
- Seow D, Graham I, Massey A. Prediction models for musculoskeletal injuries in professional sporting activities: a systematic review. *Trans Sport Med* 2020;3(6):505–17. doi: <https://doi.org/10.1002/tsm2.181>.
- Scanlan A, Wen N, Tucker P, Dalbo V. The Relationship Between Internal and External Training Load Models During Basketball Training. *J Strength Cond Res* 2014;28(9):397-2405. doi: 10.1519/JSC.0000000000000458.
- Scantlebury S, Till K, Sawczuk T, Phibbs P, Jones B. Validity of Retrospective Sessions Rating of Perceived Exertion to Quantify Training Load in Youth Athletes. *J Strength Cond Res* 2018;32(7):1975-1980. doi: 10.1519/JSC.0000000000002099.
- Schuit E, Groenwold R, Harrell F Jr, de Kort W, Kwee A, Mol B, Riley R, Moons K. Unexpected predictoroutcome associations in clinical prediction research: causes and solutions. *CMAJ* 2013;185(10):E499-E505. doi: 10.1503/cmaj.120812.
- Schwellnus M, Soligard T, Alonso J, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra P, Gabbett T, Gleeson M, Hägglund M, Hutchinson M, Van Rensburg C, Meeusen R, Orchard J, Pluim B, Raftery M, Budgett R, Engebretsen L. How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *Br J Sports Med* 2016;50:1043-1052. doi: 10.1136/bjsports-2016-096572.

Scott B, Lockie R, Knight T, Clark C, de Jonge. A Comparison of Methods to Quantify the In-Season Training Load of Professional Soccer Players. *Int J Sports Physiol Performa* 2013a;8:195-202. doi: 10.1123/ijsp.8.2.195.

Scott T, Black C, Quinn J, Coutts A. Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: A comparison of the CR10 and CR100 scales. *J Strength Cond Res* 2013b;27:270-276. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182541d2e.

Scott B, Duthie G, Thornton H, Dascombe B. Training Monitoring for Resistance Exercise: Theory and Applications. *Sports Med* 2016;46(5):687-698. doi: 10.1007/s40279-015-0454-0.

Scott D, Norris D, Lovell R. Dose–Response Relationship Between External Load and Wellness in Elite Women’s Soccer Matches Do Customized Velocity Thresholds Add Value? *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:1245-1251. doi: 10.1123/ijsp.2019-0660.

Shmueli G. To explain or to predict? *Stat Sci* 2010;25(3):289-310. doi: 10.1214/10-STS330

Simpson R, Campbell J, Gleeson M, Krüger K, Nieman D, Pyne D, Turner J, Walsh N. Can exercise affect immune function to increase susceptibility to infection? *Exerc Immunol Rev* 2020;26:8–22.

Slivka D, Hailes W, Cuddy J, Ruby B. Effects of 21 Days of Intensified Training on Markers of Overtraining. *J Strength Cond Res* 2010;24(10):2604-2612. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e8a4eb.

Smoliga J, Zavorsky G. Team logo predicts concussion risk: lessons in protecting a vulnerable sports community from misconceived, but highly publicized epidemiologic research. *Epidemiol* 2017;28(5):753-757. doi: 10.1097/EDE.0000000000000694.

Sniffen K, Noel-London K, Schaeffer M, Owoeye O. Is Cumulative Load Associated with Injuries in Youth Team Sport? A Systematic Review. *Sports Med Open* 2022;8:117. doi: 10.1186/s40798-022-00516-w.

Sole G, Milosavljevic S, Nicholson H, Sullivan S. Altered muscle activation following hamstring injuries. *Br J Sports Med*. 2012;46:118–23. doi: 10.1136/bjism.2010.079343.

Stallman H, Hurst C. The University Stress Scale: measuring domains and extent of stress in university students: University Stress Scale. *Aust Psychol* 2016;51:128–134. doi: 10.1111/ap.12127

- Stares J, Dawson B, Peeling P, Heasman J, Rogalski B, Drew M, Colby M, Dupont G, Lester L. Identifying high risk loading conditions for in-season injury in elite Australian football players. *J Sci Med Sport* 2018;21(1):46–51. doi: 10.1016/j.jsams.2017.05.012.
- Slimani M, Davis P, Moalla W, Franchini E. Rating of Perceived Exertion for Quantification of Training and Combat Loads During Combat Sport Specific Activities: A Short Review. *J Strength Cond Res* 2017;31(10):2889-2902. doi: 10.1519/JSC.0000000000002047.
- Soligard T, Schwellnus M, Alonso J-M, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra P, Gabbet T, Gleeson M, Häggglund M, Hutchinson M, Van Rensburg C, Khan K, Meeusen R, Orchard J, Pluim B, Raftery M, Budgett R, Engebretsen L. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med* 2016;50:1030-1041. doi: 10.1136/bjsports-2016-096581.
- Spence L, Brown W, Pyne D, Nissen M, Sloots T, McCormack J, Locke A, Fricker P. Incidence, etiology, and symptomatology of upper respiratory illness in elite athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(4):577-86. doi: 10.1249/mss.0b013e31802e851a.
- Sprouse B, Alty J, Kemp S, Cowie C, Mehta R, Tang A, Morris J, Cooper S, Varley I. The Football Association Injury and Illness Surveillance Study: The Incidence, Burden and Severity of Injuries and Illness in Men's and Women's International Football. *Sports Med* 2020;28;1-20. doi: 10.1007/s40279-020-01411-8
- Stanley J, Peake J, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. *Sports Med* 2013;43:1259-1277. doi: 10.1007/s40279-013-0083-4.
- Suchomel T, Nimphius S, Bellon C, Hornsby W, Stone M. Training for Muscular Strength: Methods for Monitoring and Adjusting Training Intensity. *Sports Med* 2021;51:051-2066. doi: 10.1007/s40279-021-01488-9.
- Svendsen I, Gleeson M, Haugen T, Tønnessen E. Effect of an intense period of competition on race performance and self-reported illness in elite cross-country skiers. *Scand J Sci Sports* 2015;25(6):846-53. doi: 10.1111/sms.12452.

Taylor K, Chapman D, Cronin J, Newton M, Gill N. Fatigue monitoring in high performance sport: a survey of current trends. *J Aust Strength Cond* 2012;20:12-23.

Taylor T, West D, Howatson G, Jones C, Bracken, R, Love T, Cook C, Swift E, Baker J, Kilduff L. The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players. *J Sci Med Sport* 2015;18(3):328-32. doi: 10.1016/j.jsams.2014.04.004.

Thomson R, Bellenger C, Howe P, Karavirta L, Buckley J. Improved heart rate recovery despite reduced exercise performance following heavy training: A within-subject analysis. *J Sci Med Sport* 2016;19:255-259. doi: 10.1016/j.jsams.2015.02.010.

Thornton H, Delaney J, Duthie G, Scott B, Chivers W, Sanctuary C, Dascombe B. Predicting Self-Reported Illness for Professional Team-Sport Athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 2016;11(4):543-50. doi: 10.1123/ijsp.2015-0330.

Thornton H, Delaney J, Duthie G, Dascombe B. Developing Athlete Monitoring Systems in Team Sports: Data Analysis and Visualization. *Int J Sports Physiol Perform* 2019;14:698-705. doi: 10.1123/ijsp.2018-0169.

Thorpe R, Strudwick A, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, Gregson W. Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2015;10:958-964. doi: 10.1123/ijsp.2015-0004.

Tiernan C, Comyns T, Lyons M, Nevill A, Warrington G. The Association Between Training Load Indices and Injuries in Elite Soccer Players. *J Strength Cond Res* 2022;36:3143-3150. doi: 10.1519/JSC.0000000000003914.

Timmins R, Shield A, Williams M, Lorenzen C, Opar D. Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *Br J Sports Med* 2016;50(23):1467-1472. doi: 10.1136/bjsports-2015-094881.

- Tomazoli G, Marques J, Farooq A, Silva J. Estimating Postmatch Fatigue in Soccer: The Effect of Individualization of Speed Thresholds on Perceived Recovery. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:1216-1222. doi: 10.1123/ijsp.2019-0399.
- Torres-Ronda L, Schelling X. Critical Process for the Implementation of Technology in Sport Organizations. *Strength Cond J* 2017;39(6):54-59. doi: 10.1519/SSC.0000000000000339.
- Torres-Ronda L, Beanland E, Whitehead S, Sweeting A, Clubb J. Tracking Systems in Team Sports: A Narrative Review of Applications of the Data and Sport Specific Analysis. *Sports Med* 2022;8:15. doi: 10.1186/s40798-022-00408-z.
- Tulppo M, Kiviniemi A, Hautala A, Kallio M, Seppänen, T, Tiinanen S, Mäkikallio T, Huikuri H. Sympatho-vagal interaction in the recovery phase of exercise. *Clin Physiol Funct Imaging* 2011;31:272-281. doi: 10.1111/j.1475-097X.2011.01012.x.
- Ungureanu A, Brustio P, Boccia G, Rainoldi A, Lupo C. Effects of Pre-session Well-Being Perception on Internal Training Load in Female Volleyball Players. *Int J Sports Physiol Perform* 2021;16:622-627. doi: 10.1123/ijsp.2020-0387.
- Uphill M, Sly D, Swain J. From mental health to mental wealth in athletes: looking back and moving forward. *Front Psychol* 2016;7:1–7. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00935.
- Uusitalo A, Nummela A. Urheilijan ylikuormitustila. Teoksessa Mero A, Nummela A, Kalaja S, Häkkinen K. (toim.) *Huippu-urheiluvallmennus – teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. Lahti: VK-Kustannus Oy: 2016, s. 625-640.
- Wallace L, Slattery K, Coutts A. The ecological validity and application of the session-RPE method for quantifying training loads in swimming. *J Strength Cond Res* 2009;23:33-38. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181874512.
- Wallace L, Slattery K; Coutts A. A comparison of methods for quantifying training load: relationship between modelled and actual training responses. *Eur J Appl Physiol* 2014a;114:11-20. doi: 10.1007/s00421-013-2745-1.

Wallace L, Slattery K, Impellizzeri F, Coutts A. Establishing the Criterion Validity and Reliability of Common Methods for Quantifying Training Load. *J Strength Cond Res* 2014b;28(8):2330-2337. doi: 10.1519/JSC.0000000000000416.

Wang A, Healy J, Hyett N, Berthelot G, Kryger K. A systematic review on methodological variation in acute:chronic workload research in elite male football players. *Scien Med Football* 2021;5(1):18-34. doi: 10.1080/24733938.2020.1765007.

Wang C, Vargas J, Stokes T, Steele R, Shrier I. The acute:chronic workload ratio: challenges and prospects for improvement. *Mathematics* 2019.epub ahead of print. doi: doi.org/10.48550/arXiv.1907.05326

Wang C, Vargas J, Steele T, Shrier I. Analyzing Activity and Injury: Lessons Learned from the Acute:Chronic Workload Ratio. *Sports Med* 2020;50(7):1243-1254. doi: 10.1007/s40279-020-01280-1.

Watson A, Brickson S, Brooks A, Dunn W. Subjective well-being and training load predict in-season injury and illness risk in female youth soccer players. *Br J Sports Med* 2017;51:194–199. doi: 10.1136/bjsports-2016-096584.

Watson A, Brickson S. Impaired sleep mediates the negative effects of training load on subjective well-being in female youth athletes. *Sports Health* 2018;10:244–249. doi: 10.1177/1941738118757422.

Watson A, Brickson S. Relationships Between Sport Specialization, Sleep, and Subjective Well-Being in Female Adolescent Athletes. *Clin J Sport Med* 2019;29:384–390. doi: 10.1097/JSM.0000000000000631.

Weaving D, Jones B, Till K, Abt G, Beggs C. The Case for Adopting a Multivariate Approach to Optimize Training Load Quantification in Team Sports. *Front Physiol* 2017;12(8):1024. doi: 10.3389/fphys.2017.01024.

Weaving D, Jones B, Ireton M, Whitehead S, Till K, Beggs CB. Overcoming the problem of multicollinearity in sports performance data: a novel application of partial least squares correlation analysis. *PLoS One*. 2020;14(2):e0211776. doi: 10.1371/journal.pone.0211776.

Weinbergs R, Gould D. Foundations of sport and exercise psychology. 7th ed. Champaign: Human Kinetics 2019.

Weiss K, Allen S, McGuigan M, Whatman C. The Relationship Between Training Load and Injury in Men's Professional Basketball. *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12:1238-1242. doi: 10.1123/ijsp.2016-0726.

Wiig H, Andersen T, Luteberget L, Spencer M. Individual Response to External Training Load in Elite Football Players. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:696-704. doi: 10.1123/ijsp.2019-0453.

Williams S, West S, Cross M, Stokes K. Better way to determine the acute:chronic workload ratio? *Br J Sports Med* 2017a;51(3):209-210. doi: 10.1136/bjsports-2016-096589.

Williams S, Trewartha G, Cross MJ, Kemp SPT, Stokes KA. Monitoring what matters: a systematic process for selecting training-load measures. *Int J Sports Physiol Perform* 2017b;12(suppl 2): S2101–S2106. doi: 10.1123/ijsp.2016-0337.

Wilke C, Ramos G, Pacheco D, Santos W, Diniz M, Goncalves G, Marins J, Wanner S, Silami-Garcia E. Metabolic Demand and Internal Training Load in Technical-Tactical Training Sessions of Professional Futsal Players. *J Strength Cond Res* 2016;30(8):2330-2340. doi: 10.1519/JSC.0000000000001321.

Windt J, Gabbet T. How do training and competition workloads relate to injury? The workload – injury aetiology model. *Br J Sports Med* 2017;51(5):428-435. doi: 10.1136/bjsports-2016-096040.

Windt J, Ardern C, Gabbett T, Khan K, Cook C, Sporer B, Zumbo B. Getting the most out of intensive longitudinal data: a methodological review of workload–injury studies. *BMJ Open* 2018;8(10):e022626. doi: 10.1136/bmjopen-2018-022626.

Windt J, Gabbett T. Is it all for naught? What does mathematical coupling mean for acute:chronic workload ratios?. *Br J Sports Med* 2019;53(16):988-990. doi: 10.1136/bjsports-2017-098925.

World Health Organization. Promoting mental health: concepts, emerging evidence, practice: summary report. Geneva: World Health Organization; 2004.

Wrigley R, Drust B, Stratton G, Scott M, Gregson W. Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *J Sports Sci* 2012;30(15):1573-1580. doi: 10.1080/02640414.2012.709265.

Van Eetvelde H, Mendonça LD, Ley C, Seil R, Tischer T. Machine learning methods in sport injury prediction and prevention: a systematic review. *J Exp Orthop* 2021;8(1):1–15. doi: 10.1186/s40634-021-00346-x.

van Erp T, van der Hoorn T, Hoozemans M, Foster C, de Koning. Various Workload Models and the Preseason Are Associated With Injuries in Professional Female Cyclists. *Int J Sports Physiol Perform* 2022;17:210-215. doi: 10.1123/ijsp.2021-0144.

Veugelers K, Young W, Fahrer B. Different methods of training load quantification and their relationship to injury and illness in elite Australian football. *J Scien Med Sport* 2016;19(1):24-28. doi: 10.1016/j.jsams.2015.01.001.

Viru A, Viru M. Nature of training effects. Teoksessa Garrett W, Kirkendall D. (toim.) *Exercise and sport science*. 1st edn. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins 2000, s. 67-96.

Watson A, Brickson S, Brooks A, Dunn W. Subjective well-being and training load predict in-season injury and illness risk in female youth soccer players. *Br J Sports Med* 2017;51:194-199. doi: 10.1136/bjsports-2016-096584.

Young W, Hepner J, Robbins D. Movement demands in Australian rules football as indicators of muscle damage. *J Strength Cond Res*. 2012;26:492-6. doi: 10.1519/JSC.0b013e318225a1c4.

Zatsiorsky V, Kramer W. 2006. *Science and Practice of Strength Training – Second Edition*. Human Kinetics.