

Topi Syrjäläinen

**PUETTAVAT TEKNOLOGIAT OSANA URHEILIJAN
KUORMITUKSEN SEURANTAA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2023

TIIVISTELMÄ

Syrjäläinen, Topi

Puettavat teknologiat osana urheilijan kuormituksen seuranta

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2023.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Clements, Kati

Puettavien teknologioiden kehittyessä ja tarjotessa yhä monipuolisemmin erilaisia tapoja mitata ihmiskehoa, on tärkeää pyrkiä ymmärtämään mitä kaikkia uusia mahdollisuuksia tämä avaa eri aloilla. Tutkielma selvittää kirjallisuuskatsauksen avulla, kuinka urheilijat pystyvät hyödyntämään puettavia teknologioita osana kuormituksen seuranta. Kehittyneet sensorit kykenevät mittaamaan yhä useampaa kehon parametria, tarjoten myös urheilijoille täysin uusia tapoja seurata omaa toimintaansa. Kehittyäkseen urheilijoiden on harjoittelulla altistettava kehoa fyysiselle kuormitukselle. Liiallisella harjoittelulla on kuitenkin vaarana aiheuttaa vammoja ja haittoja terveydelle, jolloin oikean tasapainon löytäminen on tärkeää. Tunnistamalla miten kuormitus ilmenee ja mitä vaaroja siihen liittyy urheilijan näkökulmasta, voidaan tarkastella, miten harjoituskuormitusta pystytään tarkkailemaan puettavien teknologioiden avulla. Seurannassa auttavat useat sisäisen- ja ulkoisen kuormituksen mittarit, kuten GPS, sykevälivaihtelu sekä veren laktaattiarvot. Kuormitusta seurattaessa puettavat teknologiat voivat aiheuttaa myös stressiä tai ahdistusta urheilijan pyrkiessä liialliseen täydellisyyteen.

Asiasanat: puettava teknologia, harjoituskuormitus, kuormituksen seuranta

ABSTRACT

Syrjäläinen, Topi

Wearable technologies as part of monitoring athlete's load

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2023.

Information Systems Science, Bachelor's Thesis

Supervisor(s): Clements, Kati

As wearable technologies develop and offer more varied ways to measure the human body, it is important to try to understand what new possibilities this opens up in different fields. This bachelor's thesis is conducted as a literature review and looks to find different ways to utilize wearable technologies as part of monitoring athlete's load. Advanced sensors can measure more and more body parameters, also offering athletes completely new ways to monitor their own activities. In order to develop, athletes must expose their bodies to physical stress through training. However, excessive training risks causing injuries and harm to health, which means finding the right balance is necessary. By identifying what causes the training load and what dangers are associated with it from the athlete's point of view, it is possible to examine how the training load can be monitored with the help of wearable technologies. Several measures of internal and external load, such as GPS, heart rate variability and blood lactate values, help in monitoring. Wearable technologies can also cause stress or anxiety when the athlete strives for excessive perfection.

Keywords: wearable technology, training load, load monitoring

KUVIOT

KUVIO 1 Erilaisia puettavia teknologioita. Mukailten Rogrigues ym, 2018	9
KUVIO 2 Akuutin ja kroonisen harjoituskuormituksen suhde ja vaikutus vammaariskii. Mukailten Blanch & Gabbett, 2016	14

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Puettavat teknologiat kuormituksen seurannassa	22
---	----

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PUETTAVAT TEKNOLOGIAT	8
	2.1 Puettavan teknologian määritelmä	8
	2.2 Sensorit	9
	2.2.1 Kiihtyvyyssanturi.....	10
	2.2.2 Gyroskooppi.....	10
	2.2.3 Magnetometri.....	10
	2.2.4 GPS	10
	2.2.5 Sykemittari	11
	2.2.6 Barometri	11
3	KUORMITUS URHEILUSSA	12
	3.1 Harjoituskuormitus	12
	3.1.1 Ulkoinen kuormitus.....	12
	3.1.2 Sisäinen kuormitus.....	13
	3.2 Kuormituksen vaikutus vammariskiin.....	13
4	DATAN HYÖDYNTÄMINEN.....	16
	4.1 Kuormituksen seuranta & vammojen ehkäisy	16
	4.2 Palautumisen optimointi	18
5	YHTEENVETO	20

1 Johdanto

Viimeisten vuosikymmenten aikana teknologian kehitys on näkynyt myös liikuntateknologian saralla suurina muutoksina. Jos sykemittarit olivat ennen huippu-urheilijoiden monimutkaisia työkaluja, omistaa nykyään yhä useampi vastaantulija joitain puettavia teknologioita. Tuotteiden nousseeseen suosioon on vaikuttanut se, että niiden laatu ja tarkkuus on parantunut huomattavasti, niistä on tullut yhä mukavampia käyttää, sekä aiempaa edullisempia kuluttajille (Huhn ym. 2022). Puettavien teknologioiden valikoima elektroniikkakaupoissa laajenee edelleen, ja kysyntää näille tuotteille riittää. Grand view research arvioikin vuoden 2022 raportissaan puettavien teknologioiden maailmanlaajuisen markkinoiden arvoksi 61 miljardia dollaria, ja ennustaa 14,6 prosentin vuosikasvua aina vuoteen 2030 asti. Suosiota selittää myös ihmisten lisääntynyt terveystietoisuus ja halu noudattaa liikuntasuosituksia (Chong ym. 2020).

Puettavien teknologioiden ja sensoreiden kehittyessä kovaa tahtia, avautuu urheilijoille täysin uusia tapoja hankkia erilaista dataa omasta toiminnastaan. Oli kyse sitten huippu-urheilijasta tai intohimoisesta harrastajasta, joka pyrkii jatkuvasti parempiin tuloksiin ja kehitykseen, on luonnollisesti terveyden ja harjoituskuormituksen seurannasta tullut yksi keskeisistä painopisteistä (Halson ym. 2016). Palautumista, sykettä ja unta mittaavien laitteiden lisäksi kehittynyttä sensortechnologiaa on hyödynnetty urheiluvalmennuksessa myös mittaamalla suoritusten biomekaniikkaa, esimerkiksi painonnostajien nivelkulmia tarkastelemalla (Löppönen & Rantalainen 2022).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, millaista dataa puettavat teknologiat tarjoavat käyttäjälleen ja arvioida, kuinka tätä pystytään hyödyntämään harjoituskuormituksen seurannassa. Tutkimuskysymykseksi valikoitui tästä syystä

- 1) Kuinka puettavia teknologioita voidaan käyttää hyväksi urheilijan kuormituksen seurannassa?

Kun kilpailu maailmalla kovenee ja urheilulajit kansainvälistyvät entisestään, urheilijat etsivät jatkuvasti keinoja, joilla pudottaa ratkaiseva sekunti suorituksesta tai venyä sentin pidemmälle (Michelsen ym. 2022). Harjoituskuormituksen tarkemmalla seuraamisella pystytään paremmin kontrolloimaan harjoittelua, palautumaan, välttämään vammoja ja kaikkein tärkeimpänä kehittymään urheilijoina. Tutkimuksesta hyötyvätkin erityisesti puettavia teknologioita käyttävät urheilijat sekä heidän valmentajinansa toimivat henkilöt.

Tutkielman ensimmäinen luku antaa ensin perusteellisesti tietoa puettavista teknologioista ja niissä käytettävistä sensoreista. Tämän jälkeen toisessa luvussa siirrytään lähemmäksi ongelmaa tarkastelemaan kuormitusta urheilun näkökulmasta, ja tutkitaan millaisia mittareita voidaan hyödyntää urheilijan tilan tarkkailussa. Kun on saatu parempi käsitys sekä teknologiasta, että urheilun vaatimuksista, voidaan siirtyä itse tutkimuskysymyksen pariin ja tarkastella erilaisia teknologisia ratkaisuja kuormituksen seurantaan. Lopuksi suoritetaan yhteenveto, jossa pohditaan saatuja tuloksia, mahdollisia ongelmia ja esitetään jatkotutkimusaiheita.

2 Puettavat teknologiat

Tässä luvussa tarkastellaan ensin puettavan teknologian määritelmää, jonka jälkeen tutustutaan tarkemmin siihen millaista tietoa puettavalla teknologialla voidaan kerätä. Toinen alaluku käsittelee sensoriteknologiaa, joka mahdollistaa ihmiskehon seuraamisen yksityiskohtaisesti.

2.1 Puettavan teknologian määritelmä

Mobiiliteknologian suosio ja nopea kehitys on johtanut puettavien teknologioiden syntymiseen. Käsitteillä puettavat teknologiat, puettavat laitteet tai puettava tekniikka viitataan elektronisiin laitteisiin tai tietokoneisiin, joita voidaan käyttää vartalolla joko lisävarusteena tai osana vaatetta (Ometov ym. 2021). Puettavat teknologiat voidaan määritellä myös sensoriksi tai ihon pinnalla oleviksi sensoreiksi, jotka mahdollistavat terveyden ja suorituskyvyn seuraamisen langattomasti (Seshadri ym. 2019). Lisäksi laitteille on ominaista kyky pystyä tallentamaan ja käsittelemään tietoja sekä mahdollisuus reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon verkon ja laitteen välillä (Chong ym. 2020). Rogrigues ym. (2018) määrittelee puettavat teknologiat älylaitteiksi, jotka voidaan kiinnittää vartaloon kuten kellot, kengät tai vartaloanturit. Näiden laitteiden tulee kyetä näyttämään käyttäjänsä fysiologisia tietoja.

Tyypillisiä puettavia teknologioita ovat älykellot, vartalokamerat, sykemittarit ja erilaiset perinteiset urheiluseurantalaitteet. Näiden lisäksi tulevan sukupolven laitteisiin kuuluvat virtuaalitodellisuutta osittain tai kokonaan hyödyntävät laitteet sekä erilaiset älyvaatteet (Ometov ym. 2021). Jatkuvien uudistusten myötä erilaiset laitteet tarjoavat laajan valikoiman toimintoja kuten mahdollisuuden seurata askeleita, kulutettuja ja poltettuja kaloreita, nousevia kerroksia, unta tai vaikka sykettä. Useimmat ihmiset käyttävät kuitenkin aktiivisuusmittarin ja älypuhelimien yhdistelmää rajoittaen näin käyttökokemustaan (Chong ym. 2020).



KUVIO 1 Erilaisia puettavia teknologioita. Mukailten Rogrigues ym, 2018

Vaikka puettavat teknologiat voidaan määritellä hyvin monella eri tapaa, määritelmiä yhdistävät tietyt ominaisuudet: langaton tiedonsiirto ja kyky seurata erilaisia kehon parametreja. Laitteiden perimmäisenä tarkoituksena voisi siis sanoa olevan auttaa käyttäjänsä jollain tavoin paremmin ymmärtämään omaa fysiologista toimintaansa, oli tavoitteena sitten unen optimointi tai harjoittelun seuranta.

2.2 Sensorit

Sensortechnologia on kehittynyt viimeisten vuosikymmenten aikana suurin askelin, mikä on osaltaan vaikuttanut puettavien teknologioiden aseman vakiintumiseen kuluttajien ja yhteiskunnan palveluiden, kuten lääketieteen apuna (Heikenfeld ym. 2018). Antureiden ja elektronisten piirien koko on aiemmin tehnyt puettavista teknologioista häiritsevän isoja sopimaan pitkän aikavälin seurantaan, mutta viimeaikainen kehitys mikroelektroniikan alalla on mahdol-

listanut teknologian miniatyrisoinnin (Patel ym. 2012). Tämä on ollut avainasemassa puettavien teknologioiden käyttöönotossa, ja mahdollistanut entistä käytännöllisempien pienoispiirien kehittämisen. Sensoreiden koon mahdollistaman paremman ergonomian lisäksi myös niiden edullisuus on osaltaan vaikuttanut määrän lisääntymiseen ja yleistymiseen (Heikenfeld ym. 2018). Tyypillisimpiä sensoreita puettavissa teknologioissa urheilun saralla ovat kiihtyvyysanturi, gyroskooppi, magnetometri, Global Positioning System (GPS), sykemittari ja barometri.

2.2.1 Kiihtyvyysanturi

Kiihtyvyysanturi on tyypillinen sensori puettavissa teknologioissa, jolla voidaan mitata sekä lineaarista-, että putoamiskiihtyvyyttä. Nämä mittausominaisuudet tarjoavat monipuolisesti erilaisia käyttötarkoituksia niin unirytmien seuraamisesta juoksijan huippunopeuteen ja kiihtyvyyteen (Aroganam ym. 2019).

2.2.2 Gyroskooppi

Gyroskooppi muistuttaa hieman kiihtyvyysanturia, mutta eroaa oleellisesti siten, että se mittaa yksinomaan kulmakiihtyvyyttä. Jotkin sovellukset käyttävät vain kiihtyvyysanturia pyörimiskiihtyvyyden määrittämiseen, kun taas jotkut yhdistävät rinnalle gyroskoopin tiedot suodattaakseen virheet ja parantaakseen tietojen tarkkuutta (Aroganam ym. 2019). Yhdessä Kiihtyvyysanturin kanssa gyroskooppi muodostaa Inertial Measurement Unit:in (IMU), jonka avulla voidaan saada kaksiulotteista kuvaa ympäristöstä (Camomilla ym. 2018).

2.2.3 Magnetometri

Magnetometri mittaa magneettisia voimia suhteessa maan magneettikenttään Hall-ilmiön periaatteiden avulla (Aroganam ym. 2019). Yhdistämällä magnetometrin tuottama data kiihtyvyysanturin ja gyroskoopin kanssa voidaan muodostaa Magnetic ja Inertial Measurement Unit (IMMU), jolla pystytään muodostamaan kolmiulotteista kuvaa ympäristöstä (Camomilla ym. 2018).

2.2.4 GPS

GPS on yksi yleisimmistä sensoreista puettavissa teknologioissa. Se on alun perin Yhdysvaltain sotilaskäyttöön kehitetty järjestelmä, joka käyttää 27 toimivaa satelliittia maapallon kiertoradalla (Larsson. 2023). Sen tyypillisin käyttötarkoitus on navigoinnissa, koska se kykenee seuraamaan ja ilmoittamaan käyttäjänsä sijainnin. Sensori toimii samaan aikaan lähettimenä ja vastaanottimena, sillä se lähettää tietoja satelliittiin, jossa tarkka sijainti ja aika mitataan ja lähetetään takaisin (Aroganam ym. 2019). Jokainen satelliitti on varustettu atomikellolla, joi-

den kanssa GPS-vastaanotin synkronoi ajan. Tämän jälkeen satelliitit lähettävät jatkuvasti tietoa valon nopeudella tarkasta ajasta ja käyttäjän sijainnista (Larsson. 2023). Puettavissa teknologioissa GPS toimii yleisimmin mittaamalla käyttäjänsä kuljettua matkaa ja nopeutta (Aroganam ym. 2019).

2.2.5 Sykemittari

Sykemittari on toinen hyvin yleinen sensori, joka mittaa sitä, kuinka monta kertaa käyttäjän sydän lyö minuutissa. Mittaamiseen on olemassa useita eri antureita ja tekniikoita. Kapasitiivista sensoria käyttäessä anturi ja ihmisen iho muodostavat kaksi komponenttia, jotka luovat yhdessä perinteisen kondensaattorin (Aroganam ym. 2019). Puettavissa teknologioissa sykemenetelmät perustuvat usein fotopletysmografiaan. Menetelmässä iholle säteilevän LED-valon avulla voidaan arvioida veritilavuuden muutoksia takaisin heijastuneen valon intensiteetin perusteella. Yläpaineen jälkeen voidaan havaita suurempi veritilavuus ja pienempi heijastuneen valon intensiteetti, kun taas alapaineen aikana veren tilavuus pienenee ja heijastuneen valon intensiteetti kasvaa. Näiden havaintojen perusteella voidaan laskea käyttäjän pulssiväli (Nuutila ym. 2022).

2.2.6 Barometri

Barometri on paineanturi, johon törmää hyvin usein urheilu- ja älykelloissa. Sitä käytetään ilmanpaineen mittaamiseen korkeuden määrittämiseksi. Barometri on erityisesti hyödyllinen, kun halutaan tarkkailla eri korkeuksia, joita käyttäjä käy läpi aktiviteettiensa aikana (Aroganam ym. 2019).

3 Kuormitus urheilussa

Tässä luvussa tarkastellaan harjoituskuormituksen käsitettä niin ulkoisen kuin sisäisen kuormituksen näkökulmista, sekä sitä mikä yhteys kuormituksella on urheilijan vammariskiin. Tämä auttaa antamaan paremman ymmärryksen tutkimuksessa käsiteltävästä ongelmasta ja sen merkityksestä urheilijoille.

3.1 Harjoituskuormitus

Fyysisellä kuormituksella voidaan viitata elimistöön kohdistuvaan stressiteki-
jään, ja sen aikaansaamaan muutokseen elimistössä. Altistamalla kehon jatku-
vasti samalle stressitekiäjälle, alkaa se sopeutumaan tähän muuttamalla elimis-
tön toimintaa eli adaptoitumaan (Borresen & Lambert, 2009). Urheilijan harjoit-
telu on systemaattista ja jaksotettua fysiologista ja biomekaanista rasittamista,
jolla pyritään saavuttamaan haluttu harjoitusvaste eli adaptaatio. Tällainen
adaptaatio syntyy harjoittelun keston, intensiteetin ja toistuvuuden yhdistel-
mästä - kokonaisuudesta, johon voidaan viitata harjoituskuormituksena
(McLaren ym. 2017). Harjoituskuormitus määritellään toisin sanoen kumulatiiv-
visen stressin määränä, joka yksilöön kohdistetaan yhden tai useamman urhei-
lusuorituksen johdosta tietyn ajanjakson aikana (Eckard ym. 2018).

Harjoituskuormitus voidaan tarkemmin jaotella joko ulkoiseksi tai sisäiseksi.
Ulkoisella kuormituksella viitataan urheilusuorituksen aikana tehtyyn fyysi-
seen työhön ja sisäisellä kuormituksella sitä seuraaviin biokemiallisiin ja bio-
mekaanisiin stressireaktioihin (McLaren ym. 2017).

3.1.1 Ulkoinen kuormitus

Perinteisesti ulkoisen kuormituksen mittaaminen on ollut useimpien valvonta-
järjestelmien perusta. Se määritellään urheilijan suorittamaksi mekaaniseksi
työksi, jota voidaan tyypillisesti mitata tehona, nopeutena, matkana tai harjoi-
tusten lukumääränä viikon aikana (Halson, 2014). Ulkoisen harjoituskuorman
ymmärtämiseksi on kehitetty useita teknologioita suorituksen tyypistä riippuen.

Esimerkiksi pyöräilyssä tehonmittauslaitteet mahdollistavat jatkuvan tehojen mittaamisen harjoitusten ja kilpailuiden aikana. Mittaustuloksia voidaan jälkeinpäin analysoida, jolloin saadaan tietoa esimerkiksi keskimääräisestä tehosta, nopeudesta ja kiihtyvyydestä (Halson, 2014).

3.1.2 Sisäinen kuormitus

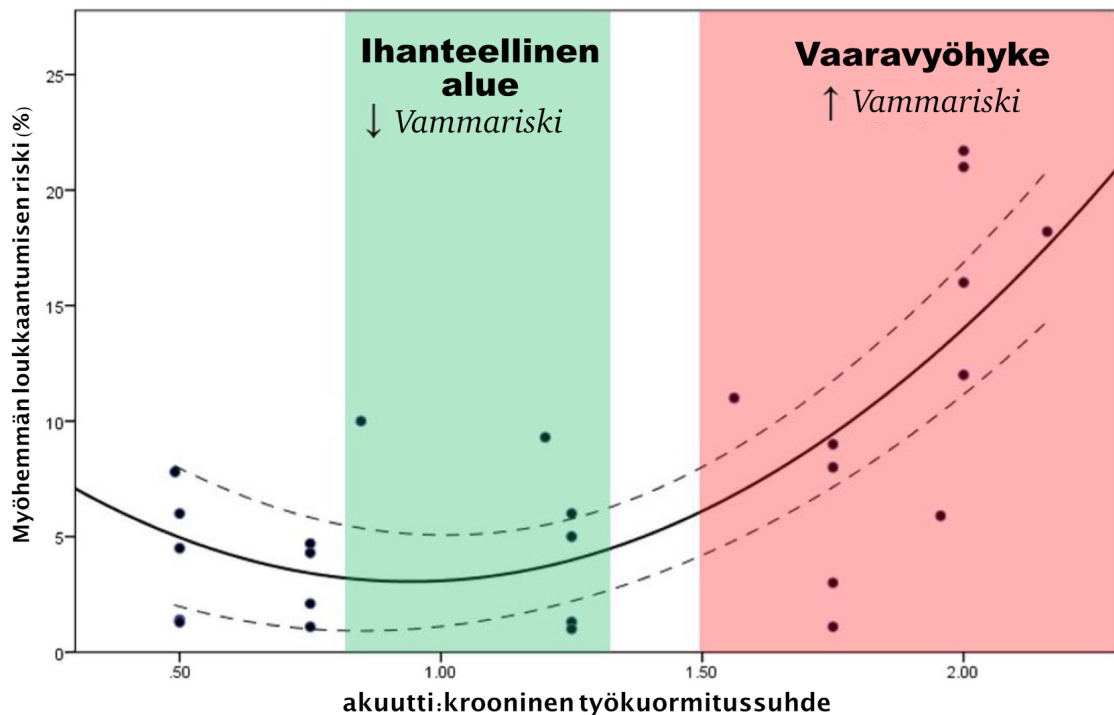
Sisäinen harjoituskuormitus viittaa elimistön yksilölliseen vasteeseen urheilu-suorituksen aikana tapahtuvaan ulkoiseen kuormitukseen (McLaren ym. 2017). Sisäisen kuormituksen arvioimiseen käytetään tyypillisesti mittauksia, kuten sykettä, veren laktaattiarvoja, hapen kulutusta tai koettua rasitusta (RPE, Rate of Perceived Exertion). Koetun rasituksen luokitus, RPE on yksi yleisimmistä tavoista arvioida sisäistä kuormitusta. Sen käyttö perustuu siihen, että urheilijat seuraavat fysiologista stressiään urheilu-suorituksen aikana ja antavat jälkikäteen tietoa kokemastaan rasituksesta. RPE:n on todettu korreloivan hyvin sisäistä kuormitusta tietyn tyyppisissä harjoituksissa, kuten tasavauhtisissa harjoituksissa tai korkean intensiteetin intervaleissa, kun taas vähemmän esimerkiksi lyhytkestoisissa korkean intensiteetin jalkapalloharjoituksissa (Halson, 2014). Lyhyen ja pitkän aikavälin muutokset suorituskyvyssä ovat viime kädessä seurausta urheilijan kumulatiivisesta sisäisestä kuormituksesta tietyn ajanjakson aikana. Tämän takia sisäisen kuormituksen ja siihen vaikuttavien tekijöiden mittaaminen on erittäin tärkeää (McLaren ym. 2017). On kuitenkin selvää, että suuremmat ulkoiset kuormitukset lisäävät myös aineenvaihdunnan energiankäyttöä ja pehmytkudoksen tuotantoa, näin lisäten myös sisäistä kuormitusta. Tämä annos-vaste paradigma muodostaakin perustan erilaisten ulkoisten harjoitusannosten ja näiden sisäisten vasteiden ymmärtämiseen (McLaren ym. 2017). Samanlaiset ulkoiset annokset eivät kuitenkaan tarkoita samanlaisia sisäisiä vasteita yksilöiden välillä, sillä sisäiseen kuormituksen määrään vaikuttavat sellaiset tekijät kuten genetiikka, aineenvaihdunta ja herkkyys (Impellizzeri ym. 2023). Samoista syistä samanlaisena toistetut harjoitukset voivat tuottaa erilaisia sisäisiä kuormituksia yksilöiden sisällä eri päivinä.

3.2 Kuormituksen vaikutus vammariskiin

Kilpaurheilussa menestyksen on todettu olevan vahvasti yhteydessä vähäisiin loukkaantumisiin kauden aikana. Tästä syystä vammojen ennustamisesta ja ennaltaehkäisystä on tullut hyvin keskeinen osa huippu-urheilua menestyksen maksimoimiseksi (Maupin ym. 2020). Tasapainottelu riittävän suuren harjoituskuormituksen ylläpitämisessä ja samaan aikaan vammojen välttäminen on yksi huippu-urheilun suurimmista haasteista. Kehittyminen ja positiivisten adaptaatioiden saavuttaminen vaatii kohtalaista tai suurta harjoituskuormitusta, mutta samaan aikaan tämä lisää väsymyksen, heikentyneen vastustuskyvyn, loukkaantumisen tai sairauden todennäköisyyttä. Harjoittelukuormituksen ja

menestymisen välistä suhdetta onkin tarkasteltu systemaattisesti, ja löydetty näyttöä sille, että sekä suuriin että pieniin harjoituskuormiin liittyy ongelmia (McLaren ym. 2017). Seuraamalla urheilijan harjoituskuormaa voidaan harjoitusärsyksiä säätää niin, että loukkaantumisriski saadaan minimoitua samaan aikaan urheilijan kehittyessä (Maupin ym. 2020).

Harjoituskuormituksen vaikutusta vammariskiin tutkiessa on löydetty tärkeää näyttöä sille, että kuormituksen muutosnopeus voi olla ongelmallisempaa, kuin yksilön kokemaa absoluuttista kuormitusta. Havainto on johtanut akuutin ja kroonisen harjoituskuormituksen suhteen – ACWR (Acute:Chronic Workload Ratios) käsitteen syntymiseen, jolla yritetään laskea urheilijan kykyä sietää äkillisiä harjoituskuormituksen muutoksia (Maupin ym. 2020). Kun urheilijan harjoitus tai kilpailukuorma tietyn viikon aika ylittää sen, mitä hän on tehnyt keskimäärin viimeisen 4 viikon aikana, on loukkaantuminen todennäköisempää. Muutos voi johtua epätavallista kuormittavammasta viikosta tai urheilijan harjoituskuormituksen alenemisesta tietyn ajanjakson aikana, kuten vammasta toipuesssa (Gabbett, 2019).



KUVIO 2 Akuutin ja kroonisen harjoituskuormituksen suhde ja vaikutus vammariikkiin. Mukailten Blanch & Gabbett, 2016

ACWR lasketaan jakamalla akuutti työkuorma viimeisten viikkojen kokonaiskuormituksen kroonisella työmäärällä, yleensä viimeisten 3–6 viikon liukuvalla keskiarvolla. Jos akuutti työmäärä on suurempi kuin krooninen kuormitus, suhdeluku on suurempi kuin yksi ja loukkaantumisriski voi olla suurempi (Maupin ym. 2020). Jotkin tutkimukset viittaavat siihen, että suhteilla 0,80–1,30 loukkaantumisriski olisi alhaisin, jolloin hieman yli yhden lukemat olisivat tavoiteltavia kehittymistä hakevalle urheilijalle. Jos krooninen työmäärä on suurempi, suhde on pienempi kuin yksi ja urheilijalla on mahdollisesti pienempi

loukkaantumisriski. Tällöin kuitenkin progressiivisen kuormituksen puute voi haitata urheilijan kehittymistä (Maupin ym. 2020).

Urheilijan harjoitusohjelmaa suunnitellessa on erityisen tärkeää pyrkiä lisäämään mekaanista kuormitusta asteittain harjoituskauden aikana, urheilijan kehittyessä ja adaptoituessa harjoituskuormaan. On tärkeää, että harjoitusohjelmassa on riittävästi mekaanista kuormitusta, jolla varmistetaan tuki- ja liikuntaelimestön hyvä kehitys. Tässä prosessissa sopeutuminen on avainasemassa, jonka avulla keho voi valmistautua kilpailupäivän intensiteettiin (Zadeh ym. 2020). On kuitenkin hyvä muistaa, että korkeatasoinen toistuva mekaaninen kuormitus voi aiheuttaa stressimurtumia, nivelkipuja ja muita vammoja lyhyessä ajassa.

4 Datan hyödyntäminen

Urheilumaailmassa puettavien teknologioiden nopea kehitys on mullistanut perinteiset harjoittelumenetelmät ja tavan seurata fyysistä kuormitusta. Nykypäivänä urheilijat eivät enää luota pelkästään perinteisiin harjoitusmetodeihin, vaan he hyödyntävät yhä kasvavassa määrin älykkäitä ja innovatiivisia puettavia teknologioita optimoidakseen toimintaansa. Tässä kappaleessa tarkastellaan erilaisia keinoja hyödyntää teknologiasta saatavaa dataa kuormituksen, vammojen ehkäisyyn sekä palautumisen näkökulmista, ja pohditaan mahdollisesti esiin nousevia ongelmia tai rajoitteita. Kappale antaa tarkemman vastauksen itse tutkimuskysymykseen.

4.1 Kuormituksen seuranta & vammojen ehkäisy

Urheilusta ja liiallisesta harjoittelusta aiheutuvat vammat voivat olla pahimmillaan pysyviä ja muodostaa merkittäviä ongelmia urheilijan henkiselle jaksamiselle, taloudelliselle hyvinvoinnille ja elämänlaadulle. Puettavat teknologiat yhdessä kehittyneen analytiikan kanssa voivat auttaa urheilijan kuormituksen seurannassa ja loukkaantumisriskien tunnistamisessa (Zadeh ym. 2020).

Kehittynyt sensoriteknologia on mahdollistanut monia uusia innovatiivisia tapoja seurata urheilijoiden kuormitusta käyttäen puettavia teknologioita. Australian Institute of Sport kehitti alun perin rugbyssä hyödynnettäväksi PlayerLoad-menetelmän, jolla arvioidaan ylävartalosta mitattujen kiihtyvyyksien perusteella lihaksistolle, luustolle ja jänteille aiheutuvaa biomekaanista kuormitusta (Löppönen & Rantalainen. 2022). PlayerLoadilla voidaan tarkastella sekä hetkellistä kuormitusta, että kumulatiivista kokonaiskuormitusta. Myöhemmin menetelmää on hyödynnetty muun muassa baseballissa sekä baletin koreografioiden kuormituksen arvioinnissa (Löppönen & Rantalainen, 2022).

Monissa lajeissa GPS:n käyttö on ollut hyvin yleinen tapa tarkkailla urheilijoiden harjoituskuormitusta (Rave ym. 2020). On kuitenkin huomattu, että arvioimalla myös kehon biomekaanista rasitusta, voidaan kuormitusta tarkkailla pelkkiä ulkoisia mittareita paremmin. Tarkastellessa esimerkiksi juoksijoiden

vammatilastoja, huomataan että juoksuharjoitteluun liittyvä vamma on yleisin syy, miksi rekisteröityneet juoksijat eivät pääse osallistumaan maratonille (Willy, 2017). Akuutin ja kroonisen harjoituskuormituksen suhdetta analysoimalla maratonia edeltävän 12–16 viikon ikkunassa voi antaa tärkeän käsityksen siitä, miksi loukkaantumisten määrä on niin korkea tässä kohtaa harjoittelua. Willy (2017) toteaa, että puettavat laitteet voivat tarjota tällaisissa tapauksissa tärkeää tietoa, mittaamalla askeleiden määrää harjoitusten aikana, sekä näiden biomekaanista kuormaa. Tämä voi antaa urheilijoille ja valmentajille mahdollisuuden arvioida kumulatiivista biomekaanista kuormitusta harjoittelussa ja kilpailuihin valmistautuessa.

Sykettä tarkkailevien sensorien ja algoritmien saatavuuden lisääntyessä on entistä helpompaa ja järkevämpää perustaa harjoittelua tämän parametrin vaihteluun. Etenkin urheilijat, jotka suorittavat harjoituksiaan ilman valmentajaa voivat hyötyä sykkeen analysoinnista eniten. Yhä useammilla puettavilla teknologioilla on myös kyky seurata sykevälivaihtelua (Heart rate variability, HRV), vaikkakin suurin osa kuluttajalähtöisistä puettavista antureista sen seurantaan on vielä validoimatta (Duking ym. 2021).

Sykevälivaihtelun hyödyntäminen tarjoaa ei-invasiivisen ja käytännöllisen menetelmän yksilön sisäisen kuormituksen arvioimiseen. Sykevälivaihtelulla on erityisesti kyky antaa välitöntä palautetta yksilön sopeutumisesta harjoituskuormitukseen (Stephenson ym. 2021). Ilman asianmukaista seuranta ja tilanteeseen reagointia, harjoitusjaksot voivat johtaa epäsuotuisiin tuloksiin. Dukingin ym. (2017) mukaan on edelleen hieman epäselvää, kuinka harjoittelua olisi parasta muokata seurauksena sykevälivaihtelun laskuun. Pitäisikö harjoittelu esimerkiksi keskeyttää kokonaan vai korvata kuormittavimmat harjoitukset matalatehoisilla harjoituksilla? Sykevälivaihtelun antaessa merkkejä kehon kuormittuneesta tilasta voisikin olla hyödyllisempää lisätä palautumista edistäviä tekijöitä ennemmin kuin tehdä isoja muutoksia harjoitteluun (Duking ym. 2017). Palautumista voi nopeuttaa esimerkiksi kylmähoidolla, käymällä hieronnassa tai henkilökohtaisella lihashuollolla.

Sykevälivaihtelun seuranta ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton, sillä siihen voi vaikuttaa useat muutkin eri muuttujat kuin henkilön fyysinen kuormitus. Akuutin tai kroonisen stressin on huomattu vaikuttavan alentavasti sykevälivaihteluun (Stephenson ym. 2021). Kun elämässä tapahtuu paljon mahdollisesti stressiä nostattavia asioita kuten opiskelua tai kiireitä työelämässä, on oltava erityisen tarkka ennen kuin sykevälivaihtelusta tekee johtopäätöksiä harjoitteluun. Sykevälivaihtelun muutokset tällaisissa tapauksissa tulisikin johtaa stressin juurisyiden tarkasteluun, jotta voidaan tehdä toimenpiteitä stressin vähentämiseksi ja siten palautumisen ja harjoittelun parantamiseksi (Duking ym. 2017)

Yksi yleinen sisäisen kuormituksen mittareista etenkin kestävyysurheilussa on ollut veren laktaattiarvot. Veren laktaattitasot liittyvät hengityskapasiteettiin ja kyky tuottaa vähemmän laktaattia tietyllä teholla on yksi pitkäkestoisten suoritusten tärkeimmistä tekijöistä (Esfarjani & Laursen. 2007). Tästä syystä laktaattien seuraaminen ja tietyillä tasoilla harjoittelu on ollut hyvin yleinen teema monien lajien fysiikkaharjoittelussa.

Tällä hetkellä suurin osa kliinisistä laktaatin mittaustavoista vaatii invasiivisia menetelmiä, ja niissä käytetään verinäytteitä ja analysointilaitteita laktaattitasojen määrittämiseen. Menetelmät ovat kuitenkin kalliita, aikaa vieviä, eivätkä ne aina sovellu kenttäkäyttöön (Moradi ym. 2024). Tarve uusille ei-invasiivisille ja reaaliaikaisille menetelmille on johtanut puettavien biosensorien syntymiseen.

Tiedettävästi ensimmäinen markkinoille tullut puettava laktaattikynnys-sensori käyttää lähi-infrapuna LED-valoa lähettämään valoa lihakseen säären alueella, ja tällä tavoin mittaa suhteellisia muutoksia lihasten hapettumisessa ja hapenpoistossa (Driller ym. 2016). Tutkimuksissa saadut tulokset tukevat puettavan laktaattikynnys-sensorin käyttöä urheilijoiden ja valmentajien käyttämäksi menetelmänä seurata laktaattikynnyksen muutoksia. Uuden ja perinteisten menetelmien välillä havaittu hyvin alhainen 4 % virhemarginaali korostaa soveltuvuutta käytännön ympäristöön (Driller ym. 2016). Sitten on kehitetty runsaasti erilaisia menetelmiä, jotka pystyvät analysoimaan laktaattia ihmiskehossa helposti saatavilla olevista eritteistä, kuten hiestä tai syljestä. Laktaatin havaitsemiseen käytetään tällöin puettavia biosensoreita, joiden materiaalina on käytetty esimerkiksi tekstiiliä, paperia, kalvoa tai väliaikaista tatuointia (Moradi ym. 2024).

4.2 Palautumisen optimointi

Riittävä unen saanti on yksi olennaisimmista osista terveyttä ja hyvinvointia, ja sillä on todettu olevan merkittäviä vaikutuksia fyysiseen kehitykseen, emotionaaliseen säätelyyn, kognitiiviseen suorituskäyttöön ja elämänlaatuun. Sen lisäksi että nukkuminen on olennainen osa palautumis- ja sopeutumisprosessia harjoitusten välillä, todisteet viittaavat myös siihen, että urheilijoiden unen piteneminen ja unen laadun paraneminen liittyvät parantuneeseen suorituskäyttöön ja kilpailumenestykseen (Watson. 2017). Watsonin mukaan parempi uni voi myös vähentää sekä loukkaantumisen- että sairausriskiä urheilijoilla, mikä ei pelkästään optimoi terveyttä vaan myös mahdollisesti parantaa suorituskäyttöä lisääntyneen harjoittelun myötä.

Voidakseen maksimoida suorituskäyttönsä ja kehityksensä urheilijan on pyrittävä tasapainottamaan harjoittelun kuormitusta aikataulutuksen, keston ja levon avulla. Liian kova harjoittelu yhdistettynä liian vähäiseen lepoon voikin pahimmillaan johtaa loukkaantumiseen tai ylikuntoon, jonka tyypillisimpiä oireita ovat suorituskäytön heikkeneminen ja haitat pitkäaikaiselle terveydelle (Seshadri ym. 2019). Useita puettavia laitteita on kehitetty arvioimaan unen laadua, ja ne ovat keskittyneet kehon liikemallien seurantaan unen levottomuuden mittana (Seshadri ym. 2019).

Ranteessa käytettävä aktigrafi on hyväksytty ja yleisesti käytetty puettava laite, joka on suunniteltu arvioimaan unta ja hereilläoloa havaitsemalla kehon liikkeitä kiihtyvyyttä mittaamalla (Depner ym. 2020). Laitetta voidaan käyttää vaatteeseen integroituna, jolloin antigrafian lisäksi, käyttäjästä voidaan saada muutakin tärkeää tietoa kuten ruumiinlämpö, syke, veren happipitoisuus ja mielialan vaihtelut (Depner ym. 2020).

Vaikka kiihtyvyyssmittareita käytetään yleisimmin mittaamaan urheilijan harjoitusten aikana kulkemaa matkaa, on ne myös erittäin hyödyllisiä arvioi-
dessa käyttäjän kokonaisuniaikaa ja unen laatua (Duking ym. 2016). Kiihty-
vyyssmittarit on todettu kohtuullisien luotettaviksi unen laadun valvonnassa, ja
ne mittaavatkin unta tietyissä väestöissä 80 % tarkkuudella verrattuna poly-
somniaografiaan. Onnistunut mittaustulos vaatii kuitenkin kiihtyvyyssanturin
huolellisen kiinnittämisen, eikä sillä silti pystytä havaitsemaan valveillaoloa
unijaksojen aikana (Duking ym. 2016).

Unta ja palautumista mitatessa on hyvä punnita mahdollisia negatiivisia
vaikutuksia hyvinvointiin. Jokaisen urheilijan onkin punnittava, kuinka paljon
tietoa he oikeasti tarvitsevat, ja milloin runsas tietomäärä aiheuttaa vain lisää
stressiä tai ahdistusta. Halson ym. (2016) nostaa esiin ajatuksen siitä, että epäto-
delliset tai liian suuret odotukset unen laadusta voivat todellisuudessa aiheut-
taa uniongelmiä urheilijoille. Täydellisyyttä tavoitteleva urheilija voi seurata
unimittauksia liian tarkkaan ajatellen, että heidän on nukuttava täydellisesti
jokainen yö pärjätäkseen.

5 Yhteenveto

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli tutkia, kuinka puettavia teknologioita voidaan käyttää hyväksi urheilijoiden kuormituksen seurannassa. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään erilaisia teknologioita ja menetelmiä, joilla ongelmaan löydetään ratkaisuja urheilulajista riippumatta.

Ensimmäisessä kappaleessa saatiin laaja käsitys siitä mitä puettavat teknologiat tarkemmin ottaen on, ja millaisia sensoreita niissä tyypillisesti käytetään. Puettavien teknologioiden käsite on todellisuudessa hyvin laaja, ja on mahdotonta löytää mitään tarkkaa yhtä määritelmää. Yhtäläisyyksiä määritelmien välillä kyllä löytyy, mutta puettavien teknologioiden käyttötarkoitukset ja niissä hyödynnetyt sensorit vaihtelevat monipuolisesti. Huomattiin myös, että vaikka teknologiat ovat pääosin samoja sekä urheilijoille että kuluttajille suunnatuissa tuotteissa, niin urheilijoiden vaatimukset ymmärtää kehoaan ovat usein monimutkaisempia kuin tavallisen kuluttajan.

Kuormitus käsitteenä sen sijaan on vielä monimutkaisempi kokonaisuus. Kuten tutkimuksessa huomasimme, fyysisen kuormituksen määrittely jakautuu sekä ulkoiseen- että sisäiseen kuormitukseen, jotka yhdessä muodostavat kokonaisuuden, jota on hyvin vaikea mitata tai ymmärtää. Erilaisia mittaustekniikoita löytyy kyllä runsaasti, mutta kaikkiin liittyy muuttujia, joita ei voida täysin hallita tai ymmärtää. On kuitenkin selvää, että harjoituskuormituksella ja vammriskillä on vahva yhteys. Tutkimus kuitenkin osoittaa, ettei ongelma aina ole itse runsas harjoittelu, vaan suurempi merkitys on äkillisillä harjoitusmäärien muutoksilla. Kuvio akuutin ja kroonisen harjoituskuormituksen suhteesta havainnollistaa sitä, kuinka suuri merkitys kuormitukseen sopeutumisella on ja miten akuutit muutokset lisäävät vammriskiä huomattavasti.

Koska kehittyäkseen urheilija vaatii riittävän suurta kuormitusta, nousee ongelmaksi sopivan tasapainon löytäminen harjoittelussa. Tämä on ongelma, johon tarkalleen ottaen pyrittiin löytämään ratkaisuja puettavista teknologioista. Seuraamalla puettavista teknologioista saatavaa dataa, huomattiin että urheilijalla on useita erilaisia keinoja tarkastella kuormitusta ja optimoida palautumista. Yhdessä näillä on potentiaalia ehkäistä vammoja, mikä puolestaan johtaa kestävämpään harjoitteluun ja parempaan suorituskykyyn.

Harjoituksessa kuljetun matkan perusteella kuormituksen arvioiminen on yksi perinteisistä menetelmistä, mihin GPS tarjoaa apua. Tarkastelussa esiin nousi myös sykevälivaihtelun ja laktaattimittausten mahdolliset hyödyt sisäisen kuormituksen seurannassa. Molemmilla tekniikoilla on omat positiiviset puolensa, mutta jälleen ihmiskehon kompleksisuus vaikeuttaa suorien johtopäätösten tekemistä. Tärkeintä onkin osata tarkastella kuormitusta kokonaisvaltaisesti eri mittareiden valossa, aina tukeutuen useampaan kuin yhteen muuttujaan päätöksenteossa. Vaikka ei invasiivisista laktaattimittareista löytyy jonkin verran tutkimustietoa, ei kaupallisissa puettavissa teknologioissa tätä teknologiaa ole vielä nähtävissä. Ottaen huomioon teknologian nopean kehitystahdin, onkin mielenkiintoista nähdä, missä kohtaa laktaattimittauksesta tulee vakioominaisuus urheilukelloissa.

Useat lähteet toivat esille unen merkityksellisyyttä urheilijan kuormituksen hallinnassa. Tutkimukset osoittavat kiistatta hyvien unien olevan tärkeä osa kokonaisvaltaista tervettä elämää. Monen elämänlaatua parantavan tekijän lisäksi unella, on nähty olevan suoria vaikutuksia parantuneeseen suorituskykyyn ja parempaan kilpailumenestykseen. Tämän takia unen seuranta voi olla hyödyllistä pyrkiessä hallitsemaan urheilijan fyysistä kuormitusta.

PUETTAVIEN TEKNOLOGIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN	METODIT	LÄHTEET
Kuormituksen seurannassa	<p>PlayerLoad-menetelmä biomekaanisen kuormituksen mittamiseen.</p> <p>GPS ulkoisen kuormituksen mittarina.</p> <p>Askeleiden määrää harjoitusten aikana, sekä näiden biomekaaninen kuormitus.</p> <p>Sykemittaus sisäisen kuormituksen mittarina.</p> <p>Sykevälivaihtelu erityisesti mittarina välittömästä sopeutumisesta harjoituskuormitukseen.</p> <p>Laktaattikynnyssensori sisäisen kuormituksen mittarina.</p>	<p>(Löppönen & Rantalainen. 2022).</p> <p>(Rave ym. 2020).</p> <p>(Willy, 2017)</p> <p>(Duking ym. 2021).</p> <p>(Stephenson ym. 2021)</p> <p>(Driller ym. 2016).</p>
Unen seurannassa	<p>Ranteessa käytettävä aktigrafi unenlaadun tarkkailuun.</p> <p>Kiihtyvyydsmittarit unenlaadun tarkkailuun.</p>	<p>(Depner ym. 2020)</p> <p>(Duking ym. 2016)</p>

TAULUKKO 1 Puettavat teknologiat kuormituksen seurannassa

Unen seuraamisen yhteydessä tutkimuksessa nousi esiin myös huoli liiallisesta tiedon määrästä. On tärkeää pohtia myös sitä, minkä verran puettavien teknologioiden tarjoamasta datasta on todella tarpeellista analysoida ja milloin tieto aiheuttaa vain ylimääräistä stressiä ja ahdistusta. Kuten viimeisessä kappaleessa huomataan voi esimerkiksi liiallinen unenseuranta aiheuttaa urheilijalle vain lisää uniongelmia. Kaikkien uusien puettavien teknologioiden hyötyihin keskittymisen sijaan on tärkeää tehdä myös tutkimusta niihin liittymistä riskeistä. Teknologian käyttäjinä on myös hyvä olla sopivan kriittinen uusien laitteiden käyttöönotossa ja miettiä sitä, tarvitseeko elämässä todella kaikkea mitattavissa olevaa tietoa. Jatkotutkimusta tehdessä aiheina voisikin toimia esimerkiksi pu-

ettavien teknologioiden vaikutus käyttäjän psyykkiseen hyvinvointiin tai mielenterveyteen.

LÄHTEET

Arogamam, G., Nadarajah, M., Harrison, D. (2019). *Review on wearable technology sensors used in consumer sport*. <https://doi.org/10.3390/s19091983>

Blanch, T.J., Gabbett, T.J. (2016). *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*. <https://bjsm.bmj.com/content/50/8/471>

Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). *The quantification of training load, the training response and the effect on performance*. *Sports medicine*, 39(9). <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.2165/11317780-000000000-00000>

Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., Vannozzi, G. (2018). *Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: A systematic review*. <https://doi.org/10.3390/s18030873>

Casteleyn, S., Ruggeri, G., . . . Lohan, E. S. (2021). *A Survey on Wearable Technology: History, State-of-the-Art and Current Challenges*. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108074>

Chong, K.P.L., Guo, J. Z., Deng, X., Woo, B.K.P. (2020). *Consumer Perceptions of Wearable Technology Devices: Retrospective Review and Analysis*. <https://mhealth.jmir.org/2020/4/e17544>

Depner, C.M., Cheng, P.C., Devine, J.K., Khosla, S., Zambotti, M.D., Robillard, R., Vakulin, A., Drummond, S.P.A. (2019). *Wearable technologies for developing sleep and circadian biomarkers: a summary of workshop discussions*. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz254>

Driller, M., Borges, N., Plews, D. (2016). *Evaluating a new wearable lactate threshold sensor in recreational to highly trained cyclists*. <https://doi.org/10.1007/s12283-016-0198-6>

Duking, P., Zinner, C., Trabelsi, K., Reed, J.L., Holmberg, H.C., Kunz, P., Sperlich, B. (2021). *Monitoring and adapting endurance training on the basis of heart rate variability monitored by wearable technologies: A systematic review with meta-analysis*. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.jsams.2021.04.012>

Eckard, T.G., Padua, D.A., Hearn, D.W., Pexa, B.S., Frank, B.S. (2018). *The Relationship Between Training Load and Injury in Athletes: A Systematic Review*. *Sports Med* 48. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1007/s40279-018-0951-z>

Esfarjani, F., Laursen, P.B. (2007). *Manipulating high-intensity interval training: Effects on VO₂max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained male*. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.jsams.2006.05.014>

Gabbett, T.J. (2017). *The training – injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder?* <https://bjsm.bmj.com/content/50/5/273>

Grand view research. (2022). *Wearable Technology Market Size, Share & Trends Analysis Report*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wearable-technology-market>

Halson, S.L. (2014). *Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes*. *Sports Med* 44. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>

Halson, S., Peake, J., Sullivan, J. (2016). *Wearable technology for athletes: Information overload and pseudoscience?* *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), pp. 705-706. <https://eprints.qut.edu.au/104982/>

Huhn, S., Axt, M., Gunga H. C., Maggioni, M. A., Munga, S., Obor, D., Sie, A., Boudo, V., Bunker, A., Sauerborn, R., Bärnighausen, T., Barteit, S. (2022). *The Impact of Wearable Technologies in Health Research: Scoping Review*. https://www.researchgate.net/publication/358104861_The_Impact_of_Wearable_Technologies_in_Health_Research_Scoping_Review

Impellizzeri, F.M., Shrier, I., McLaren, S.J., Coutts, A.J., McCall, A., Slattery, K., Jeffries, A.C. (2023). *Understanding Training Load as Exposure and Dose*. *Sports Med* 53. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1007/s40279-023-01833-0>

Larsson, P., (2003). *Global Positioning System and Sport-Specific Testing*. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.2165/00007256-200333150-00002>

Löppönen, A., & Rantalainen, T. (2022). *Puettava teknologia valmennuksen tukena. Liikunta ja tiede*, 59(3), 46-49. https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/82323/Lopponen_L%26T_2022-3_46-49.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Maupin, D., Schram, B., Canetti, E., Orr, R. (2020). *The Relationship Between Acute: Chronic Workload Ratios and Injury Risk in Sports: A Systematic Review*. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S231405>

McLaren, S. J., Macpherson, T. W., Coutts, A. J., Hurst, C., Spears, I. R., Weston, M. (2018). *The relationships between internal and external measures of training load and intensity in team sports: a meta-analysis*. *Sports medicine*, 48(3). <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0830-z>

Michelsen, K.E., Lehtonen, K., Rantala, K., Jokisipilä, M., Mäkinen, J. (2022). *Suomalainen huippu-urheilu tarvitsee luottamusta*.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164264/OKM_2022_25.pdf?sequence=4

Moradi, S., Firoozbakhian, A., Hosseini, M., Karaman, O., Kalikeri, S., Raja, G.G., Karimi-Maleh, H. (2024). *Advancements in wearable technology for monitoring lactate levels using lactate oxidase enzyme and free enzyme as analytical approaches: A review*. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.ijbiomac.2023.127577>

Nuuttila, O., Korhonen, E., Laukkanen, J., Kyröläinen, H. (2022). *Validity of the wrist-worn Polar Vantage V2 to measure heart rate and heart rate variability at rest*. <https://doi.org/10.3390/s22010137>

Ometov, A., Shubina, V., Klus, L., Skibinska, J., Saafi, S., Pascacio, P., Flueratoru, L., Gaibor, D. Q., Chukhno, N., Chukhno, O., Ali, A., Channa, A., Svrtoka, E., Qaim, W. B., Casanova-Marques, R., Holcer, S., Torres-Sospedra, J.,

Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., Rodgers. (2012). *A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation*. <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-9-21?report=reader>

Rave, G., Granacher, U., Boullusa, D., Hackney, A.C., Zouhal, H. (2020). *How to Use Global Positioning Systems (GPS) Data to Monitor Training Load in the "Real World" of Elite Soccer*. https://www.researchgate.net/publication/344381126_How_to_Use_Global_Positioning_Systems_GPS_Data_to_Monitor_Training_Load_in_the_Real_World_of_Elite_Soccer

Rodrigues, J., Segundo, D., Arantes, J.H., Sabino, M., Prince, R., Al-Muhtadi, J., Albuquerque, V., (2018). *Enabling Technologies for the Internet of Health Things*. https://www.researchgate.net/publication/322261039_Enabling_Technologies_for_the_Internet_of_Health_Things

Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman, C. A., Drummond, C. K. (2019). *Wearable sensors for monitoring the internal and external workload of the athlete*. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0149-2>

Stephenson, M.D., Thompson, A.G., Merrigan, J.J., Stone, J.D., Hagen, J.A. (2021). *Applying heart rate variability to monitor health and performance in tactical personnel: A narrative review*. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/15/8143>

Watson, A.M. (2017). *Sleep and athletic performance*. https://journals.lww.com/acsm-csmr/Fulltext/2017/11000/SleepandAthletic_Performance.11.aspx

Willy, R.W. (2017). *Innovations and pitfalls in the use of wearable devices in the prevention and rehabilitation of running related injuries.*
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2017.10.003>

Zadeh, A., Taylor, D., Bertso, M., Tillman, T., Nosoudi, N., Bruce, S. (2020).
Predicting Sports Injuries with Wearable Technology and Data Analysis