

Rasmus Hansen

Puettavat teknologiat kestävyysurheilussa

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

27. heinäkuuta 2022

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Rasmus Hansen

Yhteystiedot: hanserhw@student.jyu.fi

Ohjaaja: Tytti Saksa

Työn nimi: Puettavat teknologiat kestävyysurheilussa

Title in English: Wearable technologies in endurance sports

Työ: Kandidaatintutkielma

Opintosuunta: Tietotekniikka

Sivumäärä: 23+0

Tiivistelmä: Puettavat teknologiat ovat yleistyneet kuluttajakäytössä erityisesti viime vuosina. Aihe kiinnostaa myös urheilijoita, sillä uusia urheiluun sopivia teknologioita kehitetään jatkuvasti. Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan, miten näitä teknologioita voidaan hyödyntää kestävyysurheilussa. Lisäksi tarkastellaan puettavien teknologioiden haittoja. Tulokset osoittavat, että kestävyysurheilussa käyttökohteita löytyy esimerkiksi suorituskyvyn parantamisessa, vammojen ehkäisyssä sekä palautumisen mittaamisessa. Puettavien teknologioiden haasteiksi havaittiin esimerkiksi akunkesto, laitteiden vaikutus käyttäjän mielenterveyteen sekä tietoturva.

Avainsanat: puettava teknologia, kestävyysurheilu, puettavat laitteet

Abstract: Wearable technologies have grown more common among consumers in the recent years. The topic is also of interest among athletes, since new sports technologies are developed constantly. This bachelor's thesis aims to examine how these technologies can be utilized in endurance sports. In addition, the disadvantages of wearable technologies are examined. The results suggest that applications of wearable technologies can be found in endurance sports, for example in improving performance, preventing injuries, and measuring recovery. Challenges for wearable technologies include battery life, the possible negative impacts on users' mental health, and the security of data.

Keywords: wearable technology, endurance sport, wearables

Kuviot

Kuvio 1. Energiakulutuksen optimointi	10
---	----

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	PUETTAVAT TEKNOLOGIAT JA KESTÄVYYSURHEILU	2
	2.1 Puettavan teknologian määritelmä	2
	2.2 Puettavan teknologian taustoja	3
	2.3 Kestävyysurheilu	3
	2.4 Sensorit	4
3	DATAN HYÖDYNTÄMINEN	5
	3.1 Suorituskyvyn optimointi	5
	3.2 Vammojen ehkäisy ja hoito	7
	3.3 Uni ja palautuminen	9
4	PUETTAVAN TEKNOLOGIAN HAASTEET	10
	4.1 Akunkesto	10
	4.2 Vaikutukset käyttäjän mielenterveyteen	11
	4.3 Tietoturva	12
5	YHTEENVETO	13
	LÄHTEET	15

1 Johdanto

Puettavien teknologioiden markkina arvo oli kolminkertaistunut 80 miljardiin dollariin vuodesta 2014 vuoteen 2020, ja sen on ennustettu olevan 138 miljardia vuonna 2025 (IDtechEx 2021). Kyseessä on siis valtavasti kasvava teknologian suuntaus. Puettavat teknologiat ovat myös olleet jo useita vuosia suurin trendi liikunnan saralla (Thompson 2019). Tässä tutkielmassa on tarkoitus selvittää puettavan teknologian käyttöä kestävyysurheilun saralla. Tekstissä sana urheilu kattaa sekä ammattuurheilijat, että urheilua harrastavat. Työssä haluttiin selvittää erityisesti puettavan teknologian keräämän datan hyödyntämistä kestävyysurheilussa ja sitä, mitä haasteita puettaviin teknologioihin liittyy. Tutkimuskysymyksiksi valikoituivat seuraavanlaiset kysymykset:

- 1) Miten puettavaa teknologiaa voidaan hyödyntää kestävyysurheilussa
- 2) Mitä haasteita puettaviin teknologioihin liittyy

Tutkielman ensimmäisessä luvussa pohjustetaan aihetta, eli perehdytään puettavan teknologian määritelmään ja taustoihin, sekä tutustutaan puettaviin sensoreihin. Toisessa luvussa perehdytään puettavien teknologioiden keräämän datan hyödyntämiseen kestävyysurheilussa. Kolmannessa luvussa tutustutaan puettavien teknologioiden haasteisiin. Viimeisessä luvussa vedetään tutkielman osat yhteen, ja tarkastellaan, saatiinko tutkimuskysymyksiin vastauksia. Lopuksi vielä tarkastellaan tutkielman heikkouksia ja pohditaan aiheita jatkotutkimuksille.

2 Puettavat teknologiat ja kestävyysurheilu

Tässä luvussa paneudutaan aluksi puettavan teknologian määritelmään, historiaan sekä nykytilanteeseen. Sen jälkeen määritellään kestävyysurheilu ja lopuksi tutustutaan siihen, miten dataa kerätään puettavalla teknologialla, eli perehdytään sensoreihin.

2.1 Puettavan teknologian määritelmä

Puettavalle teknologialle löytyy lukuisia erilaisia määritelmiä. Seuraavaksi esittelen niistä muutamia ja tarkastelen niiden yhtäläisyyksiä ja eroja.

Starnerin määritelmän mukaan puettava teknologia tarkoittaa päälle puettavaa tietokonetta, jonka tarkoitus on tehdä jotain hyödyllistä, sillä välin kun käyttäjä tekee jotain muuta (Starner 2014). Tällaisia Starnerin mainitsemia puettavia tietokoneita ovat muun muassa älykellot ja aktiivisuusrannekkeet, ja näitä laitteita yhdistävät muun muassa samanlaiset haasteen akunkeston, verkkoyhteyksien ja näyttöjen suhteen (Starner 2014). Wright ja Keith (2014) sen sijaan määrittelevät puettavat teknologiat tai puettavat laitteet tietokoneiksi, jotka on integroitu erilaisiin esineisiin, kuten kelloihin, vaatteisiin ja koruihin. Se, mikä erottaa nämä laitteet esimerkiksi älypuhelimista ja kannettavista tietokoneista, on kyky kerätä erilaista fysiologista dataa erilaisin sensorein (Wright ja Keith 2014).

Edellisiä määritelmiä vertailemalla huomataan, että Starnerin (Starner 2014) määritelmä on Wrightin ja Keithin (Wright ja Keith 2014) määritelmää laajempi, minkä lisäksi esimerkiksi datan keräämistä ole mainittu. Thierer (2015) taas määrittelee puettavan teknologian verkoon kytketyiksi laitteiksi, jotka voivat kerätä dataa, seurata aktiivisuutta ja muokata kokemusta käyttäjän mukaan. Erona Thiererin (Thierer 2015) määritelmässä suhteessa edellä mainittuihin määritelmiin on laitteen kyky kommunikoida muiden laitteiden kanssa verkkovälitteisesti. Kaikkia näitä määritelmiä kuitenkin yhdistää päälle puettavuus, mikä lisäksi yleistä on myös, että laite kerää käyttäjästä dataa ja käyttäjän voi hyödyntää tätä dataa jollain tavalla. Tämän tuo esiin myös Schüll (2016) omassa määritelmässään.

2.2 Puettavan teknologian taustoja

Melko yleisesti ajatellaan, että puettavan teknologian historia alkaa vuodesta 1286 silmälasien keksimisen myötä (Ometov ym. 2021). Tässä kappaleessa tarkastellaan lyhyesti puettavan teknologia kehitystä ja merkittävimpiä virstanpylväitä. Ennen teollistumista erilaisia uusia puettavia teknologioita syntyi vain vähän. Merkittävimpiä keksintöjä tuolta ajalta ovat 1500-luvulla keksitty taskukello ja vuonna 1644 keksittiin niin sanottu Abacus -sormus, joka toimi eräänlaisena laskimena (Ometov ym. 2021). 1900-luvulle tultaessa alkoi uusia keksintöjä syntyä nopeampaan tahtiin. Ensimmäisen puettavan kameran keksi saksalainen Julius Neubronner vuonna 1907. Kyseessä oli kamera, joka voitiin pukea kesykyyhkyn päälle.

Merkittäviä tekijöitä puettavan teknologian kehityksessä ovat olleet maailmansodat, ja tuona aika yleistyivät esimerkiksi rannekellot, sekä kannettavat radiot. Ensimmäinen puettava tietokone kehitettiin vuonna 1961. Kyseessä oli kenkään piilotettu kone, jonka tarkoitus oli auttaa laskemaan ruletissa pallon pysähtymiskohta. 1970- ja 1980-luvun merkittävimpiä keksintöjä olivat esimerkiksi ensimmäinen älykello (1975), jolla pystyi esimerkiksi laskemaan, Sonyn walkman kannettava kasettisoitin (1979) sekä Seikon rannetietotokone (1981). 1990-luvusta eteenpäin uusia laitteita on kehitetty yhä kiihtyvämpään tahtiin. Tällöin myös tietokoneita alettiin sisällyttää yhä enemmän puettavaan muotoon. Kaikki uudet laitteet eivät sinällään ole uusia keksintöjä, vaan paranneltuja versioita aikaisemmista. Esimerkiksi nykyiset älykellot juontavat juurensa 1970-luvulle, mutta niitä on luonnollisesti paranneltu huomattavasti ensimmäisiin versioihin verrattuna. 1990-luvun loppupuolella alkoivat myös langattomat ja verkkoon liitetyt laitteet yleistymään. 2000-tultaessa uusia merkittäviä innovaatioita olivat esimerkiksi erilaiset älyvaatteet.

2.3 Kestävyyssurheilu

Fyysisesti vaativat urheilulajit voidaan jaotella karkeasti voimaa vaativiin lajeihin (esimerkiksi voimanoisto) ja kestävyyttä vaativiin lajeihin (esimerkiksi kestävyysjuoksu) (Shephard ja Åstrand 2000). Urheilussa kestävyydellä tarkoitetaan suurten lihasryhmien toistuvia isotoonisia supistuksia eli lihasryhmien toistuvaa pituuden muutosta. Shephard ja Åstrand (2000) mainitsevat kirjassaan, että kestävävyysuorituskyky riippuu kyvystä toimittaa lihaksille hap-

pea ja tarvittavia ravintoaineita, sekä kyvystä poistaa liikkeestä syntyviä kuona-aineita. Esimerkiksi pyöräily, hiihto ja uinti voidaan määritellä hyvää kestävyyttä vaativiksi lajeiksi (Morici ym. 2016).

2.4 Sensorit

Vielä joitakin vuosia sitten puettavia sensoreita pidettiin lähinnä asiana, jota näkee tieteislokuissa, mutta viime aikoina niiden määrä ja käyttökohteet ovat lisääntyneet räjähdysmäisesti. Heikenfeld ym. (2018) mainitsevat artikkelissaan syitä tähän puettavien sensoreiden hurjaan kasvuun. Näitä syitä ovat esimerkiksi pienoiskokoisten tietokoneiden edullisempi hinta ja niiden ergonomian lisääntyminen, älypuhelimien lisääntyminen, ihmisten lisääntynyt tarve olla tietoinen omasta terveydestään sekä lääkäreiden tarve saada jatkuvaa dataa potilaistaan. Puettavaa teknologiaa ja niiden sisältämiä sensoreita löytyy lukuisiin eri tarkoituksiin, kuten esimerkiksi lääketieteeseen, urheiluun ja viihdekäyttöön tehtyjä. Puettavan teknologian sensorit voidaan jakaa mekaanisiin, elektronisiin, optisiin tai kemiallisiin sensoreihin (Heikenfeld ym. 2018).

Urheilun saralla erilaisia sensoreita ovat muun muassa kiihtyvyyssmittari, gyroskooppi, magnetometri, Global Positioning System (GPS), sykemittari ja askelmittari. Kiihtyvyyssmittari ja gyroskooppi mittaavat erilaisia kiihtyvyyksiä ja niiden avulla voidaan esimerkiksi arvioida vartalon suuntaa. Yhdessä nämä kaksi sensoria muodostavat inertial measurement unit:in (IMU). IMU:n avulla voidaan saada kaksiulotteista kuvaa ympäristöstä. Yhdessä magnetometrin kanssa voidaan muodostaa Magnetic and Inertial Measurement Unit (IMMU), jolla onnistuu ympäristön kolmiulotteinen kuvantaminen (Camomilla ym. 2018). GPS löytyy nykyään useista eri laitteista. Sitä käytetään navigointiin sen kertoessa käyttäjälle tämän sijainnin. Puettavissa laitteissa sitä käytetään esimerkiksi välimatkojen mittaamiseen. Sykemittari mittaa nimensä mukaisesti sykettä erilaisin keinoin, kuten valon avulla tai sensorin ja ihon muodostamalla kondensaattorilla. Askelmittari on myös hyvin yleinen urheiluun suunnatuissa puettavissa laitteissa. Sensori mittaa joko juostuja tai käveltyjä askeleita (Aroganam, Manivannan ja Harrison 2019).

3 Datan hyödyntäminen

Puettavilla teknologioilla voidaan kerätä kestävyysurheilun saralla monenlaista dataa, sekä liikuntasuorituksen aikana, että sen jälkeen. Esimerkiksi juoksussa voidaan mitata tarkasti erilaista biomekaniikkaa ja ulkoista harjoituskuormaa. Tällaista dataa ovat esimerkiksi juoksijan nopeus, juostu matka, askeltiheys ja määrä. Tätä dataa voidaan sitten hyödyntää harjoituskuorman säätelyyn suorituskyvyn optimointiin ja vammojen ehkäisyyn (Moore ja Willy 2019). Puettavissa teknologioissa on yhä enemmän myös erilaisia unta ja palautumista mittaavia ominaisuuksia, jotka kertovat esimerkiksi tarvittavan palautumisajan suorituksen jälkeen tai oliko unen laatu tarpeeksi hyvää (Baron ym. 2017). Tässä luvussa käydään läpi sitä, miten tätä puettavan teknologian keräämää dataa voidaan hyödyntää suorituskyvyn optimoinnissa, vammojen ehkäisyssä sekä palautumisessa ja unen seurannassa.

3.1 Suorituskyvyn optimointi

Yleisen suorituskyvyn määritelmä urheilussa on vaikeaa. Sama pätee myös suorituskyvyn vaikuttaviin tekijöihin (Raysmith ym. 2019). Voidaan kuitenkin todeta, että suorituskyvyn vaikuttavat sekä perinnölliset tekijät, kuten suurten harjoituskuormien sietäminen, että hankitut ominaisuudet, kuten esimerkiksi opittu juoksumekaniikka (D'Isanto ym. 2019). Seuraavaksi tarkastellaan, miten puettavaa teknologiaa voidaan hyödyntää kestävyysurheilun suorituskyvyn optimoinnissa.

Perinteisten ulkoisten työmäärämittareiden, kuten matkan, ajan ja nopeuden lisäksi, voidaan puettavalla teknologialla kerätä esimerkiksi myös dataa juoksijan tahdistusta, askelpituudesta ja kontaktiajasta alustan kanssa. Tällainen data on tärkeää, sillä perinteisen mittarit eivät kerro koko totuutta suorituksesta. Kaksi juoksijaa voi juosta saman matkan samaan tahtiin, mutta heidän sisäinen kuormitus voi olla täysin erilainen (Moore ja Willy 2019). Moore ja Willy (2019) mukaan analysoimalla sekä perinteisiä mittareita, että juoksumekaniikkaa, voidaan parantaa sekä juoksijan suorituskykyä, että estää loukkaantumisia.

Myös muissa kestävyysurheilun lajeissa on tutkittu puettavan teknologian hyödyntämistä lajin kinematiikan tutkimiseen. Marsland ym. (2012) selvittivät tutkimuksessaan voisiko

yhden mikroanturin avulla selvittää, mitä hiihtotekniikkaa hiihtäjä käyttää hiihtokilpailussa. Heidän mukaansa hiihtotekniikoiden tunnistaminen olisi ensimmäinen askel algoritmien kehittämiseen, joilla voitaisiin automaattisesti tunnistaa hiihdon kinematiikkaa. Tutkimus osoitti, että yksi mikroanturi pystyy tunnistamaan syklisiä liikemalleja, joita hiihtäjä tuottaa ja tämä osoitti mikroanturien potentiaalin työkaluna, jota käyttää työkaluna suorituskyvyn analysointiin hiihdon harjoituksissa ja kilpailuissa.

Puettava teknologia voidaan kokea myös hyvin motivoivana. Asimakopoulos, Asimakopoulos ja Spillers (2017) mainitsevat puettavan teknologian ominaisuuksia, joilla on vaikutusta käyttäjän motivaatioon ja tehokkuuteen, kuten datan visualisointi ja pelillistäminen. Pelillistäminen näkyy usein erilaisina laitteen asettamina haasteina, kuten tietyn suorituksen tekeminen tietyssä ajassa, päivittäinen askelmäärä tavoite tai tietty määrä unta yössä (Asimakopoulos, Asimakopoulos ja Spillers 2017). Laitteet antavat käyttäjälle kuvaa heidän suorituksistaan ja yleisestä terveydentilastaan, tarjoten jatkuvaa positiivista vahvistusta. Käyttäjät voivat myös asettaa itselleen tavoitteita laitteen avulla. Oman edistymisen näkeminen motivoi ja auttaa jaksamaan sekä yrittämään vielä kovemmin. Joillekin käyttäjille puettavat laitteet antavat myös jonkinlaisen kuvan heidän terveydentilastaan ja siitä, miten heidän kehonsa toimii. Käyttäjät saattaa esimerkiksi miettiä, miksi juoksu ei suju halutulla tavalla, ja syy siihen voi näkyä laitteen kautta, joka näyttää, että käyttäjä on ollut stressaantunut, eikä ole palautunut tarpeeksi (Tholander ja Nylander 2015; Mopas ja Huybregts 2020).

Aina suorituskykyä ei voi määrittää pelkällä mittaamisella, vaan joidenkin mukaan suorituskykyä voi myös tarkastella koetulla suorituskyvyllä. Tholander ja Nylander (2015) kartoittivat tutkimuksessaan huippu-urheilijoiden, sekä urheilua harrastavien kokemuksia puettavasta teknologiasta. Tutkimustulokset osoittivat, että tunteen käsite oli merkittävässä roolissa haastateltavien urheilusuorituksissa. Heidän mukaansa subjektiivinen kokemus oli yhtä merkittävässä roolissa suorituskyvyn tunteessa, kuin puettavan teknologian tuottama data. Samaa sanovat Mopas ja Huybregts (2020). Heidän mukaansa urheilijat voivat tulla liian riippuvaisiksi puettavasta teknologiasta ja niiden generoimasta datasta. He eivät enää kuuntele sitä, miltä kehossa tuntuu, vaan perustavat tilansa laitteen antamiin tietoihin. Tämä voi huonontaa suorituskykyä ja lisätä vammautumisen riskiä (Mopas ja Huybregts 2020).

3.2 Vammojen ehkäisy ja hoito

Fyysisten vammojen riski on hyvin luontainen asia urheilua harrastaessa. Maffullin ym. mukaan sitä voidaan pitää jonkinlaisena hintana harjoittelusta ja kilpailemisesta. Joskus urheillessa syntyneet vammat eivät parane kunnolla ja vaihtoehtona on enää urheilun lopettaminen (Maffulli ym. 1997). Urheilusta syntyneet vammat ovat yksi yleisimmistä syistä ammattuurheilijan uran loppumiselle ja Suomessa tehdyssä tutkimuksessa 574 urheilijasta 5 % oli lopettanut urheilu-uransa vamman takia. Usein vammat myös aiheuttivat pysyvää haittaa (Ristolainen ym. 2012). Voidaan siis todeta, että urheilusta syntyvien vammojen estäminen ja vammoista palautuminen ovat tärkeässä osassa pysyvien haittojen syntymisen estämiseksi. Myös tässä asiassa puettavasta teknologiasta voi olla hyötyä.

Juoksijoiden vammoilla on usein monisyinen ja monimutkainen etiologia. Aiheesta on lukuisia eri tutkimuksia ja tulokset ovat hyvin ristiriitaisia (Fields ym. 2010). Yleisinä syinä on esimerkiksi pidetty poikkeavia biomekaanisia ominaisuuksia (Novacheck 1998) ja harjoituskuormaan liittyviä ongelmia (Fields ym. 2010). Puettavan teknologian ansioista näitä mahdollisia vammoja aiheuttavia tekijöitä kuten, juoksun biomekaniikkaa, voidaan tutkia laboratorion ulkopuolella todellisuutta vastaavissa tilanteissa erilaisilla alustoilla, kengillä ja olosuhteilla. Tämän lisäksi puettavan teknologian ollessa nykyään hyvinkin edullista, on helpompi toteuttaa tutkimusta suurissa määrin. Puettava teknologia on siis mahdollistanut massiivisen datan keräämisen, mikä ei aikaisemmin laboratorio-olosuhteissa ollut mahdollista. Lisääntyneen tilastotieteen ansioista on helpompi myös tutkia harvinaisempia juoksusta aiheutuvia vammoja (Willy 2017).

On myös hyvin yleistä, että juoksusta aiheutuneet vammat uusiutuvat siinä vaiheessa, kun siirrytään kuntoutuksessa takaisin juoksemaan (Willy 2017). Monet aikaisemmat kuntoutusohjelmat juoksijoille perustuivat juostuun aikaan, jota lisätään progressiivisesti. Tällainen kuntoutusohjelma ei ota tarpeeksi tarkasti huomioon koko harjoituskuormaa, eikä erilaisia kuormitusjaksoja juoksun aikana. Puettavan teknologian ei ainoastaan ole hyvä apukeino vammojen ehkäisyssä, mutta myös vammoista palautumisessa. Puettavan teknologian ansioista pystytään tarkasti valvomaan harjoituskuormaa ja saadaan progressiivinen palautumisen ohjelma, joka ei perustu pelkästään juostuun aikaan. Puettavan teknologian mahdollistaman reaaliaikaisen monitoroinnin ansioista pystytään harjoittelemaan askellusta juoksijan

normaalissa harjoitusympäristössä ja vähentää siten riippuvuutta kliinikkoon. Aikaisemmin kliinikot ja tutkijat olivat riippuvaisia juoksijan subjektiivisesta kokemuksesta, mutta nykyään puettavan teknologian ansioista kuntoutettavalle voidaan antaa ohjeita reaaliajassa (Willy 2017).

Puettavan teknologian käyttö vammojen ehkäisyssä ei rajoitu vain juoksuun, vaan esimerkiksi myös pyöräilyyn liittyvistä vammoista on tehty tutkimusta. Esimerkiksi Langer, Dietz ja Butz (2021) tekivät tutkimusta puettavan teknologian hyödyntämisestä maastopyöräilyssä. Maastopyöräilyyn kuuluu lajin luonteesta johtua paljon sekä subjektiivisia, että objektiivisiä riskejä. Langer, Dietz ja Butz (2021) pohtivat tutkimuksessaan, voisiko älykello antaa maastopyöräilijälle reaaliajassa tietoa tilanteen vaarallisuusasteesta. Kello laskisi siis tilanteen vaarallisuutta perustuen sekä sisäisiin riskeihin, kuten väsymys ja stressi, sekä ulkoisiin riskeihin, kuten reitin vaativuus. Tutkimus osoitti, että tällainen sovellus olisi mahdollista toteuttaa koneoppia hyödyntämällä, ja tällaisen sovelluksen pitäisi pystyä vähentämään onnettomuuksia maastopyöräilyssä (Langer, Dietz ja Butz 2021).

Fantozzi ym. (2016) taas tekivät tutkimusta puettavien inertiallisien magneettisten mitausyksiköiden (IMMU) hyödyntämisestä kolmiulotteiseen kuvantamiseen yläraajojen nivelten kinematiikasta uinnin aikana. Kyseessä oli ensimmäinen tutkimus, jossa IMMU-laitteita hyödynnettiin uimarin nivelten kinematiikan tutkimiseen. Uimareiden vammat liittyvät usein yläraajojen nivelten kinematiikkaan, joten tutkimalla tarkkaan uimarin nivelten liikerataa, voitaisiin estää vammoja ja nopeuttaa niistä paranemista. Tutkimus antoi ensimmäistä kertaa luotettavaa dataa yläraajojen nivelten kolmiulotteisesta kinematiikasta uinnin aikana. Näitä tuloksia voidaan jatkossa hyödyntää käytännön sovelluksiin uinnin kinematiikan tutkimisessa (Fantozzi ym. 2016).

Kuten näistä esimerkeistä huomaamme, on puettavalla teknologialla valtavasti potentiaalia urheilijoiden vammojen ehkäisyssä ja hoidossa. Vaikka nämä esimerkit olivat vain muutamasta eri lajista, ja tämä tutkielma keskittyy kestävyysurheiluun, voi näitä puettavan teknologian sovelluksia hyödyntää myös useissa muissa eri lajeissa.

3.3 Uni ja palautuminen

Erityisesti urheilua paljon harrastaville, kuten huippu-urheilijoille, ylikunto on vakava asia, joka haittaa suorituskykyä ja heikentää terveyttä. Ylikuntotila syntyy, kun harjoituskuorma ei ole tasapainossa palautumisen kanssa. Palautuminen voi olla aktiivista, passiivista tai proaktiivista (Kellmann 2010). Yksi palautumisen tärkein osa on uni. Uni on tärkeä osa ihmisen hyvinvointia ja urheilijalle se on erityisen tärkeää. Useat tutkimukset osoittavat, että unen optimoinnilla on merkittävä vaikutus suorituskykyyn useilla eri urheilun osa-alueilla. Erityisesti se näyttää vaikuttavan reaktioaikaan, tarkkuuteen ja kestävyYTEEN, ja nämä ominaisuudet ovat erityisen tärkeitä monessa lajissa kestävyysurheilun saralla. Huono unenlaatu myös lisää riskiä sairastua tai loukkaantua (Watson 2017). Unen ollessa niin tärkeässä roolissa kaikessa urheilussa, on tässä osiossa etsitty tietoa puettavan teknologian hyödyistä unen ja palautumisen suhteen myös yleisesti kaikkeen urheiluun liittyen.

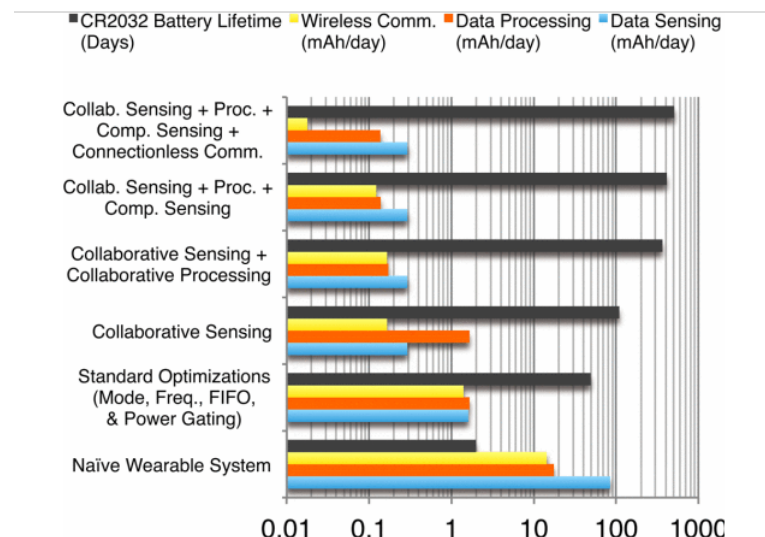
Ihmisten tullessa yhä tietoisemmaksi unen vaikutuksista yleiseen hyvinvointiin ja urheilulliseen suorituskykyyn, on myös lisääntynyt tarve monitoroida urheilijoiden unta ja käsitellä uneen liittyviä häiriöitä. Tämän seurauksena kuluttajille suunnatut unta mittaavat laitteet ovat lisääntyneet merkittävästi (Halson 2019). Polysomnografiaa pidetään unen mittaamisen kultaisena standardina. Sen avulla voidaan esimerkiksi mitata aivotoimintaa, silmien liikettä, sykettä ja lihastoimintaa unen aikana (Liu, Ploderer ja Hoang 2015). Tämä mittaustapa on kuitenkin kallis, vaatii luonnottoman nukkumisympäristön laboratorio-olosuhteissa, sekä vaatii ammattilaisen apua. Kuluttajien onneksi, markkinoille on kuitenkin tullut laitteita, jotka pystyvät mittaamaan unta ilman laboratorioympäristöä sekä henkilökuntaa. Vaikka nämä tuotteet ovat usein melko edullisia ja helppokäyttöisiä, on niiden mittaustarkkuudessa vielä kysymysmerkkejä (Halson 2019). Voidaan kuitenkin todeta, että vaikka kuluttajien käyttöön suunnitellut puettavat laitteet eivät yllä aivan samalle tasolle kuin polysomnografia, on laitteiden tuottama data kuitenkin ”riittävän tarkka” esimerkiksi laajempaan tutkimuskäyttöön (Roomkham ym. 2018).

4 Puettavan teknologian haasteet

Vaikka puettava teknologia on helpottanut urheilijoiden elämää monella tapaa, ei se ole täysin ongelmatonta. Tällaisia haasteita ovat esimerkiksi akunkesto, käyttäjän mielenterveys ja tietoturva. Tässä osiossa käydään näitä haasteita ja ongelmia läpi.

4.1 Akunkesto

Ergonomia ja pieni koko ovat tärkeässä osassa puettavaa teknologiaa. Tämä tekee akunkestosta yhden suurimmista haasteista puettavien teknologioiden saralla, sillä pieneen laitteeseen ei kovin suurta akkua mahdu. Älypuhelimissa akun koko voi olla useita tuhansia milliampeeritunteja (mAh), kun puettavassa teknologiassa koko voi olla joitakin satoja mAh. Yleisesti käytössä on esimerkiksi nappiparisto, jonka akun koko on vain 225 mAh. Puettavan teknologian akunkestolle on suuria odotuksia, kun usein laite kerää dataa vuorokauden ympäri (Williamson ym. 2015). Kestävyyssurheilussa suoritukset ovat usein myös pitkäkestoisia, jolloin akunkestosta voi tulla ongelma. Williamson ym. (2015) esittivät tutkimuksessaan erilaisia keinoja optimoida akunkestoa puettavissa laitteissa. Alla olevassa kuvassa on esitetty näitä keinoja.



Kuvio 1. Puettavien laitteiden energiakulutuksen optimointi (Williamson ym. 2015).

Kuvasta (Kuvio 1.) huomataan, miten erilaisilla energiaprofiileilla voidaan moninkertaistaa laitteen akunkesto. Jo useimmista laitteista löytyvä standardioptimointi lisää akunkestoja 96 %. Williamson ym. (2015) mukaan erilaisia ominaisuuksia optimoimalla voidaan saavuttaa jopa 90 % parannus akunkestoan standardioptimointi verrattuna. Akunkesto rajoittaa puettavan teknologian potentiaalia, mutta kuten edellä huomattiin, on akunkeston optimoinnissa paljon potentiaalia.

4.2 Vaikutukset käyttäjän mielenterveyteen

Vaikka puettava teknologia koetaan usein motivoivana ja positiivisena kokemuksena (Ryan, Edney ja Maher 2019), ei se aina sitä ole. Erityisen alttiita puettavan teknologian negatiivisille vaikutuksille ovat nuoret, korkeasti koulutetut ja korkean tunnollisuuden omaavat henkilöt. Erityisesti amatööriurheilijoille puettavat laitteet voivat tuoda stressiä. Heille, jotka urheilevat tarkoituksenaan rentoutua, voivat nämä laitteet tehdä urheilusta enemmän työtä muistuttavaa, kun laite jatkuvasti muistuttaa edistymisestä, saavutuksista ja tavoitteista (Rapp ja Tirabeni 2020). Puettava teknologia on usein myös luonnostaan kilpailulle altistavaa, kun omia ja muiden tuloksia voi vertailla. Tämä voi johtaa liiallisiin riskeihin, ja sitä kautta aiheuttaa esimerkiksi tuki- ja liikuntaelimestön vammoja ja kolareita (West 2015). Tämä jatkuva vertailu luo ilmapiirin, joka altistaa stressille ja lyhentää urheilu-uraa (Smith 2021).

On myös yleistä, että puettavan teknologian keräämää dataa jaetaan netissä erilaisissa sosiaalisen median palveluissa. Erityisesti nuoret käyttäjät ovat haavoittuvaisia, kun he altistuvat suurelle määrälle muiden jakamia kuvia ja treenituloksia. Vertailemalla itseään ja omia tuloksiaan muihin, voi se johtaa erilaisiin kehonkuvan vääristymiin ja epäterveellisiin laihdutuspyrkimyksiin (Smith 2021). Useissa puettavissa laitteissa on erilaisia päivittäisiä tavoitteita, kuten tietty askelmäärä. Kun tämä askelmäärä ei täyty, voi siitä seurata syyllisyyttä.

Puettavan teknologian vaikutuksia ihmisen mielenterveyteen on tutkittu vielä melko vähän. Saatavilla oleva tutkimus kuitenkin osoittaa, että valtaosalle laitteet ovat positiivinen asia (Ryan, Edney ja Maher 2019). Tämä osa-alue vaatii kuitenkin vielä tutkimusta, ja erityisesti niillä, jotka ovat herkempiä puettavan teknologian negatiivisille vaikutuksille.

4.3 Tietoturva

Datan suojeleminen on yksi tärkeimmistä asioista järjestelmissä, jotka keräävät henkilökohtaista dataa. Laitteiden ollessa usein päällä vuorokauden ympäri, voi datan päätyminen väärin käsiin paljastaa sensitiivistä tietoa yksityiselämästä. Ammattiuurheilijoita taas huolta voi aiheuttaa managereiden ja valmentajien tekemät muutokset esimerkiksi sopimuksiin ja pelaajien arvoihin salatun tiedon pohjalta. Smith (2021) esittää myös huolen siitä, että ammattiuurheilijan yksityisten tietojen leviäminen voi aiheuttaa haittaa urheilijan maineelle, sekä vaikeuttaa urheilu-uran jatkoa. Vaikka ammattiuurheilijat ovat tottuneet olemaan parrasvaloissa, on heidän oikeus yksityisyyteen (Smith 2021).

Kun puettavan laitteen hankkiessaan, moni ei tule ajatelleeksi sitä, että käyttäjä ei omista heistä kerättyä dataa, vaan sen omistaa laitteen valmistanut ja myynyt tahon. Yleensä käyttäjä saa nähdä vain osan hänestä kerättävästä datasta, ja sekin hyvin yksinkertaistettuna (Piwek ym. 2016). Käyttäjien onneksi erilaiset lainsäädännöt, kuten EU:n yleinen tietosuojasetus (engl. General Data Protection Regulation, GDPR) voivat vähentää huolta yksityisyydestä, tehden datan käsittelystä selkeämpää, läpinäkyvämpää sekä hallittavampaa (Paul, Scheibe ja Nilakanta 2020). GDPR tarkoitus on yhtenäistää tietosuojaan liittyviä lainsäädäntöjä, ja vahvistaa EU:ssa asuvien henkilöiden oikeutta omaan henkilötietoihinsa. Muualla maailmassa, kuten esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Kiinassa, vastaavanlaiset lainsäädännöt eivät ole yhtä yleisiä, joten näissä maissa myös puettavien teknologioiden yksityisyyteen liittyy enemmän epävarmuutta.

Puettavat laitteet ovat usein liitettynä pilveen, mihin kerätty data yleensä päätyy. Suuri määrä henkilökohtaista dataa pilvessä sisältää kuitenkin riskejä, kuten alttius esimerkiksi palvelunestohyökkäyksille, SQL-injektiolle sekä takaoven hyökkäyksille. Datan liikkuu usein hyödyntäen erilaisia langattomia kommunikaatiotekniikoita, kuten Bluetoothia ja Wi-Fiä. Datan liikkua langattomasti on se kuitenkin myös altis erilaisille hyökkäyksille, kuten väliintulohyökkäyksille. (Ching ja Mahinderjit Singh 2016). Laitteen voidaan myös hakkeroida, ja hakkeri voi tallentaa käyttäjän kaikista hienovaraisimmatkin kädenliikkeet, joita laite kerää erilaisilla sensoreilla. Tätä kerättyä dataa hakkeri voi sitten käyttää esimerkiksi pankkiautomaatteihin ja elektronisiin numerolukkoihin, joita laitteen omistaja on käyttänyt (Kapoor ym. 2020).

5 Yhteenveto

Ihmisillä on yhä kasvava tarve monitoroida itseään ja puettavien teknologioiden alentuneen hinnan, sekä parantuneen ergonomian ansiosta tämä on yhä helpompaa. Tämä tutkielma osoitti, että puettavasta teknologiasta on tullut merkittävä tekijä myös kestävyysurheilun saralla. Tutkielman tarkoitus oli löytää vastaus kysymyksiin: 1)Miten puettavaa teknologiaa voidaan hyödyntää kestävyysurheilussa ja 2)Mitä haasteita puettaviin teknologioihin liittyy. Tutkielman ensimmäisessä osiossa pohjustettiin aihetta, eli esiteltiin puettavaa teknologiaa ja kestävyysurheilua, sekä hiukan sensoreita, joihin puettavat teknologiat perustuvat. Toisesta osiosta löytyi vastaus ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Osioista huomataan, että puettavalla teknologialla on useita erilaisia käyttökohteita, kuten harjoittelun optimointi, vammojen ehkäisy ja kuntoutus, sekä unen mittaaminen. Vaikka kappaleet käsittelevät eri aihealueita, ovat ne silti yhteydessä toisiinsa. Jotta suorituskyky olisi optimaalinen, täytyy myös välttyä vammoilta ja saada riittävästi unta sekä palautua.

Viimeinen kappale käsitteli puettavien teknologioiden haasteita, ja näin vastasi toiseen tutkimuskysymykseen. Osiossa käsiteltiin joitakin tärkeimpiä puettavien teknologioiden haasteita, kuten akunkesto, puettavien teknologioiden vaikutuksia käyttäjän mielenterveyteen, sekä tietoturvaan liittyviä haasteita. Ongelmana sekä tässä, että edellisessä osiossa voidaan pitää tutkielman rajallisuuden aiheuttamaa niukkuutta. Kaikkia puettavan teknologian hyötyjä kestävyysurheilussa ei voitu käydä läpi, eikä myöskään kaikkia niihin liittyviä haasteita. Tutkimustietoa etsiessäni huomasin, että juoksusta oli huomattavasti helpompaa löytää materiaalia, kuin muista kestävyysurheilun lajeista. Tämän seurauksena on mahdollista, että juoksu ylikorostuu tässä tutkielmassa. Luultavasti monet juoksuun liittyvät esimerkit kuitenkin pätevät myös monissa muissa lajeissa. Juoksusta löytyvät tutkimusmateriaalin määrää voi selittää lajin suuri harrastajamäärä, sekä nykyisten puettavien laitteiden sopiminen lajiin. Tutkielmassa olisi ehkä kannattanut keskittyä vain juoksuun. Tutkielmassa ei myöskään juuri paneuduta eroihin kuluttajan ja ammattiurheilijan eroihin puettavan teknologian käytössä. Miten esimerkiksi valmennus voi hyödyntää puettavaa teknologiaa. Tutkielma myös painottaa lähinnä datan hyödyntämistä harjoituksen ulkopuolella, eikä niinkään sen aikana. Näitä asioita voisi olla kiinnostava tutkia lisää.

Jatkossa olisi hyvä tutkia enemmän puettavan teknologian aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia käyttäjän mielenterveyteen. Kuten tässä tutkielmassa huomattiin, voi joillakin käyttäjillä riippuvuus laitteista voi mennä pakkomielteiseksi. Olisi myös syytä tutkia lisää laitteiden vaikutuksia esimerkiksi kehokuvaan ja syömiskäyttäytymiseen. Erityisesti nuoret urheilijat ovat alttiita paineelle olla täydellinen, ja puettavat laitteet voivat vaikuttaa negatiivisesti heidän. Kestävyysurheilun saralla erityisesti lisää tutkimusta kaipaisivat muut lajit kuin juoksu, kuten pyöräily, hiihto ja uinti. Uskon, että puettavissa teknologioissa olisi myös paljon potentiaalia näiden lajien kohdalla. Puettavat teknologiat on kuitenkin niin nopeasti kehittyvä ala, että sen tulevaisuutta kestävyysurheilun saralla on vaikea ennustaa. Uutta tutkimusta kuitenkin tarvitaan erilaisten uusien innovaatioiden hyödyistä ja haitoista.

Lähteet

Aroganam, Gobinath, Nadarajah Manivannan ja David Harrison. 2019. “Review on wearable technology sensors used in consumer sport applications”. *Sensors* 19 (9): 1983. <https://doi.org/10.3390/s19091983>.

Asimakopoulos, Stavros, Grigorios Asimakopoulos ja Frank Spillers. 2017. “Motivation and user engagement in fitness tracking: Heuristics for mobile healthcare wearables”. Teoksessa *Informatics*, 4:5. 1. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/informatics4010005>.

Baron, Kelly Glazer, Jennifer Duffecy, Mark A Berendsen, Ivy Cheung Mason, Emily G Lattie ja Natalie C Manalo. 2017. “Feeling validated yet? A scoping review of the use of consumer-targeted wearable and mobile technology to measure and improve sleep” [kielellä en]. *Sleep Med Rev* 40 (joulukuu): 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2017.12.002>.

Camomilla, Valentina, Elena Bergamini, Silvia Fantozzi ja Giuseppe Vannozzi. 2018. “Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: A systematic review”. *Sensors* 18 (3): 873. <https://doi.org/10.3390/s18030873>.

Ching, Ke, ja Manmeet (Mandy) Mahinderjit Singh. 2016. “Wearable Technology Devices Security and Privacy Vulnerability Analysis”. *International Journal of Network Security Its Applications* 8 (toukokuu): 19–30. <https://doi.org/10.5121/ijnsa.2016.8302>.

D’Isanto, Tiziana, Francesca D’Elia, Gaetano Raiola ja Gaetano Altavilla. 2019. “Assessment of sport performance: Theoretical aspects and practical indications”. *Sport Mont* 17 (1): 79–82. <https://doi.org/10.26773/smj.190214>.

Fantozzi, Silvia, Andrea Giovanardi, Fabrício Anício Magalhães, Rocco Di Michele, Matteo Cortesi ja Giorgio Gatta. 2016. “Assessment of three-dimensional joint kinematics of the upper limb during simulated swimming using wearable inertial-magnetic measurement units”. *Journal of Sports Sciences* 34 (11): 1073–1080. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1088659>.

Fields, Karl B., Jeannie C. Sykes, Katherine M. Walker ja Jonathan C. Jackson. 2010. “Prevention of Running Injuries” [kielellä en-US]. *Current Sports Medicine Reports* 9, numero 3 (kesäkuu): 176–182. ISSN: 1537-8918, viitattu 9. toukokuuta 2022. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181de7ec5>.

Halson, Shona L. 2019. “Sleep Monitoring in Athletes: Motivation, Methods, Miscalculations and Why it Matters” [kielellä en]. *Sports Medicine* 49, numero 10 (lokakuu): 1487–1497. ISSN: 1179-2035, viitattu 10. toukokuuta 2022. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01119-4>.

Heikenfeld, J., A. Jajack, J. Rogers, P. Gutruf, L. Tian, T. Pan, R. Li ym. 2018. “Wearable sensors: modalities, challenges, and prospects”. *Lab Chip* 18 (2): 217–248. <https://doi.org/10.1039/C7LC00914C>.

IDtechEx. 2021. “Wearable Technology Forecasts 2021-2031”, <https://www.idtechex.com/en/research-report/wearable-technology-forecasts-2021-2031/839>.

Kapoor, Vidhi, Rishabh Singh, Rishabh Reddy ja Prathamesh Churi. 2020. “Privacy issues in wearable technology: An intrinsic review”. Teoksessa *Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communications (ICICC)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3566918>.

Kellmann, M. 2010. “Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring”. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20 (s2): 95–102. <https://doi.org/10.1111>.

Langer, Stefan, Dennis Dietz ja Andreas Butz. 2021. “Towards Risk Indication In Mountain Biking Using Smart Wearables”. Teoksessa *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '21. Yokohama, Japan: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450380959. <https://doi.org/10.1145/3411763.3451746>.

Liu, Wanyu, Bernd Ploderer ja Thuong Hoang. 2015. “In Bed with Technology: Challenges and Opportunities for Sleep Tracking”. Teoksessa *Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction*, 142–151. OzCHI '15. Parkville, VIC, Australia: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450336734. <https://doi.org/10.1145/2838739.2838742>.

- Maffulli, Nicola, Umile Giuseppe Longo, Nikolaos Gougoulas, Dennis Caine ja Vincenzo Denaro. 1997. "Sport injuries: a review of outcomes". *British Medical Bulletin* 5, numero 1 (elokuu): 47–80. ISSN: 0007-1420. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldq026>.
- Marsland, Finn, Keith Lyons, Judith Anson, Gordon Waddington, Colin Macintosh ja Dale Chapman. 2012. "Identification of Cross-Country Skiing Movement Patterns Using Micro-Sensors". *Sensors* 12 (4): 5047–5066. ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s120405047>.
- Moore, Isabel S., ja Richard W. Willy. 2019. "Use of Wearables: Tracking and Retraining in Endurance Runners". *Current Sports Medicine Reports* 18 (12). ISSN: 1537-8918. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000667>.
- Mopas, Michael S, ja Ekaterina Huybregts. 2020. "Training by feel: wearable fitness-trackers, endurance athletes, and the sensing of data". *The Senses and Society* 15 (1): 25–40. <https://doi.org/10.1080/17458927.2020.1722421>.
- Morici, G., C. I. Gruttad' Auria, P. Baiamonte, E. Mazzuca, A. Castrogiovanni ja M. R. Bon-signore. 2016. "Endurance training: is it bad for you?" *Breathe (Sheff)* 12, numero 2 (kesä-kuu): 140–147. <https://doi.org/10.1183/20734735.007016>.
- Novacheck, Tom F. 1998. "The biomechanics of running". *Gait Posture* 7 (1): 77–95. ISSN: 0966-6362. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(97\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(97)00038-6).
- Ometov, Aleksandr, Viktoriia Shubina, Lucie Klus, Justyna Skibińska, Salwa Saafi, Pavel Pascacio, Laura Flueratoru ym. 2021. "A Survey on Wearable Technology: History, State-of-the-Art and Current Challenges". *Computer Networks* 193:108074. ISSN: 1389-1286. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108074>.
- Paul, Chinju, Kevin Scheibe ja Sree Nilakanta. 2020. "Privacy concerns regarding wearable IoT devices: how it is influenced by GDPR?" Teoksessa *Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences*. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2020.536>.
- Piwek, Lukasz, David A. Ellis, Sally Andrews ja Adam Joinson. 2016. "The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers". Publisher: Public Library of Science, *PLoS Medicine* 13, numero 2 (helmikuu): 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953>.

- Rapp, Amon, ja Lia Tirabeni. 2020. “Self-tracking while doing sport: Comfort, motivation, attention and lifestyle of athletes using personal informatics tools”. *International Journal of Human-Computer Studies* 140:102434. ISSN: 1071-5819. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102434>.
- Raysmith, Benjamin P, Jenny Jacobsson, Michael K Drew ja Toomas Timpka. 2019. “What is performance? A scoping review of performance outcomes as study endpoints in athletics”. *Sports* 7 (3): 66. <https://doi.org/10.3390/sports7030066>.
- Ristolainen, Leena, Jyrki A. Kettunen, Urho M. Kujala ja Ari Heinonen. 2012. “Sport injuries as the main cause of sport career termination among Finnish top-level athletes”. *European Journal of Sport Science* 12 (3): 274–282. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.566365>.
- Roomkham, Sirinthip, David Lovell, Joseph Cheung ja Dimitri Perrin. 2018. “Promises and Challenges in the Use of Consumer-Grade Devices for Sleep Monitoring”. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* 11:53–67. <https://doi.org/10.1109/RBME.2018.2811735>.
- Ryan, Jillian, Sarah Edney ja Carol Maher. 2019. “Anxious or empowered? A cross-sectional study exploring how wearable activity trackers make their owners feel”. *BMC Psychology* 7, numero 1 (heinäkuu): 42. ISSN: 2050-7283, viitattu 26. toukokuuta 2022. <https://doi.org/10.1186/s40359-019-0315-y>.
- Schüll, Natasha D. 2016. “Data for life: Wearable technology and the design of self-care” [kielellä English]. Copyright - BioSocieties is a copyright of Springer, 2016; Last updated - 2021-02-17, *BioSocieties* 11, numero 3 (syyskuu): 317–333. <https://doi.org/10.1057/biosoc.2015.47>.
- Shephard, Roy J., ja Per-Olof Åstrand, toimittaneet. 2000. *Endurance in sport*. 2nd ed. Encyclopaedia of sports medicine (2nd ed.) Ebook Central SUPO/MUPO. Osney Mead, Oxford ; Malden, Mass: Blackwell Science. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/jyvaskyla-ebooks/detail.action?docID=470198>.
- Smith, Ashley N. 2021. “A Review of the Physical, Societal and Economic Effects of Wearable Devices in Sports”. *The Sport Journal*, <https://thesportjournal.org/article/a-review-of-the-physical-societal-and-economic-effects-of-wearable-devices-in-sports/>.

- Starner, Thad. 2014. "How Wearables Worked their Way into the Mainstream". *IEEE Pervasive Computing* 13 (4): 10–15. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2014.66>.
- Thierer, Adam. 2015. "The Internet of Things and Wearable Technology: Addressing Privacy and Security Concerns without Derailing Innovation". *Richmond Journal of Law and Technology* (helmikuu). <https://doi.org/10.2139/ssrn.2494382>.
- Tholander, Jakob, ja Stina Nylander. 2015. "Snot, sweat, pain, mud, and snow: Performance and experience in the use of sports watches". Teoksessa *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2913–2922. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702482>.
- Thompson, Walter R. 2019. "Worldwide survey of fitness trends for 2020". *ACSM's Health & Fitness Journal* 23 (6): 10–18. <https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000000526>.
- Watson, Andrew M. 2017. "Sleep and Athletic Performance" [kielellä en-US]. *Current Sports Medicine Reports* 16, numero 6 (joulukuu): 413–418. ISSN: 1537-8918, viitattu 10. toukokuuta 2022. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000418>.
- West, Liam Richard. 2015. "Strava: challenge yourself to greater heights in physical activity/cycling and running". Publisher: British Association of Sport and Exercise Medicine, *British Journal of Sports Medicine* 49 (15): 1024–1024. ISSN: 0306-3674. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094899>.
- Williamson, James, Qi Liu, Fenglong Lu, Wyatt Mohrman, Kun Li, Robert Dick ja Li Shang. 2015. "Data sensing and analysis: Challenges for wearables". Teoksessa *The 20th Asia and South Pacific Design Automation Conference*, 136–141. <https://doi.org/10.1109/ASPDAC.2015.7058994>.
- Willy, Richard. 2017. "Innovations and pitfalls in the use of wearable devices in the prevention and rehabilitation of running related injuries". *Physical Therapy in Sport* 29 (lokakuu). <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2017.10.003>.
- Wright, Robin, ja Latrina Keith. 2014. "Wearable Technology: If the Tech Fits, Wear It". *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries* 11 (4): 204–216. <https://doi.org/10.1080/15424065.2014.969051>.