



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

Puettavan teknologian käyttö urheilussa

Oulun yliopisto
Tietojenkäsittelytiede
Kandidaatin tutkielma
Teemu Kärki
11.5.2021

Tiivistelmä

Teknologian kehittymisen myötä puettavan teknologian hyödyntäminen urheilussa on noussut merkittävään asemaan johtuen sen tarjoamasta mahdollisuudesta hankkia kilpailuetua muihin kilpailijoihin nähden. Puettava teknologia tarkoittaa kehoon kiinnitettäviä laitteita, kuten sykemittaria tai käsivarsinauhaa, jotka sisältävät erilaisia sensoreita. Näiden laitteiden avulla voidaan mitata käyttäjästä monenlaisia tietoja kuten nopeutta, kiihtyvyyttä ja sydämen sykettä. Näiden sensorien avulla urheilijat ja heidän taustajoukkonsa pystyvät saamaan informaatiota muun muassa heidän palautumisestaan, sykkeestä, energiankulutuksesta ja nopeudesta. Näiden tietojen perusteella he voivat optimoida urheilijoiden harjoittelua ja fyysistä kuntoa.

Tämä tutkimus käsitteli puettavan teknologian käyttöä urheilussa ja sillä saavutettavia hyötyjä. Tavoitteena oli saada käsitys puettavien teknologioiden tarjoamista mahdollisuuksista tämänhetkisten teknologioiden avulla. Tutkimuksen tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisuuskatsausta, eli tässä tutkittiin jo olemassa olevaa aineistoa puettavien teknologioiden käytöstä urheilussa. Tutkielmassa esiteltiin muutamia oleellisia urheilussa hyödynnettäviä teknologioita, ja niiden esittelyn jälkeen käytiin läpi asioita, joissa näiden teknologioiden käyttö voi tarjota hyötyjä tai etuja urheilussa. Motivaatio tutkimuksen tekoon oli laaja kiinnostus urheilua ja teknisiä laitteita kohtaan sekä alustava tieto puettavan teknologian tarjoamasta urheilijadatasta sykemittarien käytön myötä ja halu tietää lisää.

Tutkimuksen pohjalta todettiin, että puettavalla teknologialla on jo nykyään suuria hyödyntämismahdollisuuksia urheilun saralla. Teknologiat ovat hyödyllisiä kaikille urheilijatasoille, mutta niiden käyttämisen tarkoitukset vaihtelevat eri tasoilla. Aloittelija- ja amatööritasolla puettavaa teknologiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi laihduttamiseen ja juoksulenkkien pituuden mittaamiseen. Huippu-urheilijatasolla puettavalla teknologialla tavoitellaan myös suorituskyvyn optimointia huippuunsa palautumisen ja kuormituksen tarkkailulla, ja urheilijoille voidaan kehittää esimerkiksi vammaehkäisystrategioita niiden avulla. Puettavien teknologioiden hinnat olivat tutkimuksen tekemisen aikana sillä tasolla, että myös aloittelijoilla on mahdollisuus käyttää niitä hyväkseen. Huippu-urheilussa puettaviin teknologioihin investoidaan enemmän, kun kohteena on esimerkiksi aivovammojen ehkäiseminen tai urheilijoiden suorituskyvyn optimointi.

Tutkimus vahvisti aiempien vastaavien tutkimusten tulokset siitä, että puettavat teknologiat ovat varsin hyödyllisiä urheilussa ja teknologian kehittymisen myötä hyödyntämismahdollisuudet tulevat vain kasvamaan entisestään.

Avainsanat

urheilu, puettavat teknologiat, mittaus, sensorit

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
Sisällysluettelo	3
1. Johdanto.....	4
2. Tutkimusmenetelmä	6
3. Aiempi tutkimus	8
3.1 Liikesensorit.....	8
3.1.1 GPS	8
3.1.2 Askelmittari.....	9
3.1.3 Kiihtyvyysanturi ja gyroskooppi.....	10
3.2 Fysiologiset sensorit.....	11
3.2.1 Syketeknologia.....	11
3.2.2 Lämpötila sensorit.....	12
3.2.3 Integroidut sensorit	12
3.3 Puettavien teknologioiden hyödyntäminen urheilussa.....	13
4. Pohdinta.....	16
5. Yhteenveto.....	18
Lähteet.....	19

1. Johdanto

Tämän kirjallisuuskatsauksesta koostuvan tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten urheilussa hyödynnetään erilaisia urheilijoihin puettavia mittauslaitteita. Tutkimuksessa pyritään siis selvittämään jo olemassa olevan aineiston perusteella, millaisia puettavia mittausteknologioita nykyään on olemassa, millaista tietoa niillä saadaan urheilijoista ja mihin niillä saatuja tietoja voidaan käyttää ja mitä hyötyä niistä on.

Teknologian kehittymisen myötä ajan saatossa urheilijoiden mittaus- ja seurantamahdollisuudet ovat kehittyneet valtavasti ja niillä saavutettava kilpailuetu suhteessa muihin kilpailijoihin on johtanut mittaukseen panostamiseen. Teknologian kehittyminen on tarjonnut myös uusia mahdollisuuksia maksimoida pelaajien terveys ja turvallisuus. Etenkin kilpaurheilussa puettavalla teknologialla yritetään saada kaikki mahdollinen hyöty irti urheilijoiden optimoinnissa ja uusia mahdollisuuksia. (Seshadri, Drummond, Craker, Rowbottom & Voos, 2017.) Laboratorio mittauksien avulla saavutettava loukkaantumisien estäminen ja suorituskyvyn parantaminen kyetään saavuttamaan myös puettavilla teknologioilla, jolloin laboratorioympäristön aiheuttamat rajoitukset poistuvat (Adesida, Papi & McGregor, 2019). Näistä syistä aihetta on myös tutkittu kohtuullisen paljon ja erilaisia mittausmenetelmiä on kehitetty useita.

Aikaisemmin urheilijoita on mitattu aika-liike-analyysijärjestelmillä, kuten videotallennuksella tai tietokone digitoinnilla, joilla tiedot pitää kirjata käsin. Nämä järjestelmät eivät mahdollista myöskään esimerkiksi urheilijan sijainnin, liikkeen tai nopeuden seuraamista. Tämän ongelman ovat ratkaisseet GPS, kiihtyvyysanturit sekä syketekniikka, jolloin urheilijoista on kyetty saamaan uudenlaista informaatiota jopa vain yhdellä sensorilla. (Seshadri ym., 2017.) Li ja kollegat (2016) jakavat puettavat teknologiat liiketunnistimiin, joita ovat askelmittarit, kiihtyvyysmittarit/gyroskoopit ja GPS, sekä fysiologisiin antureihin, joita ovat sykemittarit, lämpöanturit ja integroidut anturit. Tässä kirjallisuuskatsauksessa teknologiat jaetaan samaan tyyliin, kun niiden hyödyntämismahdollisuuksia urheilussa analysoidaan tutkimuksen pohjalta. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää perehtyessä urheilijoiden mittaukseen yleisesti ja siihen, mitä etuja mittauksilla voidaan saavuttaa.

Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymykseen: Miten urheilussa voidaan hyödyntää puettavaa teknologiaa, eli esimerkiksi miten sykemittarin antamaa dataa voidaan hyödyntää jääkiekkoilijan harjoittelussa tai miten eri sensoreiden avulla voidaan tunnistaa urheilijoiden saamia aivotärähdyksiä?

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, eli siinä tutkittiin artikkeleita, jotka liittyivät puettavan teknologian käyttöön urheilussa. Tutkittava aineisto koostui pääasiassa konferenssijulkaisuista, artikkeleista ja internetsivuista ja sitä haettiin laajasti eri lähteistä internetistä.

Tutkielma keskittyy pääosin esittelemään urheilussa hyödynnettäviä eri puettavia teknologioita ja kertoo myös niiden hyödyntämismahdollisuuksista urheilussa sekä mahdollisista huonoista puolista ja rajoituksista. Tutkimuksen tarkoitus oli luoda kattava yleiskuva teknologioiden tarjoamista mahdollisuuksista tämän hetken maailmassa sekä pohtia niiden mahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Tutkielman alussa esitellään tutkimusmenetelmä, jota tutkimuksessa on käytetty. Tämän jälkeen analysoidaan aiempia tutkimuksia puettaviin teknologioihin liittyen eli esitellään

eri teknologioita ja niiden hyödyntämistä urheilussa. Seuraavaksi on vuorossa pohdintaosio, jossa käydään läpi tutkimuksen löydöksiä ja pohdinnan jälkeen on yhteenveto koko tutkielmasta.

Tutkielma on tehty JTT-kurssin tutkielman pohjalta ja myöhemmin laajennettu ja muokattu luonnontieteiden kandidaatin tutkielmaksi (Kärki, 2020).

2. Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksessa käytettiin menetelmänä käsitteellisteoreettista tutkimusta eli etsittiin ja analysoitiin jo olemassa olevaa aineistoa liittyen urheilussa käytettäviin puettaviin teknologioihin. Puettavat teknologiat rajattiin sellaisiin teknologioihin, joita urheilija voi käyttää muuallakin kuin laboratorio-olosuhteissa, eli laboratorioiden tarjoamia ”langallisia” mittauslaitteita ei käsitelty. Aineiston etsinnässä lähdettiin liikkeelle etsimällä internetistä yleistä tietoa puettavista teknologioista, jotta päästiin enemmän sisään siihen, mitä teknologioita tutkimuksen tekoaikana oli olemassa - vaikka tiedossa olikin jo etukäteen useampi teknologia. Samalla saatiin hieman käsitystä siitä, millä termeillä voitaisiin tulevia aineisto hakuja tuottaa eri hakupalveluissa kuten Oula-Finnassa ja Google Scholarissa.

Taulukko 1. Hakulausekkeet aineiston etsinnässä ennen rajauksia.

Hakulause	Osumien lukumäärä
Using wearable sensors in sports	9135
Using “wearable sensors” in sports	3373
Wearable technology in sports	18 628
”Wearable technology” in sports	4009

Alustavan tiedon etsimisen jälkeen lähdettiin kokeilemaan Oula-Finnassa aineistohakuja lausekkeella ”using wearable sensors in sports”, joka tarjosi 9135 hakutulosta. Lainausmerkkien asettaminen wearable sensors sanan ympärille rajasi hakutuloksia määrään 3373. Lauserakennetta ja sanamuotoja vaihdeltiin hieman muun muassa muotoon ”wearable technology in sports”, jotta saatiin seulottua myös materiaaleja, joissa käytetään eri termejä. ”Wearable technology in sports” tarjosi hakutuloksia todella runsaasti ja määrä oli 18 628. Lainausmerkit seuloivat hyvin tässäkin lauseessa materiaalia sanojen wearable technology ympärillä, jolloin hakutuloksia löydettiin 4009. Hakulauseet ja niiden tuottamat tulokset näkyvät taulukossa 1. Aineistoa löytyi varsin runsaasti ja joukossa oli myös aineistoa, joita ei haluttu analysoida, joten kaikista hauista rajattiin pois joitain sanoja, kuten ”mHealth”, koska se on varsin laaja aihe, eikä tutkimuksessa haluttu tarkastella puhelinsovelluksia vaan itse teknologioita. Hakutuloksiin ei myöskään haluttu yli 10 vuotta vanhoja artikkeleita, joten ne rajattiin jo alussa pois johtuen tutkimuksen aiheen nykyaikaisesta luonteesta. Myös aineistot, joiden koko teksti ei ollut saatavilla, rajattiin hakujen ulkopuolelle. Uudempien teknologioiden, kuten integroitujen sensorien kohdalla, hakutulokset rajattiin alkamaan vasta vuodesta 2017, jotta laadukasta materiaalia aiheesta ylipäättään löytyi.

Hakujen tarjoamat aineistot järjestettiin relevanssin mukaan, ja niistä poimittiin tiivistelmien perusteella tutkimukseen sopivimmat. Hyvältä vaikuttavat artikkelit tallennettiin Oula-Finnan suosikkeihin ja myöhemmin suoritettiin tarkistus, ovatko artikkelit varmasti saatavilla kokonaan ja sisältävätkö ne aineistoa, jota voidaan käyttää

hyödyksi. Osa artikkeleista vaati hieman työtä, jotta ne saatiin saataville internetistä. Pääasiassa keskityttiin etsimään aineistoa, jossa kerrotaan eri puettavista teknologioista tai niihin kohdistetuista tutkimuksista eri urheilulajeihin liittyen ja siihen, miten näitä teknologioita voidaan hyödyntää urheilussa. Hyvää aineistoa löydettiin myös valittujen artikkelien lähdeluetteloiden kautta, joten kaikkia artikkeleita ei tarvinnut hakea erikseen, vaan yhden hyvän artikkelin kautta pystyi löytämään monta hyvää aihetta käsittelevä artikkelia. Uusia artikkeleita löytyi vielä kirjoitusprosessin aikana, jolloin niistä lisättiin tieto lähdeluetteloon viittauksen yhteydessä.

3. Aiempi tutkimus

Tässä luvussa esitellään ensin erilaisia puettavia teknologioita, joita voidaan hyödyntää urheilussa ja niiden toimintaa. Teknologiat on jaettu kahteen kategoriaan eli liikeseensoreihin ja fysiologisiin sensoreihin. Lopussa käydään yleisesti läpi esiteltyjen teknologioiden tarjoamia hyötyjä urheilussa.

3.1 Liikesensorit

Tässä alaluvussa esitellään omilla alaluvuissaan puettavaan teknologiaan kuuluvat liikeseensorit, joita ovat GPS, askelmittari ja kiihtyvyyssanturi sekä gyroskooppi. Kustakin liikeseensorista esitellään niiden perustoimintaperiaate, mahdolliset rajoitukset ja negatiiviset puolet, ja lopuksi kerrotaan, mihin niitä voidaan hyödyntää urheilussa.

3.1.1 GPS

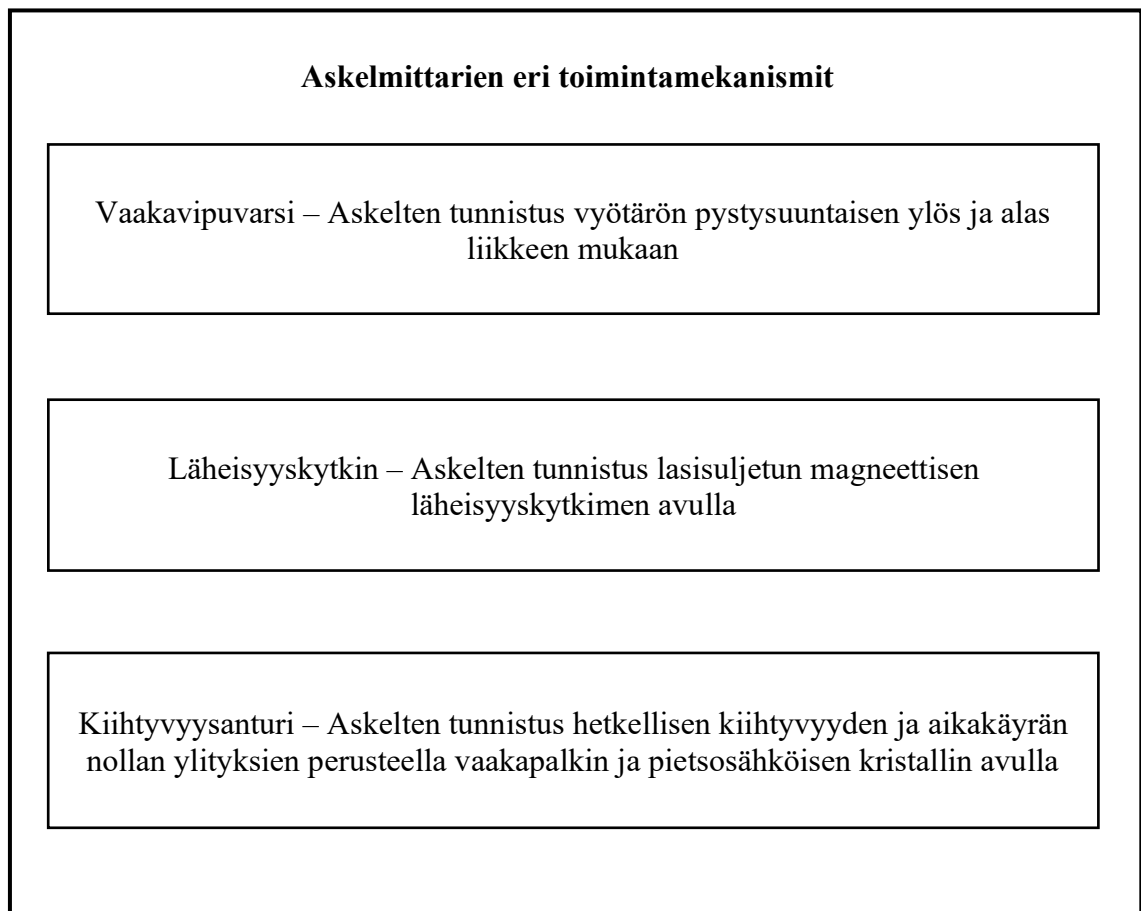
GPS eli Global Positioning System on alun perin Yhdysvaltojen toimesta sotilaskäyttöön kehitetty satelliittipaikannusjärjestelmä. Järjestelmä koostuu yhteensä 24:stä aurinkopaneeleista energiaa saavista satelliitista, jotka kiertävät maapalloa noin 20 200 kilometrin etäisyydellä. Satelliitit lähettävät radiosignaalia, joka sisältää satelliitin tunnuksen, lähetysajan ja tietoja satelliittien kiertoradoista avaruudessa. Näiden lisäksi kiertoradalla on varasatelliitteja rikkoutuvien satelliittien varalta. Yhdestä kohtaa maapalloa voi nähdä kerrallaan vain 12 GPS-satelliittia, ja niistä jokainen kiertää maapallon kaksi kertaa vuorokauden aikana. GPS-satelliitteja valvotaan Yhdysvaltojen Coloradossa olevassa komentokeskuksessa, ja satelliittien eliniäksi on arvioitu 10 vuotta, jonka jälkeen ne vaihdetaan uuteen. Järjestelmän toimintaa valvotaan myös muilla seuranta-asemilla ympäri maailmaa. (Kaplan & Hegarty, 2005; Geokätköt.fi, 2017.)

GPS:n toiminta perustuu siis satelliitteihin ja vastaanottaviin laitteisiin, kuten sykemittareihin, jotka ottavat vastaan GPS-signaalin. Vastaanottimissa on aina kello, koska etäisyys GPS-satelliitista lasketaan vertaamalla signaalin lähetysaikaan laitteen omaan kellon aikaan. Signaali etenee noin 300 000 km/s, joten laite pystyy sen avulla laskemaan etäisyyden. Laskeminen ei kuitenkaan onnistu vain yhden satelliitin perusteella, vaan se tarvitsee vähintään neljän satelliitin signaalin taatakseen tarkan paikannuksen. Vastaanottimen saamat signaalit muuttuvat jatkuvasti, kun vastaanotin ja satelliitit liikkuvat, ja silloin vastaanotin joutuu tekemään jatkuvasti laskutoimituksia. (Kaplan & Hegarty, 2005; Geokätköt.fi, 2017.)

GPS:n toiminta ei ole täysin varmaa ja siinä voikin esiintyä häiriöitä, jos signaali ei pääse suoraan laitteeseen tai jokin hidastaa sen kulkua. Signaalin hidastuminen voi johtua esimerkiksi ilmankehän häiriöistä, ja mutkat signaalin matkaan voivat tulla esimerkiksi suurien rakennuksien takia. GPS ei toimi ainakaan toistaiseksi sisätiloissa, koska GPS-satelliittien lähettimet eivät ole erityisen voimakkaita, vaikka ikkunoiden läheisyydessä vastaanotin voikin saada jonkin verran tarvittavaa signaalia satelliiteilta. Virheet voivat johtua myös itse järjestelmästä, jos itse signaalissa on virheitä esimerkiksi sen takia, että GPS-satelliitin atomikello on rikki tai satelliitti on väärällä kiertoradalla. GPS-järjestelmää voidaan myös häiritä, koska siinä käytetään radioaaltoja. (Kaplan & Hegarty, 2005; Geokätköt.fi, 2017.) GPS:ää voidaan hyödyntää urheilijoiden nopeutta ja paikkaa mitattaessa, kun pysytään ulkotiloissa (Larsson, 2003).

3.1.2 Askelmittari

Askelmittarit ovat yksinkertaisia ja yleisiä liiketunnistimia, jotka nimensä mukaisesti mittaavat mittaria käyttävän henkilön ottamia askelia. Niiden toiminta perustuu yleensä johonkin kolmesta toimintamekanismista, joista yksinkertaisin ja alkuperäisin on jousella ripustettu vaakavipuvarsi, joka liikkuu ylös ja alas vyötärön pystysuuntaisen liikkeen mukaan. Vipuvarsi avaa ja sulkee sähköpiirin askelten mukaan ja samalla askelmäärää kasvatetaan. Uudemmissa askelmitareissa voi olla lasisuljettu magneettinen läheisyyskytkin, joka hoitaa askelten tunnistuksen. Kolmas askelmitareissa käytetty mekanismi on kiihtyvyyssanturi, jossa on vaakapalkki ja pietsosähköinen kristalli, jolloin askeleet tunnistetaan hetkellisen kiihtyvyyden ja aikakäyrän nollan ylityksistä. (Crouter, Schneider, Karabulut & Bassett, 2003.) Nämä toimintamekanismit on esitetty kuviossa 1.



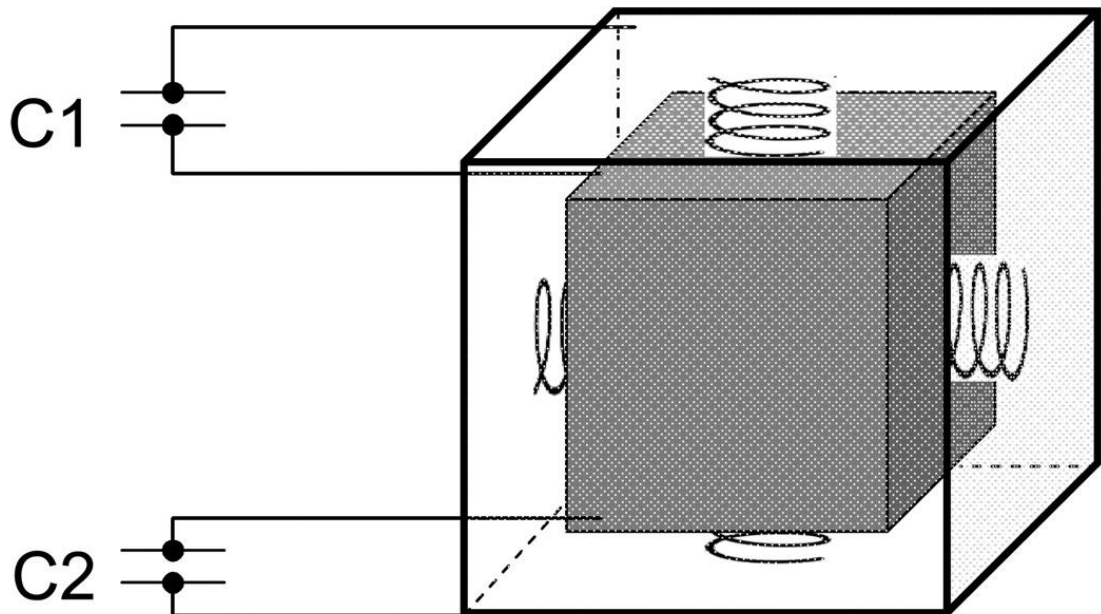
Kuvio 1. Askelmittarien eri toimintamekanismit.

Osa kehittyneemmistä askelmittariversioista antaa myös arvion kulutetusta energiamäärästä tai kuljetun matkan pituudesta. Nämä arviot tuotetaan käyttäjän mittarin ohjelmistoon syöttämien arvojen, kuten sukupuoli, pituus ja paino perusteella tehdyillä laskuilla, joita ei kuitenkaan kerrota julkisesti. (Tudor-Locke, 2002.) Crouter ja kollegat (2003) totesivat tutkimuksensa jälkeen, että askelmittarit ovat parhaita mittaamaan juuri askeleita, kun taas kuljetun matkan ja kulutettujen kilokalorien arvioinnissa ne ovat epätarkempia. Heidän mukaansa ne eivät sovellu myöskään urheilijoiden liikkeiden määrittämiseen, koska ne eivät pysty erottamaan suunnanmuutoksia ja ovat heikkoja mittaamaan energiankulutusta.

3.1.3 Kiihtyvyyssanturi ja gyroskooppi

Kiihtyvyyssanturit ovat yleisimmin käytettyjä ihmisen fyysisen toiminnan seurantasensoreita. Ne ovat yleisesti hyväksytyjä hyödyllisiä ja käytännöllisiä antureita puettaville laitteille aktiivisuuden mittaamiseen. Teknologian kehittymisen ja mikroelektromekaanisten järjestelmien (MEMS) kehittämisen myötä useita muuntimia on voitu pakata yhteen, jolloin yksittäinen anturi kykenee havaitsemaan liikkeen monissa ulottuvuuksissa. MEMS:it mahdollistavat puettaville laitteille pienemmän koon, paremman kestävyuden sekä halvemmat valmistuskustannukset. Kiihtyvyyssanturit ovat vaihtuneet ajan myötä pietsosähköisistä ulokepalkeista pietsosähköisiin tai pietsoresisitiivisiin puristettuihin integroituihin siruihin tai differentiaali kapasitanssin kiihtyvyyssanturiin. Erona pietsosähköiseen kristalliin pietsoresisitiivisissä kiihtyvyyssanturissa on se, että siinä käytetään substraattia, joka muuttaa vastusta, kun se altistetaan mekaaniselle muutokselle. (Chen, Janz, Zhu & Brychta, 2012.)

Kapasitanssianturit rakennetaan yleensä levyihin, jotka on kiinnitetty liikkuvaan massaan sekä kiinteisiin levyihin ja levyjen välinen kapasitanssi määrittyy niiden välisten etäisyyksien mukaan, kun kiihtyvyys kohdistuu liikkuvaan massaan. Antureista kerätyt signaalit suodatetaan ja käsitellään tiedonkeruujärjestelmissä ennen kuin tieto näytetään liiketunnistimen käyttäjälle. Tämä prosessi suoritetaan nykyään yleisesti sulautettujen ohjelmistojen ja ohjelmistojen yhdistelmällä, jossa sulautetut ohjelmistot hoitavat laitteen perustoimintoja ja ohjelmistot hoitavat toimintoja käyttäjän kanssa. (Chen ym., 2012.)



Kuvio 2. Kaaviokuva erotetusta kapasitanssin kiihtyvyyssanturista (Chen ym., 2012).

Kuviossa 2 on kaaviokuva kapasitanssin kiihtyvyyssanturista, jossa kapasitanssit C1 ja C2 muuttuvat, kun keskimassa liikkuu kiihtyvyydellä pystysuunnassa (Chen ym., 2012).

Kiihtyvyyssantureilla voidaan nimensä mukaisesti mitata kiihtyvyyttä, kun taas gyroskoopeilla mitataan kulman kiertoa eli asentoa (Ahmad, Ghazilla, Khairi & Kasi, 2013). Kiihtyvyyssantureilla saadaan kontakteja sisältävissä joukkueurheilulajeissa tarkempi arvio urheilijan kaikesta fyysisestä liikkeestä verrattuna GPS:ään (Howe, Aughey, Hopkins, Stewart & Cavanagh, 2017). Kiihtyvyyssantureiden lisäetuna on se, että

niiden avulla pystytään arvioimaan energian kulutusta integroimalla pystysuuntainen kiihtyvyys suhteessa aikaan (Lee, Kim & Welk, 2014). Energian kulutuksen arviointi on tärkeää, kun halutaan tietoa harjoittelun tehokkuudesta ja kiihtyvyyssanturien perusteella tehty energiankulutuksen arvio oli verrattavissa aikaintensiivisempään videoanalyysiin australialaisessa jalkapallossa, eli se on luotettavaa (Wixted, Thiel, Hahn, Gore, Pyne & James, 2007). Kiihtyvyyssanturien etuna on myös se, että niiden avulla voidaan tunnistaa urheilijan tekemät kiihdytykset, jotka vaativat paljon energiaa, toisin kuin GPS:llä (Cardinale & Varley, 2017). Kiihtyvyyssmittauksen halvat suunnittelu ja siirrettävyyuskustannukset ovat edistäneet merkittävästi erilaisten rannekelaitteiden kehitystä, jotka ovat taas parantaneet ihmisten fyysistä kuntoa (Li ym., 2016).

3.2 Fysiologiset sensorit

Tässä luvussa esitellään puettavaan teknologiaan kuuluvat fysiologiset sensorit, joita ovat syketeknologian sensorit eli sykemittarit, lämpötilasensorit ja integroidut sensorit. Sensoreista esitellään niiden perustoimintaperiaate, mahdolliset rajoitukset tai negatiiviset puolet sekä lopuksi kerrotaan mihin niitä voidaan käyttää urheilussa.

3.2.1 Syketeknologia

Sykemittarit koostuvat anturista ja tiedonkeruujärjestelmästä, kuten muutkin fyysisen aktiivisuuden seurantalaitteet. Sykemittarit käyttävät yleensä sarjaa kahta tai useampaa elektrodianturia, jotka ovat rinnassa. Näiden anturien signaalit välittyvät kannettaviin sykedatankeräysjärjestelmiin, joita pidetään yleensä vyötäröllä tai ranteessa. Actiheart on esimerkki laitteesta, jossa datankeräysjärjestelmä sekä anturit ovat yhdessä yksikössä rinnassa, joten ne eivät aina ole eri paikoissa. Nykyiset uudet sykemittarit kykenevät laskemaan myös sykevaihtelua suorituksen aikana. (Chen ym., 2012.) Nykyään on myös kehitetty sykemittareita, joissa rintaan ei laiteta mitään antureita vaan ranteessa oleva mittari mittaa sykkeen ranteesta. Rannemittauksen tarkkuutta on yleisesti epäilty, mutta on tutkittu, että rannemittaus antaa hyväksyttävän tason tarkkuuden sykkeelle. Sitä ei kuitenkaan kannata käyttää, jos mittauksen tarkkuus on käyttäjälle ensiarvoisen tärkeää. (Hough, Glaister & Pledger, 2017.)

Sykkeenseurantaan liittyviä ongelmia ovat sen herkkyys melulle, joka on yleensä tavallisista kotitalouslaitteista, liikkeen häiriöstä tai kontaktin menetyksestä aiheutuvaa 60 hetzin sähköhäiriötä (Janz, 2002). Ongelmia voidaan ehkäistä sijoittamalla anturi ja tiedonkeruujärjestelmä lähelle toisiaan ja käyttämällä elektrolyyttigeeliä kontaktipinnan kasvattamiseen sekä kosketuksen varmistamiseen anturin ja ihon välillä. Tiukasti rintaan kiinnitetty anturi voi aiheuttaa joillekin henkilöille ihottumaa tai hankautumista. Ongelmaan on kehitetty ratkaisuna esimerkiksi kuitukangasantureita, joita voidaan käyttää toiminnallisina vaatteina, jolloin ei tarvitse käyttää erillisiä hihnoja tai elektrodeja. (Kang, Merritt, Grant, Pourdeyhimi & Nagle, 2008.) Sykemittauksen käyttämisen tärkeä rajoitus fyysisen toiminnan seurannassa on sen indeksin suhteellinen luonne. Se tarkoittaa, että leposykkeen ja sykkeen vaihtelut riippuvat yksilöllisestä fyysisestä kunnosta, autonomisesta tilasta sekä kardioaktiivisten lääkkeiden läsnäolosta. Sykkeeseen voi vaikuttaa myös henkilön tunne- tai ympäristörasitukset. (Chen ym., 2012.)

Sykemittausta käytetään usein harjoituksen voimakkuuden mittauksessa, sillä sydämen sykkeen ja V02 välillä on lineaarinen yhteys laajassa submaksimaalisten intensiteettien alueella (Strath, Swartz, Bassett, O'Brien, King & Ainsworth, 2000). V02 (maksimaalinen hapenottokyky) ja energiankulutus voidaan siis ekstrapoloida sykkeestä

ja siksi sykemittareista on tullut yleisin tapa mitata harjoituksia (Li ym., 2016). Sykemittareilla on myös määritetty fysiologista vastetta ja aineenvaihdunnan tarpeita kilpailun aikana useissa eri urheilulajeissa (Matthew & Delextrat, 2009).

3.2.2 Lämpötilasensorit

Ihmisen fyysistä toimintaa on pyritty kuvantamaan myös lämpötilasensoreilla, jotka havaitsevat joko absoluuttisen lämpötilan tai yhden tai useamman lämpövuon komponentin. Absoluuttista lämpötilaa voidaan mitata antureilla, jotka sijoitetaan mihin tahansa ihmisen iholle tai annetaan pillereinä kehon ytimen lämpötilan mittaamiseksi, ja nämä laitteet kommunikoivat tiedonkeruujärjestelmien kanssa radiotaajuuksilla. Lämpövuoanturit ovat yleensä käsivarsinauhoissa, joissa on sekä anturi että tiedonkeruujärjestelmä yhdessä yksikössä. Sensorit eivät usein ota huomioon ylimääräisten vaatekerrosten tai ympäristön lämpötilan muutoksia. (Chen ym., 2012; Seshadri ym., 2017.)

Lämpötilanmittausantureihin liittyy samat ongelmat kuin sykemittaukseen, eli iholta mitattaessa iho voi ärtyä kontaktista anturin kanssa. Käsivarsinauhat voivat olla epämukavia käyttää, mikä voi johtaa ohjeiden noudattamattomuuteen. Lämpötilan ja lämpövuon mittaukseen liittyy myös kysymys aikaviiveestä, joka tarvitaan lämmön poistamiseen kehosta kohtalaisessa tai voimakkaassa harjoituksessa. Laitteet voivat olla hyödyllisiä energiankulutuksen arvioinnissa, mutta niiden perusteella fyysistä aktiivisuutta arvioitaessa tulee käyttäjän olla varovainen. (Chen ym., 2012; Seshadri ym., 2017.)

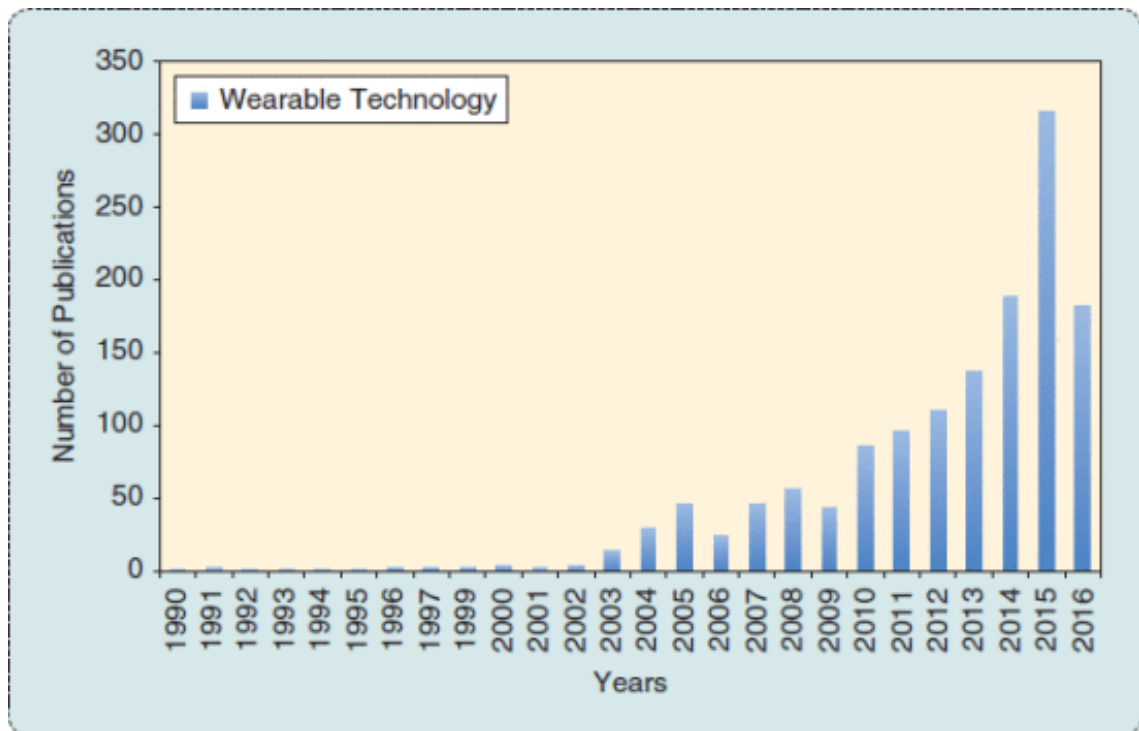
3.2.3 Integroidut sensorit

Integroidut anturit ovat multimodaalisia, ja ne on kehitetty käytettäväksi joukkue- ja yksilökuntoaktiiviteeteissa. Integroituja antureita ovat valmistaneet muun muassa Catapult ja Zephyr, ja ne ovat sisällyttäneet GPS-tekniikan muuttuviin anturielementteihin, jolloin voidaan aikaansaada fysiologisia ja liikeprofiileja urheilijoista. (Akenhead, French, Thompson & Hayes, 2014.) Laitteet ovat pieniä ja langattomia, ja ne kiinnitetään rintakehän tai lapaluiden alueelle hihnalla, joka takaa tarkat mittaustulokset. Lajeissa, joissa käytetään suojavarusteita, laitteiden kiinnittäminen rintakehän tai lapaluiden alueelle voi olla hankalaa, vaikka ne ovatkin pienikokoisia. (Chen ym., 2012.)

Integroidut sensorit voivat olla kiinnitettyinä tekstiileihin, jolloin niiden avulla voidaan tutkia esimerkiksi paineenkohdistumista eri kohtiin tekstiiliä. Esimerkiksi lumilautailusukkaan kiinnitettyjen sensorien kautta pystytään algoritmien avulla seulomaan paineen kohdistumisen perusteella lumilaudalla tehdyt käännökset. Sensoreilla on kyetty myös tunnistamaan esimerkiksi seisooko ihminen päkiällä, kantapäällä vai normaalisti ja se viittaa siihen, että sensoreita voidaan käyttää myös esimerkiksi kävelyanalyysiin. (Holleczek, Rüegg, Harms & Tröster, 2010.)

3.3 Puettavien teknologioiden hyödyntäminen urheilussa

Puettavan sensoriteknologian kehitys on mahdollistanut urheilijoiden mittaamisen merkittävän kehityksen, ja siitä hyötyvät monet eri tahot urheilun saralla. Mittaus mahdollistaa reaaliaikaisen fysiologisten ja liikkumisen parametrien seuraamisen harjoittelun ja kilpailun aikana lääkäreille ja valmentajille. Parametreilla voidaan havaita sijaintikohtaiset kuviot liikkeessä, löytää syitä loukkaantumisille sekä suunnitella tehokkaampia harjoitusohjelmia suorituskyvyn optimoimiseksi eri urheilulajeissa. (Li ym., 2016.)



Kuvio 3. Puettavaan teknologiaan liittyvän kirjallisuuden kehitys (Seshadri ym., 2017).

Kuvio 3:n pylväsdiagrammi havainnollistaa sitä, miten raportointi puettaviin teknologioihin liittyvästä kirjallisuudesta on kasvanut vuosien 1990–2016 välillä. 2016 vuoden tilasto on kuviossa vielä vajaa ja kasvu on jatkunut myös entisestään. Tiedot kerättiin PubMed:stä hakusanalla ”puettavat laitteet”. (Seshadri ym., 2017).

Puettavien laitteiden avulla voidaan mitata myös käyttäjän fyysistä aktiivisuutta ja samalla motivoida häntä liikkumaan kuten Tudorlocke toteaa askelmittaria käsittelevässä artikkelissaan (2002). Perinteistä askelmittaria edistyksellisemmällä teknologioilla ei tarvitse tyytyä vain aktiivisuuden mittaamiseen, vaan esimerkiksi sykemittarin avulla käyttäjä saa informaatiota energiankulutuksestaan, mikä voi auttaa esimerkiksi laihduttamisessa (Li ym., 2016). Teknologioilla urheilijat saavat tietoonsa myös kulkemansa kokonaismatkan esimerkiksi peruskuntokauden juoksulenkeillä, mikä onkin yleinen kuormitusta mittaava luku. Kuljetun matkan mittaus suoritetaan GPS datan perusteella. (Cardinale & Varley, 2017.)

Eliittitason urheilijat ja ammattilaisjoukkueet etsivät mahdollisuuksia parantaa suorituskykyään ja saada kilpailuetua kilpailijoihinsa nähden. Nykyiset puettavat teknologiat mahdollistavat lisäksi paremman pelaajien terveyden ja turvallisuuden. GPS:n avulla valmentajat ja lääkärit voivat suorituskykyanalyysin perusteella ymmärtää

paremmin, mitä urheilijoilta vaaditaan reaaliajassa. (Seshadri ym., 2017.) GPS:ään yhdistetyillä kiihtyvyyssantureiden avulla valmentajat ja lääkärit pystyvät lisäksi tallentamaan erilaisia fyysisiä aktiviteetteja päivän ajalta joukkueen eri ryhmien osalta (Chamber, Gabbett, Cole & Beard, 2015). Kun samaan sensoriin lisätään vielä syketeknologia, pystyvät lääkärit ja valmentajat seuraamaan tietokoneella multimodaalisella alustalla pelaajien energian kustannuksia, liikemallien tarkkuutta harjoituksen tai pelin aikana (Li ym., 2016). Catapult-laitteilla voidaan esimerkiksi mitata pelaajan kuormitusta, pelaajan kuormitusta per jaardi ja pelaajan kuormaa tietyssä ajassa (Seshadri ym., 2017). Sisäinen kuormituksen mittauksen mahdollisuus on todella tärkeää, koska se antaa ammattilaisille ja valmentajille mahdollisuuden mitata ulkoisen kuormituksen ja harjoitusten vaikutuksia erilaisiin fysiologisiin järjestelmiin. Sykemittauksen avulla voidaan kehittää myös harjoituskuormitusindeksejä, joilla voidaan määrittää urheilijoiden kokemaa sydänkuormitusta niin harjoituksissa kuin kilpailuissa. (Cardinale & Varley, 2017.)

Puettavien laitteiden antureiden herkkyyks on niin korkeatasoinen, että niillä voidaan havaita sellaisia liikkeitä, joita valmentajat eivät muuten huomaisi pelaajissa (Chambers ym., 2015). Antureita voidaan käyttää myös pelaajien koulutuksessa, sillä pelaajien baseball-lyönneistä on pystytty kolmen sensorin avulla erottelemaan esimerkiksi oikealla ja väärällä tekniikalla suoritettut lyönnit. Sensorien havaitsemilla liikeradoilla voidaan siis havainnollistaa tekniikoita, mikä voi tarjota merkittävää apua esimerkiksi uusien lyöntien tai potkujen tai vastaavien oppimisessa riippuen lajista. (Ghasemzadeh & Jafari, 2011.)

Puettavien laitteiden avulla saaduilla tiedoilla voidaan kehittää suorituskykyohjelmia tai vammaehkäisystrategioita pelaajille perustuen esimerkiksi heidän pelipaikkoihinsa (Li ym., 2016). Urheilijoiden mittaaminen mahdollistaa myös yksilöllisten vahvuuksien ja heikkouksien tunnistamisen, jolloin harjoittelu voidaan kohdistaa kunkin henkilön kohdalla oikeaan asiaan (Catapultsports, 2020). Ohjelmien optimointi juuri oikeiksi perustuu urheilijan tekemien harjoitusten vertaamiseen hänen reagointiinsa niihin (Cardinale & Varley, 2017). Whoopin tekemässä tutkimuksessa 119 urheilijalle kahdeksasta NCAA Division I-joukkueesta tuli 60 prosenttia vähemmän vammoja niille urheilijoille, jotka käyttivät puettavaa laitetta ja toimivat sen keräämien tietojen mukaisesti, joten puettavalla teknologialla saadaan vähennettyä huomattavasti myös loukkaantumisia (Haberstroh, 2016).

Viime vuosina puettavaa teknologiaa on alettu hyödyntää myös urheilijoiden aivovammojen havaitsemisessa. Laitteet voivat havaita ja seurata päähän kohdistuvaa törmäysvoimaa kontakteissa ja ne kiinnitetään esimerkiksi otsanauhan alle. (Larson, 2015.) Esimerkiksi Yhdysvalloissa vuosittain 1.6–3.8 miljoonaa ihmistä saa aivovamman urheilun tai harrastuksen parissa, joten aivovammojen ehkäisyyn täytyy panostaa. Kahden puettavan laitteen on todettu jo kykenevän havaitsemaan ja mittaamaan päähän kohdistuvia voimia. Nämä laitteet ovat Linx IAS ja Q-Collar, joista ensimmäinen on tarkoitettu päähän kohdistuvien voimien mittaukseen ja jälkimmäinen pyrkii ennaltaehkäisemään aivotärähdyksiä. Linx IAS ei pysty määrittämään saiko pelaaja aivotärähdyksiä, mutta se kertoo iskujen voimakkuudet värikoodatulla alueella iskujen vakavuuden mukaan. Se pystyy myös iskujen analysoinnin jälkeen kertomaan minkä verran iskuja on kolmella eri alueella, punainen, keltainen ja vihreä sen mukaan kuinka todennäköisesti vastaavat voimat ovat muille aiheuttaneet aivotärähdyksiä. (Larson, 2015.)

Whoopin tutkimus osoitti myös, että puettavan teknologian käyttö kehitti urheilijoiden unen määrää ja laatua, laski leposykettä ja sykkeenvaihteluita ja lievensi stressiä sekä

paransi tärkeimpiä biomarkkereita (Haberstroh, 2016). Unen seuraamisen suosio on noussut merkittävästi, kun on ymmärretty, kuinka tärkeässä roolissa se on urheilussa. Unen tiedetään vaikuttavan suoraan urheilijoiden suorituskykyyn ja palautumiseen ja lisäksi se kertoo terveyden tilasta myös yleisesti. Unen puute lisää loukkaantumiseriskiä, heikentää suorituskykyä ja lyhentää väsymiseen kuluvaa aikaa. Puettavia teknologioita on kehitetty arvioimaan unen laatua ja rauhallisuutta kehon liikkeitä seuraamalla unen aikana. Unen laatua arvioivia puettavia laitteita ovat muun muassa Polarin kellot, Fitbit sensorit ja WHOOP panta. (Seshadri ym., 2019.) Urheilijoiden sisäisen ja ulkoisen kuormituksen erojen tarkkailu voi auttaa paljastamaan väsymystilan, jolloin heidät osataan ohjata lepäämään eikä harjoittelemaan väsyneenä. Samalla datalla osataan valita esimerkiksi paras pelaava kokoonpano, kun nähdään kunkin pelaajan kuormittuneisuustasot. (Halson, 2014.)

Urheilijoiden seurannalla voi olla positiivisia vaikutuksia myös viestintään ja suhteisiin valmentajien ja muun henkilökunnan kanssa. Mittaaminen voi parantaa urheilijoiden tunnetta harjoitusohjelman suorittamiseen osallistumisesta ja samalla auttaa heitä jaksamaan sekä lisätä heidän omistautumistaan. (Halson, 2014.)

4. Pohdinta

Tutkielman tavoitteena oli selvittää ja analysoida, miten puettavia teknologioita hyödynnetään urheilussa ja millaisia eri teknologioita nykyään on olemassa. Puettavia teknologioita löydettiin useita ja niiden tarjoamia mahdollisuuksia urheilussa varsin runsaasti. Aiheesta on tehty muitakin kirjallisuuskatsauksia, joissa näkökulmat ovat olleet hieman erilaisia kuin tässä tutkimuksessa. Tulokset ovat olleet pääosin samanlaisia, eli teknologioilla voidaan saavuttaa urheilussa merkittäviä etuja, kuten suorituskyvyn parantumista, parempaa palautumista unen ja levon kautta sekä paremmin optimoituja harjoituksia. Puettavasta teknologiasta käytettiin myös termiä liikuntateknologia ainakin yhdessä kirjallisuuskatsauksessa, mikä on varsin laaja termi. Tutkimukseen valitulla menetelmällä ei ole vaikutusta tuloksiin, sillä vaikka vastaavia tutkimuksia toteutettaisiin kokonaan uudelleen, tulokset olisivat suurella varmuudella saman suuntaisia.

Puettavien teknologioiden tutkimuksessa on viime vuosina alettu enemmän keskittyä teknologioiden mittaustarkkuuteen kuin mahdollisiin etuihin, sillä mittauksen tuomat tulokset ja edut ovat jo hyvin tunnettuja. Edut ovat selkeät ja siksi niitä ei oikeastaan kannatakaan enää tutkia ainakaan ”vanhojen” teknologioiden osalta. Uusien teknologioiden suhteen tutkimusta kannattaa kuitenkin jatkossakin tehdä, jotta kehittyneempien mittausmenetelmien kustannukset tulevat halvemmiksi, ja siten amatööritkin voivat päästä käsiksi korkeatasoisempiin laitteisiin. On tehty jo useita tutkimuksia muun muassa GPS:n tarkkuudesta ja siitä, onko sen tarkkuus oikeasti riittävä hyviin mittaustuloksiin. GPS:ään liittyen mittauksessa on ratkaistavana kiperä ongelma, koska GPS toimii tällä hetkellä vain ulkotiloissa ja GPS:ää käyttävät puettavat teknologiat olisivat hyödyllisiä saada toimimaan myös sisätiloissa, joten ongelmaa kannattaa tutkia ja pyrkiä ratkaisemaan se tulevaisuudessa.

Tutkituista teknologioista askelmittari on alkeellisin teknologia ja soveltuu siten ihan aloittelijatason urheilijoille, kun taas integroidut sensorit ovat enemmän ammattilaisurheilijoille soveltuvia. Yleisimmät harjoituksien mittauslaitteet eli sykemittarit ovat myös jakaantuneet toiminnoiltaan ammattilais- ja aloittelijakäyttöön sopiviksi, mikä näkyy myös niiden hinnoissa. Eri puettavien teknologioiden antamat tiedot ja tarkoitukset myös vaihtelevat. Crouter ja kollegat (2003) totesivat ettei alkeellista askelmittaria kannata esimerkiksi käyttää energiankulutuksen arviointiin, koska tieto ei ole tarkkaa toisin kuin sykemittarilla, joka laskee kulutuksen pohjautuen sykkeeseen (Li ym., 2016). Tutkimusta voitaisiin tehdä lisää vielä siihen liittyen, mitkä mittarit ovat optimaalisia juuri mihinkin lajiin, sillä esimerkiksi kiihtyvyyssanturien todettiin olevan GPS:ää luotettavampia mittareita kontaktilajeissa (Howe ym., 2017).

Jokaiseen käsiteltyyn puettavaan teknologiaan liittyi jonkinlaisia ongelmia, joista GPS:n sisätilan toimintaongelmat mainittiin esimerkkinä. Askelmittarin antamat arviot eivät ole varmuudella tarkkoja, sillä esimerkiksi kädet taskuissa kävelevä ihminen ei ota niiden mukaan ainuttakaan askelta johtuen mittarin toimintaperiaatteesta. Kaikkiin puettaviin teknologioihin liittyy Chenin ja kollegoiden (2012) mainitsema ihoärsytyksen mahdollisuus, koska sensoreiden pitää olla tiukasti ihoa vasten luotettavien tuloksien saamiseksi. Sykemittarit ja muut radiosignaaleja käyttävät laitteet ovat myös alttiita Janzin (2002) mainitsemalle 60 herzin sähköhäiriömelulle. Teknologian kehittymisen jatkumisen myötä näitä ongelmia voidaan saada ratkaistua ja laitteiden hintataso laskee kehityksen myötä myös, jolloin amatööreilläkin on varaa laadukkaampiin mittauksiin.

Puettavien teknologioiden hyödyllisyyttä urheilussa ei tutkimuksen tekoaikoina voi enää kiistää, sillä on olemassa valtavasti tutkimustuloksia niiden hyödyllisyydestä. Mittauksen arkipäiväisyys huippu-urheilijoiden keskuudessa vahvistaa myös hyödyllisyyden. Mittauksissa pitää kuitenkin muistaa se, että ammattilaisilla on käytössä parhaimmat välineet, joten niillä saadaan myös parhaimmat tulokset. Jos verrataan esimerkiksi marketista ostettua halpaa askelmittaria ja ammattilaisurheiluseuran käyttämiä laitteita, ovat tuloksien tarkkuudet hyvin todennäköisesti ihan eri tasolla. Laitteiden laadulla on siten myös varmasti yhteys niiden avulla saatuihin hyötyihin, sillä virheelliset mittaustulokset voivat huonossa tapauksessa vain heikentää asioita, joita urheilijan tavoittelee paremmiksi, kuten palautumista.

5. Yhteenveto

Tämän tutkielman tarkoituksena oli analysoida, millaisia puettavia teknologioita nykyään on käytettävissä, ja miten niitä voidaan hyödyntää urheilussa. Pääpainoalueena olivat juuri sellaiset teknologiat, jotka ovat omiaan käytettyinä juuri urheilussa. Kuten tutkielmassa todettiin, teknologian kehitys on johtanut tämän alueen tutkimisen valtavaan kasvuun, sillä urheilussa liikkuvat rahat ovat suuria. Erityisesti ammattuurheilijoita halutaan myös mitata, jotta heistä voidaan saada paras tulos irti ja samalla kilpailuetua muihin. Puettavien teknologioiden käyttö on samalla kasvanut valtavasti, ja niitä käyttävät tänä päivänä käytännössä kaikki ammattuurheilijat ja useat amatööriurheilijat.

Tutkielmassa käsiteltiin puettavien teknologioiden osalta GPS:ää, askelmittaria, sykemittaria, kiihtyvyyssantureita ja gyroskooppi, lämpömittaria ja integroitua sensoreita. Osa näistä mittareista on varsin tunnettuja, mutta gyroskooppi ja kiihtyvyyssanturit ovat todennäköisesti tuntemattomampia teknologiaa monelle, kuten myös integroidut sensorit.

Tähän mennessä tuotetut tutkimukset ovat todistaneet jo puettavien teknologioiden tarjoamat hyödyt urheilussa, joten niiden suhteen ei ole enää suurta tarvetta tuottaa tutkimuksia. Viime aikoina tutkimusta on alettu kohdistaa teknologioiden suorittamien mittausten luotettavuuteen ja oikeellisuuteen, mikä on hyvä asia. Tulevaisuudessa puettaviin teknologioihin ja urheiluun liittyvää tutkimusta kannattaa kohdentaa myös enemmän vielä loukkaantumisten, kuten ACR-polvivammojen ja aivotärähdysten estoa edistäviin teknologioihin. Teknologian kehittyminen ei myöskään pysähdy, joten uusien laitteiden ilmaantuessa tulee niiden luotettavuuteen ja tarjoamiin hyötyihin kohdistaa tutkimusta. GPS:n suhteen tutkimusta kannattaa myös suorittaa, jotta se saataisiin tulevaisuudessa toimimaan myös sisätiloissa.

Puettavien teknologioiden tarjoamat hyödyt ovat yleensä pääasiassa esillä, mutta niiden ongelmiinkin olisi hyvä kohdistaa tutkimusta. Mittareiden ja ihon välisen kontaktin aiheuttamiin ihon ärtymisongelmiin voitaisiin kehittää ratkaisua, kuten myös siihen, että joidenkin urheilulajien suojarusteiden kanssa mittareiden käyttö voi olla hankalaa.

Pro gradu -työtä ajatellen tätä aihetta voisi tutkia määrällisessä tutkimuksessa ainakin siltä osin, kuinka yleistä eri teknologioiden käyttö on urheilussa. Resurssien mahdollistaessa olisi kiinnostavaa tuottaa myös tarkemmin tutkimusta esimerkiksi siitä, mitä teknologioita Liiga-seurat hyödyntävät tänä päivänä urheilijoiden mittauksessa.

Lähteet

Adesida, Y., Papi, E., & McGregor, A. H. (2019). Exploring the Role of Wearable Technology in Sport Kinematics and Kinetics: A Systematic Review. *Sensors*, *19*(7), 1597. doi:10.3390/s19071597

Ahmad, N, R. A. R. Ghazilla, N. M. Khairi ja V. Kasi. (2013). Reviews on various inertial measurement unit (IMU) sensor applications. *International Journal of Signal Processing Systems 1* (2): 256–262.

Akenhead, R., French, D., Thompson, K. G., & Hayes, P. R. (2014). The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS. *Journal of science and medicine in sport*, *17*(5), 562–566. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.08.005>

Cardinale, M. & Varley, M. C. (2017). Wearable Training-Monitoring Technology: Applications, Challenges, and Opportunities. *International journal of sports physiology and performance*, *12*(Suppl 2), p. S255. doi:10.1123/ijsp.2016-0423

Catapultsports. (2020). Why is athlete monitoring important?
Haettu osoitteesta: <https://support.catapultsports.com/hc/en-us/articles/360001406195-Why-is-athlete-monitoring-important->

Chambers, R., Gabbett, T., Cole, M. & Beard, A. (2015). The Use of Wearable Microsensors to Quantify Sport-Specific Movements. *Sports Medicine*, *45*(7), pp. 1065-1081. doi:10.1007/s40279-015-0332-9

Chen, K. Y., Janz, K. F., Zhu, W., & Brychta, R. J. (2012). Redefining the roles of sensors in objective physical activity monitoring. *Medicine and science in sports and exercise*, *44*(1 Suppl 1), S13–S23. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182399bc8>

Crouter, E., Schneider, L., Karabulut, R. & Bassett, R. (2003). Validity of 10 Electronic Pedometers for Measuring Steps, Distance, and Energy Cost. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *35*(8), pp. 1455-1460. doi:10.1249/01.MSS.0000078932.61440.A2

Geokätköt.fi, (2017). Miten GPS toimii? Haettu osoitteesta:
<https://geokätköt.fi/2017/02/miten-gps-toimii/>

Ghasemzadeh H, Jafari R. (2011). Coordination analysis of human movements with body sensor networks: a signal processing model to evaluate baseball swings. *IEEE Sens J*. *11*(3):603–10.

Haberstroh, T. (2016). Why the NBA slapped the wrist of Matthew Dellavedova, ESPN. Haettu osoitteesta: https://www.espn.com/blog/truhoop/post/_id/74297/why-the-nba-slapped-the-wrist-of-matthew-dellavedova

Halson, S. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, *44*(Supplement 2), pp. 139-147. doi:10.1007/s40279-014-0253-z

Holleczeck, T., Rüegg, A., Harms, H. and Tröster, G. (2010). Textile pressure sensors for sports applications. *SENSORS*, *2010 IEEE*, pp. 732-737, doi: 10.1109/ICSENS.2010.5690041.

Hough, P., Glaister, M. & Pledger, A. (2017). The Accuracy of Wrist-worn Heart Rate Monitors across a Range of Exercise Intensities. *Journal of Physical Activity Research*, 2(2), pp. 112-116. doi:10.12691/jpar-2-2-8

Howe, S. T., Aughey, R. J., Hopkins, W. G., Stewart, A. M. & Cavanagh, B. P. (2017). Quantifying important differences in athlete movement during collision-based team sports: Accelerometers outperform Global Positioning Systems. *IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (INERTIAL)*, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISISS.2017.7935655.

Janz KF. (2002). *Use of heart rate monitors to assess physical activity*. In: Welk G, editor. *Physical Activity Assessments for Health-Related Research*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 143–161.

Kaplan, E., & Hegarty, C. (2005). *Understanding GPS: Principles and Applications*. United States: Artech house.

Kang, T., Merritt, C. R., Grant, E., Pourdeyhimi, B. & Nagle, H. T. (2008). Nonwoven Fabric Active Electrodes for Biopotential Measurement During Normal Daily Activity. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(1), pp. 188-195. doi:10.1109/TBME.2007.910678

Kärki, T. (2020). *Puettavan teknologian käyttö urheilussa*. (Johdatus tutkimukseen - tutkielma, Oulun yliopisto).

Larsson, P. (2003). Global Positioning System and Sport-Specific Testing. *Sports Med* 33, 1093–1101 <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00002>

Larson, S. (2015). A new wearable wants to prevent concussions. *Daily Dot*. [Online]. Haettu osoitteesta: <http://www.dailydot.com/debug/linux-ias-concussions-sports/>

Lee, J., Kim, J. & Welk, J. (2014). Validity of Consumer-Based Physical Activity Monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(9), pp. 1840-1848. doi:10.1249/MSS.0000000000000287

Li, R. T., Kling, S. R., Salata, M. J., Cupp, S. A., Sheehan, J., & Voos, J. E. (2016). Wearable Performance Devices in Sports Medicine. *Sports Health*, 8(1), 74–78. <https://doi.org/10.1177/1941738115616917>

Matthew, D. & Delextrat, A. (2009). Heart rate, blood lactate concentration, and time-motion analysis of female basketball players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 27(8), pp. 813-821. doi:10.1080/02640410902926420

Seshadri, D. R., Drummond, C., Craker, J., Rowbottom, J. R. & Voos, J. E. (2017). Wearable Devices for Sports: New Integrated Technologies Allow Coaches, Physicians, and Trainers to Better Understand the Physical Demands of Athletes in Real time. *IEEE Pulse*, 8(1), pp. 38-43. doi:10.1109/MPUL.2016.2627240

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. *NPJ Digital Medicine*, 2(71). <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0149-2>

Strath, J., Swartz, M., Bassett, L., O'Brien, A., King, E. & Ainsworth, E. (2000). Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(9 Suppl), pp. S465-S470.

Tudor-Locke, C. (2002). Taking Steps toward Increased Physical Activity: Using Pedometers To Measure and Motivate. Haettu osoitteesta:
<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED470689.pdf>

Wixted, A. J., Thiel, D. V, Hahn, A. G., Gore C. J., Pyne D. B. & James D. A. (2007). Measurement of Energy Expenditure in Elite Athletes Using MEMS-Based Triaxial Accelerometers. *IEEE Sensors Journal* 7(4), pp. 481—488, doi: 10.1109/JSEN.2007.891947