

Kalle Hoikkala

Inertiamittausyksiköiden ja gps-laitteiden käyttö urheilussa

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

30. huhtikuuta 2018

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Kalle Hoikkala

Yhteystiedot: kalle.a.hoikkala@student.jyu.fi

Ohjaaja: Sanna Juutinen

Työn nimi: Inertiamittausyksiköiden ja gps-laitteiden käyttö urheilussa

Title in English: The use of inertial measurement units and gps systems in sports

Työ: Kandidaatintutkielma

Suuntautumisvaihtoehto: All study lines

Sivumäärä: 24+0

Tiivistelmä: GPS- ja inertiamittausteknologian käyttö urheilussa on yleistynyt teknologian kehittymisen takia. Teknologioiden tarkoituksena on antaa urheilijalle mitattuun dataan perustuvaa palautetta urheilusuorituksesta. Tavoitteena tutkimuksessa on tutkia kirjallisuuskatsauksena, kuinka GPS- ja inertiamittausteknologiaa on käytetty urheilussa. Molemmat teknologiat pystyvät tarjoamaan urheilijalle keinoja parantaa suorituskykyään ja ehkäistä loukkaantumisia reaaliaikaisesti. GPS-teknologiaa on käytetty sijainnin, nopeuden, matkan sekä näistä johdettujen arvojen mittaamiseen. Inertiamittausteknologiaa on käytetty muun muassa liikeratojen mittaamiseen, toistojen laskemiseen ja urheilijaan kohdistuvien voimien mittaamiseen. Varsinkin molempia teknologioita yhdessä käytettäessä pystytään urheilusuorituksesta mittaamaan montaa suoritukseen vaikuttavaa osa-aluetta samanaikaisesti. Näiden mitattujen tietojen avulla urheilija pystyy optimoimaan harjoitteluaan ja sitä kautta parantamaan suorituskykyään.

Avainsanat: kandidaatintutkielmat, liikuntateknologia, gps, imu, inertiamittausyksikkö, urheilu

Abstract: The use of GPS and inertial measurement technology in sports have increased due to advances in those technologies. The purpose of these technologies is to provide quantitative data of the performance for the athlete. The goal of this paper to do a literature review on how GPS and inertial measurement technologies are used in sports. Both technologies can

provide means for the athlete to enhance performance and prevent injuries in real time. GPS-technology has been used to give information about location, velocity, distance and other values that are derived from these values. Inertial measurement technology has among other things been used to measure trajectories, count repetitions and measure forces impacting an athlete. Especially when both these technologies are used together, they can measure a great amount of parameters influencing the performance at the same time. Using the information provided, the athlete can optimize his/her training and enhance his/her performance.

Keywords: Bachelor's Theses

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki inertiamittausyksiköstä.(Benbasat ja Paradiso 2001, 11)	5
Kuvio 2. Biomekaniikan hierarkiamalli pituushypystä.(Hughes ja Bartlett 2002, 740)	9
Kuvio 3. Esimerkki onnistuneeseen suoritukseen vaikuttavista tekijöistä. (Hughes ja Bartlett 2002, 747)	10

Sisältö

1	JOHDANTO	1
2	LIIKUNTATEKNOLOGIA, INERTIAMITTAUSYKSIKÖT JA GPS-JÄRJESTELMÄ	3
2.1	Liikuntateknologia käsitteenä.....	3
2.2	Inertiamittausyksiköt	4
2.3	GPS-järjestelmä	5
3	SUORITUSKYVYN TUTKIMUS	7
3.1	Suorituskyvyn tutkimus	7
3.2	Biomekaniikka ja havaintojen tutkimus	8
4	GPS-TEKNOLOGIAN JA INERTIAMITTAUKSEN KÄYTTÖ URHEILUSSA ...	11
4.1	GPS- ja inertiamittausteknologian avulla mitattavat arvot	11
4.2	Suorituskyvyn parantaminen	12
4.3	Vammojen ehkäisy ja kuntoutuminen	14
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	16
	LÄHTEET	17

1 Johdanto

Teknologian kehittyminen on muokannut urheilua ja urheilijoiden harjoittelua jo vuosikymmenten ajan. Mullistavat edistykset teknologian saralla ovat luoneet suuria harppauksia tulosastoihin ja maailmanennätyksiin. (Kuper ja Sterken 2003) Seiväshypyssä lasikuituiset seipäät korvasivat bambuseipäät 1960-luvulla ja miesten olympiaennätys kasvoi 70 senttimetriä kahdeksassa vuodessa. (Butler 2016) Nykypäivänä teknologian käytöllä pyritään parantamaan suorituskykyä, estämään vammoja ja palautumaan vammoista.

Huippu-urheilussa erot yksilöiden välillä ovat pieniä. Urheilijat haluavat käyttää kaiken mahdollisen avun, jolla he voivat saada etua muihin kilpailijoihin nähden. Liikuntateknologian käyttö ja sen antama data pystyy tarjoamaan urheilijalle arvokasta tietoa suorituksista ja sitä kautta etua voidaan saavuttaa. Liikuntateknologia koostuu laitteista, ohjelmistoista ja palveluista, joiden avulla mitataan, tallennetaan ja analysoidaan tietoa urheilusuorituksista. (Moi-lanen 2014) Liikuntateknologian käyttö ei kuitenkaan korvaa kovaa harjoittelua, jota menestymisen vaatii, vaan se toimii harjoittelua ohjaavana keinona.

Tässä tutkielmassa tutkitaan kirjallisuuskatsauksena GPS-teknologian ja inertiamittauksen käyttöä urheilussa. GPS-teknologian avulla mitataan sijaintia, nopeutta ja matkaa. Inertiamittauksella selvitetään missä asennossa, mihin suuntaan ja millä kiihtyvyyksillä mitattava asia liikkuu. Molemmat teknologiat mittaavat liikettä eri mittausmenetelmillä. Kaupalliset tuotteet usein sisältävät molemmat mittausyksiköt, sillä niiden tuottama data tukee toisiaan ja parantaa luotettavuutta. (Petovello 2003) Molemmista teknologioista on tullut viime vuosikymmenen aikana suosittuja urheilussa, sillä ne ovat korvanneet kallista ja paljon laskentatehoa vaativaa videoanalyysiä suorituskyvyn tutkimisessa. GPS- ja inertiamittausyksiköiden koko on pienentynyt ja valmistus halventunut MEMS-teknologian (engl. Microelectromechanical systems) kehittymisen vuoksi. Tämän takia yhä suurempi osa urheilijoista voi tutkia omaa suorituskykyään, sillä raha tai laitteiden kömpelyys ei ole enää este sille.

Suorituskyvyn tutkimuksella pyritään parantamaan suorituskykyä, estämään vammoja ja kuntoutumaan niistä. Suorituskyvyn tutkimus tieteenalana koostuu havaintojen tutkimuksesta ja biomekaniikasta. Biomekaniikassa tutkitaan yksilön kehon liikettä ja suoritus-

tekniikkaa.(Hughes ja Bartlett 2002) Havaintojen tutkimus tutkii perinteisesti joukkueurheilussa ihmisten liikkeitä ja taktiikoita. Näiden kahden osa-alueen tietojen yhdistäminen antaa kokonaisvaltaisen kuvan yksilön ja joukkueen toiminnasta harjoituksen tai pelin aikana.

GPS-teknologian ja inertiamittauksen avulla voidaan saada reaaliaikaista dataa urheilijoiden suorituksista ja valmennusryhmä voi tehdä taktisia päätöksiä niiden tietojen pohjalta. Urheilijan kannalta olisi tärkeää löytää optimaalinen määrä kuormitukselle. Kuormitusta tulee olla riittävästi, jotta urheilija kehittyy fyysisesti ja taidollisesti. Mikäli kuormitusta on liikaa, loukkaantumisriski kasvaa.

Tämän tutkielman ensimmäinen luku toimii johdantona tutkittavaan aiheeseen. Toisessa luvussa kerrotaan yleistä tietoa liikuntateknologiasta, GPS-järjestelmästä ja inertiamittauslaitteista. Kolmannessa luvussa käydään läpi suorituskyvyn tutkimusta ja sen merkitystä urheilussa. Neljännessä luvussa tarkastellaan GPS- ja inertiamittauslaitteiden käyttöä urheilussa. Viidennessä luvussa käydään läpi tutkielman johtopäätökset. Lopuksi listataan tutkielmassa käytetyt lähteet.

2 Liikuntateknologia, inertiamittausyksiköt ja GPS-järjestelmä

Tässä luvussa keskitytään ensin liikuntateknologiaan ja sen rajaukseen tässä tutkielmassa. Aluksi tutkitaan liikuntateknologian käsitettä ja sen sisältöä nykypäivän kontekstissa. Tämän jälkeen käsitellään teknologista osuutta ja tarkastellaan tarkemmin millaisiin teknologisiin tuotteisiin ja sovelluksiin tämä tutkimus on rajattu. Tämän jälkeen käydään läpi yleisellä tasolla GPS-järjestelmän toimintaa ja inertiamittausyksiköiden tietoja.

2.1 Liikuntateknologia käsitteenä

Liikuntateknologia on käsitteenä todella moniulotteinen ja sen sisälle voidaan asettaa monia teknologisia, eri tavoin liikuntasuoritukseen liittyviä laitteita ja järjestelmiä. Tällaisia ovat muun muassa erilaiset virtuaaliset valmentajat, suorituskyvyn testauslaitteet ja sykemittarit (Kari 2011). On kuitenkin tarpeellista kaventaa käsiteltävää liikuntateknologian aluetta, joten tässä tutkimuksessa liikuntateknologia rajataan seuraavalla tavalla: "Liikuntateknologia on informaatioteknologian laitteista, ohjelmistoista ja palveluista koostuva kokonaisuus, joiden on tarkoitus mitata, tallentaa ja analysoida tietoa liikuntasuorituksista."(Moilanen 2014)

Ensimmäisten liikuntateknologialaitteiden joukkoon kuuluu Suomessa 1980-luvulla kehitetty sykemittari. Sykemittari kehitettiin alun perin huippu-urheiluun välineeksi, jolla voitaisiin reaaliaikaisesti seurata urheilijan syketasoa ja sitä kautta parantaa harjoittelua tehokkaammaksi. (Moilanen 2014) "Luovat ja innovatiiviset teknologiset kehitykset, sekä akateemisella, että teollisella puolella ovat luoneet tehokkaita laitteita, joiden avulla urheilusuorituksen kokemusta voidaan vahvistaa."(Malkinson 2009)

Nykypäivän liikuntateknologia on paljon enemmän kuin vain sykkeen mittausta. Teknologian kehittyessä komponenttien koko on pienentynyt ja niiden valmistus on halventunut. Sen myötä pieneen ranteessa pidettävään mikrotietokoneeseen ollaan saatu mahdutettua kiihtyvyyssantureita, GPS-paikantimia, optisia sykemittauslaitteita ja monia muita suoritusta mittaavia toimintoja.(Kari 2011) Näiden liikuntateknologisten laitteiden avulla urheilija voi tut-

kia omia tilastojaan ja suunnitella omaa harjoittelua niiden pohjalta.

Tässä tutkielmassa keskitytään liikuntateknologian osa-alueista paikannukseen ja liikkeen mittaamiseen. Liikuntateknologiassa inertiamittausyksiköiden ja GPS-järjestelmien tarkoitus on selvittää, missä urheilija on, sekä mihin suuntaan ja millä nopeudella urheilija liikkuu. Liikkeen mittaaminen on kiinnostavaa urheilijoille ja valmentajille, sillä sen avulla voidaan arvioida muunmuassa urheilijan suorituskykyä ja ehkäistä loukkaantumisia. (Espinosa, Lee ja James 2015)

2.2 Inertiamittausyksiköt

Inertiamittausyksiköiden tarkoitus on mitata lineaarista kiihtyvyyttä ja kulmaliikettä kolmessa ulottuvuudessa. (Vainio 2016) Niiden avulla selvitetään, missä asennossa esine tai asia on, ja mitkä ovat siihen kohdistuvat kiihtyvyydet. Nykyään, esimerkiksi puhelimissa on inertiamittausyksikkö (Lee ym. 2012), jonka antaman tiedon avulla käännetään näytön suuntaa tarpeen mukaan.

Inertiamittausyksikkö koostuu kiihtyvyyssantureista, gyroskoopeista ja usein myös magnetometreistä. (Ahmad ym. 2013) Antureita laitteessa on useita, jotta voidaan mitata liikkeen muutoksia leveys-, korkeus- ja syvyysakseleilla. Kiihtyvyyssantureilla mitataan nimensäkin mukaan muutoksia kiihtyvyydessä. Gyroskoopeilla mitataan kulmaliikettä eli pyörimisliikettä. Magnetometrit parantavat gyroskoooppien tarkkuutta mittaamalla magneettisen voimakentän muutoksia. (Ahmad ym. 2013) Magnetometrissä yksinkertainen esimerkki on kompassi. Kuva 1 on esimerkki inertiamittausyksiköstä. Siinä olevassa koordinaatistomallissa $a_{x,y,z}$ muutoksia mittaa kiihtyvyyssanturit ja $\omega_{x,y,z}$ muutoksia mittaavat gyroskooopit.

Inertiamittausyksiköiden käyttö on yleistynyt mikroelektromekaanisen (engl. Micro Electrical Mechanical System, MEMS) teknologian kehittymisen takia. (Vainio 2016) Tässä tutkielmassa inertiamittausyksiköihin viitattaessa tarkoitetaan nimenomaan MEMS-inertiamittausyksiköitä. MEMS-systeemit ovat vapaasti suomennettuna mikrokokoisia elektronisia systeemejä, joista käytetään myös nimitystä mikrosysteemi. MEMS-inertiamittausyksiköiden hyvä puoli on halpa hinta ja pieni koko, mutta heikkoutena on tarkkuus verrattuna ilmailutason inertiamittausyksiköihin. (Vainio 2016) Inertiamittausyk-



Kuvio 1. Esimerkki inertiamittausyksiköstä.(Benbasat ja Paradiso 2001, 11)

siköiden reliabiliteettiä ja validiteettiä urheilussa onkin tutkittu paljon ja osa tutkimuksista ovat keskenään ristiriitaisia. (Gabbett 2013)

Liikunta- ja testauskäytössä inertiamittausyksiköistä on haluttu tehdä laboratoriotestaamisen rajoitteiden vuoksi pieniä, vähän virtaa kuluttavia ja halpoja.(Espinosa, Lee ja James 2015) Tämä on johtanut siihen, että inertiamittausyksiköistä on tullut suosittuja liikuntasuoritusten mittaamisen laitteita. Inertiamittausyksiköitä on käytetty etenkin tunnistamaan eri urheilulajien lajikohtaisia liikkeitä.(Chambers ym. 2015) Ne voivat mitata jonkin tietyn liikkeen, kuten pallon heiton tai lentopallon syötön määriä ja sen avulla voidaan seurata olkapään rasituksen määrää. (Rawashdeh, Rafeldt ja Uhl 2016) Kontaktilajeissa, kuten rugbyssä, niitä on käytetty törmäysvoimien mittaamiseen. (Gabbett 2013)

2.3 GPS-järjestelmä

GPS-järjestelmä kehitettiin alun perin Yhdysvaltain armeijalle (Scott, Scott ja Kelly 2016), mutta teknologia vapautettiin siviilien käyttöön vuonna 2000. Tämän jälkeen GPS-teknologia on mullistanut liikkuvien urheilijoiden harjoittelun. GPS-järjestelmä antaa tietoa sijainnista, suunnasta, vauhdista ja matkasta käyttäjälle (Malkinson 2009) Näitä tietoja voidaan hyödyntää urheilussa monipuolisesti.

GPS-järjestelmä koostuu kolmesta laite-kokonaisuudesta: Satelliiteista, maa-aseamista ja

GPS-paikantimista.(El-Rabbany 2002, 2) Satelliitit lähettävät radiosignaalina sijainti- ja aikatietoa. Paikannin vastaanottaa signaalin ja laskee etäisyyden satelliitin ja vastaanottimen välillä käyttämällä kolmiomittausta eli trilateraatiota.(Kari 2011) Onnistuneeseen paikannukseen tarvitaan vähintään kolmen satelliitin sijainnit ja etäisyydet paikantimeen.(El-Rabbany 2002, 8) Järjestelmä on kehitetty siten, että vähintään kolme satelliittia on horisontin yläpuolella kaikkialla maapallolla.(Valkama ym. 2006) Kolmella satelliitilla saadaan siis laskettua sijainti, mutta se ei ole yksiselitteinen. Tämä on osa syy sille, miksi osassa tutkimuksissa mainitaan vähintään neljän satelliitin vaadittavan onnistuneeseen paikannukseen. Neljäs satelliitti tarvitaan myös korjaamaan vastaanottimen kellon virhe.(El-Rabbany 2002, 8) Suurempi signaalien määrä tarkentaa ja nopeuttaa loppukäyttäjien paikantimia. Paikannin pystyy käsittelemään maksimissaan 12 satelliitin signaalia. (Valkama ym. 2006)

Maa-asemien tehtävä on kerätä satelliittien rata-tietoja ja syöttää ne keskusjärjestelmään, josta voidaan korjata yksittäisten satelliittien ratojen tiedot.(El-Rabbany 2002, 7) Ratatietojen lisäksi tehdään korjauksia ionosfäärin eli ilmakehän ylimmän osan parametreihin. (Valkama ym. 2006) Ilmakehä saattaa aiheuttaa vääristymiä ja signaalin hidastumista, mutta vaikutukset ovat vain noin 4m luokkaa, joten niiden aiheuttamat ongelmat tulevat esille vain ammatillaiskäytössä.(Valkama ym. 2006) Maa-asemat siis huolehtivat, että järjestelmän tarkkuus pysyy hyvänä.

Sijainnin laskenta tehdään vertaamalla satelliittien lähettämien aikatietojen eroja, kun tiedetään satelliittien koordinaatit.(El-Rabbany 2002, 8) Järjestelmässä on tärkeää, että aikatieto on absoluuttisen tarkkaa. Jos aikatieto heittää yhden millisekunnin, vaikuttaa se paikan määrittämiseen noin 300km virheen.(Valkama ym. 2006) Nykyään satelliiteissa käytetään atomikelloja, joiden tarkkuus pysyy kahden ja puolen tunnin aikana nanosekunnissa. (Valkama ym. 2006)

GPS-järjestelmän hyödyt urheilussa on merkittävät. GPS-järjestelmä antaa mahdollisuuden seurata urheilijan liikkeitä reaaliaikaisesti ja tarkasti. Joukkuelajeissa hyöty muihin mittaus-tapoihin kasvaa, sillä GPS-teknologia mahdollistaa useamman urheilijan samanaikaisen seuraamisen reaaliajassa. GPS-järjestelmät, jotka toimivat 10Hz taajuudella voivat luotettavasti mitata nopeuden muutoksia ja sijaintia. (Scott, Scott ja Kelly 2016)

3 Suorituskyvyn tutkimus

Tässä luvussa perehdytään suorituskyvyn tutkimukseen. Aluksi käsitellään mitä suorituskyvyn tutkimus on ja mitkä ovat sen tavoitteet. Tämän jälkeen keskitytään suorituskyvyn tutkimuksen osa-alueisiin: Biomekaniikkaan ja havaintojen tutkimukseen.

3.1 Suorituskyvyn tutkimus

Suorituskyvyllä ja sen mittaamisella on huippu-urheilussa todella tärkeä merkitys. Kun huipulla erot urheilijoiden välillä ovat marginaalisen pieniä, niin eroa kanssa kilpailijoihin yritetään saada kaikin mahdollisin keinoin. Teknologiasta ja sen käytöstä voikin löytyä keinoja parantaa omaa suorituskykyä. Modernin teknologian käyttöönotto onkin vaikuttanut niin voimakkaasti urheiluun, että monet valmentajat ja urheilijat pitävät teknologian antamaa informaatiota korvaamattomana. (Liebermann ym. 2002)

Suorituskyvyn tutkimus on liikuntatieteiden tieteenhaara, vaikkakin kiistelty sellainen. (Glazier 2010) Sen tavoitteena on teknologian avulla tarkastella urheilusuorituksia ja löytää keinoja ymmärtää lajin luonnetta paremmin. (O'Donoghue 2009, 7) Paremman ymmärryksen kautta voidaan parantaa suorituskykyä. O'Donoghuen (2009, 3) mukaan monet urheilulajit ovat luonteeltaan dynaamisia sekä monimutkaisia ja siitä syystä havainnointi ja mittaukset ovat tärkeitä suorituskykyä arvioidessa.

Liebermann listasi artikkelissaan vuonna 2002 tulevaisuuden teknologioita, joilla pyritään mittaamaan ja parantamaan urheilijan suorituskykyä. Yksi näistä oli videokuvauksen käyttö harjoittelussa. Videokuvaus onkin pysynyt pitkään suosittuna tapana mitata sekä seurata urheilijaa, ja siitä on tullut kultainen standardi suorituskyvyn tutkimuksessa. Sen avulla saadaan mitattua urheilusuorituksesta urheilijan nopeutta, hyppyjen korkeutta, törmäysten määrää ja monia muita arvoja. Videoteknologian käytössä ongelmaksi tulee kuitenkin se, että sen avulla ei saada reaaliaikaista palautetta suorituksesta. (Liebermann ym. 2002; Ahmadi, Rowlands ja James 2009) Videokuvaus on myös verrattain kallista ja paljon aikaa, työvoimaa ja laskentatehoa vaativaa. (Ahmadi, Rowlands ja James 2009; Ahmadi ym. 2014) Näitä ongelmia GPS-teknologia ja Inertiamittausyksiköt pyrkivät paikkaamaan.

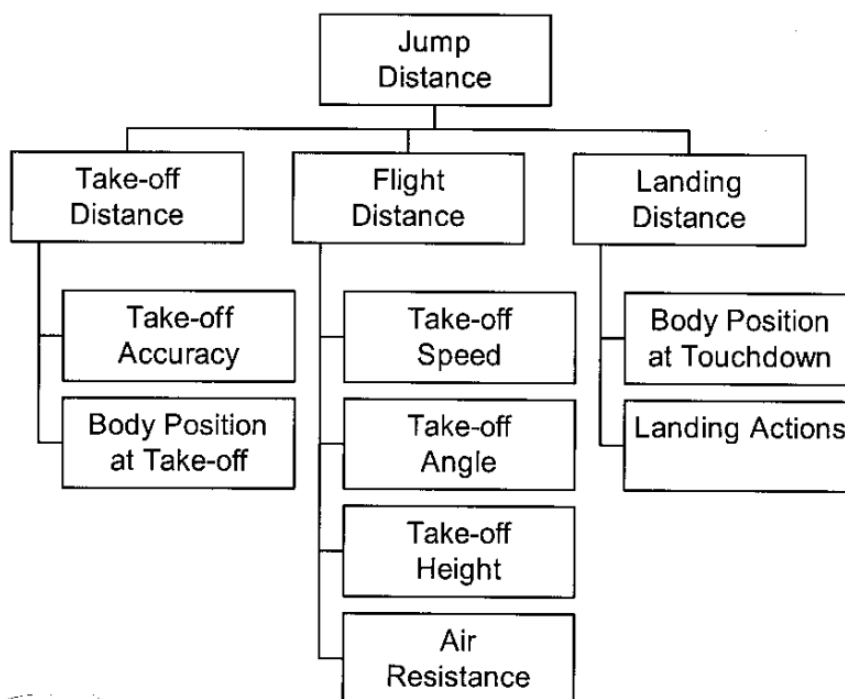
Suorituskyvyn tutkimus (engl. Performance analysis) koostuu kahdesta osa-alueesta. Havaintojen tutkimuksesta (engl. Notational analysis) ja biomekaniikasta. (O'Donoghue 2009, 2) Biomekaniikka tutkii muun muassa kehon liikettä ja sen tuottamia voimia.(McGinnis 2013, 3) Havaintojen tutkimus tutkii perinteisesti joukkueurheilussa ihmisten liikkeitä ja taktiikoita.(Bartlett 2001) Nämä kaksi tutkimuksen osa-aluetta on yhdistetty suorituskyvyn tutkimuksessa, koska molemmat voivat mitata samaa tapahtumaa eri asteikoilla. (Glazier 2010) O'Donoghuen (2009, 2) mukaan kaikki tutkimukset, jotka sisältävät varsinaisen urheilusuorituksen tutkimista kilpailussa tai harjoittelussa voidaan kutsua suorituskyvyn tutkimukseksi. Pääroolissa on varsinainen urheilusuoritus ja sen analysointi eikä esimerkiksi fyysisen suorituskyvyn mittaus laboratorio-olosuhteissa. Suorituskyvyn tutkimisella yritetään saada ymmärrystä tarkasteltavasta urheilulajista, jotta voidaan löytää keinoja parantaa suorituskykyä kyseisessä urheilulajissa.

3.2 Biomekaniikka ja havaintojen tutkimus

"Biomekaniikka liikuntatieteissä on voimien tutkimista ja niiden vaikutusta ihmisiin harjoittelussa ja urheilussa."(McGinnis 2013, 3) Biomekaniikan tavoitteet ovat lähtökohtaisesti samat kuin suorituskyvyn tutkimuksella. Tavoitteena on parantaa suorituskykyä ja ehkäistä vammoja, sekä palautua niistä. (O'Donoghue 2009, 4) Biomekaniikassa tutkitaan urheilusuorituksen tekniikkaa ja pyritään selvittämään keinoja sen parantamiseen.(Hughes ja Bartlett 2002) Suoritusta voidaan tutkia joko laadullisesti tai määrällisesti.(McGinnis 2013, 4) Laadullista tutkimusta valmentajat tekevät jatkuvasti harjoituksissa. He seuraavat urheilijan suoritusta ja omien tietojensa perusteella antavat urheilijalle palautetta suorituksesta ja mahdollisesti pyrkivät muuttamaan hänen suoritustekniikkaansa. O'Donoghue (2009, 3) perustelee kirjassaan, että tällaisissa havainnoissa tulee virheitä jo pelkästään siksi, että jokainen havainto on subjektiivinen ja siihen vaikuttaa havainnoitsijan vireystila, ennakoasenne ja virheet tarkkaavaisuudessa. Tämän vuoksi on tärkeää tutkia liikuntasuorituksia myös määrällisesti, eli jonkin mittalaitteen avulla, joka pystyy antamaan riippumatonta tietoa suorituksesta.

Jotta suorituskykyä voidaan mitata, täytyy olla käytössä jokin mittari ja mitta-asteikko, jolla suorituskykyä voidaan arvioida. Suorituskyvyn mittari on suorituksen muuttujien kokoelma,

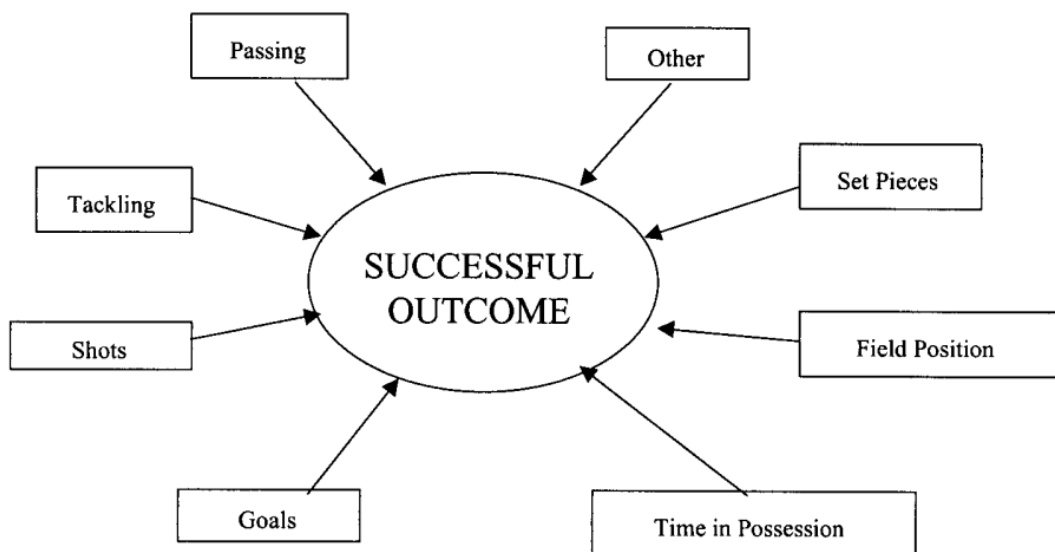
jotka pyrkivät määrittelemään suorituksen osa-alueita.(Hughes ja Bartlett 2002) Valmentajat tai analysoijat käyttävät suorituskyvyn mittareita arviomaan yksilön tai joukkueen suorituskykyä. Biomekaniikassa suorituskyvyn mittarit ovat usein motorisia muuttujia(Bartlett 2001), kuten ranteen asennon muutos tennis lyönnissä. Niiden avulla valmentajat voivat tunnistaa suorituksen osat, jotka johtavat huonoon tai hyvään lopputulokseen. Niistä voidaan myös saada selville, miten tekniikkaa voidaan muuttaa paremmaksi.(Bartlett 2001) Biomekaniikassa yksittäiset urheilusuoritukset pilkotaan pienempiin osiin. Jokainen osa vaikuttaa omalta osaltaan suorituksen lopputulokseen. Esimerkkinä käytetään kuvassa 2 olevaa hierarkkista mallia. Siinä pituushyppy on ensin jaettu ponnistuksen, lennon ja laskeutumisen pituuksiin. Nämä toimivat suorituskyvyn mittareina. Biomekaniikassa tarkastellaan näitä mittareita ja yritetään löytää jokaisesta parhaat mahdolliset arvot, jotta suorituksen onnistuminen saataisiin maksimoitua.



Kuvio 2. Biomekaniikan hierarkiamalli pituushypystä.(Hughes ja Bartlett 2002, 740)

Biomekaniikassa ei olla juurikaan tutkittu joukkuelajeja, mikä on valitettavaa, sillä joukkuelajeissakin tärkein menestymisen vaatimus on taito. (Hughes ja Bartlett 2002) Havaintojen tutkimus on taas keskittynyt pääosin joukkuelajeihin. Siinä tutkitaan pelaajien vuorovaiku-

tusta toisensa kanssa, sekä yksittäisten pelaajien liikkeitä ja käyttäytymistä.(Bartlett 2001) Havaintojen tutkimus liitetään useimmiten joukkueen taktiikoiden ja strategian parantamiseen.(Bartlett 2001) Havaintojen analyysin tarkoitukset ovat O'Donoghuen (2009) mukaan: tekninen arviointi, taktinen arviointi, liikkeen tutkiminen, valmentajan ja pelaajan opetus, sekä suorituksen mallintaminen käyttäen hyväksi ottelun arviointitietokantoja. Havaintojen analyysissä on tyypillisesti käytetty videokuvausta datan saantiin.(Glazier 2010) Kuvattu video käsitellään ja erilaisilla algoritmeilla lasketaan videosta tärkeitä parametreja, jotka toimivat suorituskyvyn mittareina. Mittarit voidaan jakaa ottelu-, taktisiin- ja teknisiin mittareihin.(Bartlett 2001) Tällaisia voivat olla esimerkiksi onnistuneet syötöt jaettuna syöttöjen yrityksillä tai tehdyt maalit jaettuna laukauksien määrällä. Kun biomekaniikan ja havaintojen tutkimuksen suorituskyvyn mittareista saadut tiedot yhdistetään, saadaan laaja-alainen kuvaus suorituskyvystä ja onnistumisen tasosta. Kuvassa 3 on esimerkki suoritukseen vaikuttavista tekijöistä.



Kuvio 3. Esimerkki onnistuneeseen suoritukseen vaikuttavista tekijöistä. (Hughes ja Bartlett 2002, 747)

4 GPS-tekniikan ja inertiamittauksen käyttö urheilussa

Tässä luvussa kerrotaan aluksi, mitä GPS- ja inertiamittaustekniikalla halutaan urheilusuorituksista mitata. Tämän jälkeen käydään läpi, kuinka laitteita voidaan käyttää hyödyksi suorituskyvyn parantamisessa, loukkaantumisten ehkäisyssä ja vammoista kuntoutumisessa.

4.1 GPS- ja inertiamittaustekniikan avulla mitattavat arvot

GPS- ja inertiamittaustekniikan avulla voidaan parantaa suorituskykyä, ehkäistä vammoja ja pidentää urheilijoiden urien kestoja. (Karkazis ja Fishman 2017) Suorituskyvyn parantaminen yksilö tasolla tapahtuu joko fyysisiä ominaisuuksia parantamalla (McGinnis 2013, 8) tai suoritustekniikan parannuksella. (McGinnis 2013, 4) Joukkue tasolla tarkasteltaessa joukkueen suorituskykyyn vaikuttaa strategiat, taktiikat, pelaajien välinen vuorovaikutus ja liike, sekä yksilöiden suorituskyky. (Bartlett 2001) Vammojen ehkäisy ja urheilu urien pidentäminen kulkee käsi kädessä. Vammoja pystytään ehkäisemään valvomalla harjoituskuormaa, varmistamalla, että suoritustekniikat ovat oikeanlaisia ja huolehtimalla riittävästä levosta. (Valovich McLeod ym. 2011) Aiemmin nämä asiat ovat olleet valmennusryhmän ja urheilijan oman arvion varassa (Page 2015), mutta kehittynyt teknologia antaa laskennallisen perustan näille arvioille.

GPS-tekniikalla voidaan mitata urheilijan sijaintia, kulkemaa matkaa ja nopeutta. (Scott, Scott ja Kelly 2016) Näistä tiedoista voidaan johtaa muita arvoja, kuten matka edettynä kävellen tai aika edettynä sprintti nopeuksilla. Inertiamittaustekniikan käyttötarkoitukset ovat paljon laajemmat. Sen avulla voidaan mitata kiihtyvyyksiä, urheiluun kohdistuvia voimia, urheilusuorituksen liikeratoja, seurata toistojen määrää ja paljon muuta. (Espinosa, Lee ja James 2015) Suurin osa kaupallisista GPS-laitteista sisältää myös inertiamittausyksikön. (Chambers ym. 2015) Näiden kahden tekniikan yhdistäminen mahdollistaa monen suorituksen osa-alueen samanaikaisen mittaamisen.

Suurimmassa osassa tutkimuksista, joissa on käytetty inertiamittausyksikköä tai GPS-laitetta mittaamaan urheilusuorituksia, laitteiden validiteetti on ollut hyvällä tasolla. Poikkeuksia kuitenkin on havaittu. Gabbettin (2013) artikkelissa kerrotaan tutkimuksesta, jossa testattiin

rugby pelin aikana taklausten tunnistamista kaupallisella GPS-laitteella, jossa on inertiamittausyksikkö. Laitteen mittaamat arvot poikkesivat merkittävästi tarkemman videoanalyysin tuloksista. Virheellisen datan perusteella tehty harjoitus- ja palautussuunnitelma voi pahimmassa tapauksessa johtaa loukkaantumiseen, jos harjoituskuorma kasvaa liian isoksi tai lepo jää riittämättömäksi. (Krivickas 1997) Tämän vuoksi on tärkeää, että jatkossakin kaupallisille laitteille suoritetaan validiteetin ja reliabiliteetin testauksia.

4.2 Suorituskyvyn parantaminen

Useassa artikkelissa kerrotaan GPS- ja inertiamittausjärjestelmien käytön parantavan urheilijan suorituskykyä. (Page 2015; Karkazis ja Fishman 2017) Tämä tapahtuu järjestelmistä saadun datan avulla tehdyn harjoittelun optimoinnin kautta. (Page 2015) Laitteiden käyttö ei toimi oikotienä onneen, vaan urheilijoiden on edelleenkin tehtävä itse työ menestyksensä eteen. Nämä järjestelmät kuitenkin voivat vaikuttaa merkittävästi urheilijan tapaan harjoitella laadukkaammin.

Urheilijan suorituskykyä voidaan parantaa suoritustekniikkaa ja taitoa parantamalla. (McGinnis 2013, 4) Ahmadi (2009) havaitsi inertiamittausteknologiaa hyödyntämällä, että tennispelaajan taitotasoa voidaan arvioida tutkimalla syötön loppuvaiheessa tapahtuvaa olkapään ja olkavarren kiertoa, sekä ranteen liikettä. Näitä parametreja voidaan myös käyttää suorituksen parantamiseen, kun teknologian avulla voidaan antaa urheilijalle palautetta, että mitä osaluetta tulee parantaa. Vastaavanlaisia tutkimuksia on tehty inertiamittausyksiköillä muun muassa golfissa, uinnissa, kriketissä ja baseballissa. (Ahmad ym. 2013; Ahmadi, Rowlands ja James 2009)

GPS-teknologiaa on käytetty rugbyssä pelin aikaisen fyysisen rasituksen arviointiin. (Christopher McLellan ja Gass 2011) McLellanin tutkimuksessa selvitettiin GPS-teknologiaa ja syketietoja käyttämällä rugbyyn fyysistä rasitusta, sekä eroja hyökkääjien ja puolustajien suorituksissa. Tutkimuksessa havaittiin puolustajien juoksevan spritti nopeuksilla useammin, nopeammin ja pidempiä matkoja. Tästä johtuen voidaan päätellä, että eri pelipaikoilla tarvitaan erilaisia fyysisiä ominaisuuksia. Nämä erot tulee ottaa huomioon harjoittelussa, jotta jokainen yksilö voisi kehittyä paremmaksi omalla pelipaikallaan.

Yleisimmin suoritusten analysointi ja palautteen anto tehdään harjoitusten jälkeen.(Page 2015) Harjoituksista tai pelistä saadun datan perusteella voidaan suunnitella palautuminen ja seuraava harjoitus. Aiemmin valmennusryhmä ja urheilija ovat tehneet nämä päätökset omien tuntemusten ja päättelykyvyn avulla(Page 2015), mutta nykyään teknologia antaa tieteellisen pohjan päätöksille. Teknologian tarjoama data ei kuitenkaan korvaa valmentajia näissä asioissa, vaan sen tarkoitus on tuoda arvokasta lisätietoa päätöksen tekoa varten.

Reaaliaikaisen datan saaminen ja käyttäminen harjoittelussa on vielä vähän käytetty ominaisuus. Sen tarpeen oletetaan kuitenkin kasvavan, sillä ihmisten halu mitata itseään ja suorituskyykyään kasvaa koko ajan.(Page 2015) Saksan jalkapallomaajoukkue otti vuonna 2014 käyttöönsä Adidaksen MiCoach elite Team-järjestelmän(Page 2015; Hymers 2014), joka koostui mittauslaitteista, jotka sisälsivät muun muassa GPS-vastaanottimen ja inertiamittausyksikön, sekä ohjelmistosta, joka pystyy esittämään mitatun datan reaaliajassa valmennusryhmälle. Valmennusryhmä oli omien sanojensa mukaan erityisen kiinnostuneita pelaajien tehosta ja kehon reagoinnista siihen.(Hymers 2014) Teholla tarkoitetaan tässä tilanteessa tehdyn työn määrää jaettuna siihen kuluneella ajalla. Mikäli pelaajan tuottama teho on matala, mutta kehon antama metabolinen vaste on suuri, on pelaaja väsymässä ja häneen tulee kohdistaa erityistä huomiota. He tutkivat muitakin suorituskyyvyn mittareita, kuten edettyä matkaa ja nopeuksia reaaliajassa. Näitä mittareita tulkitaan pelipaikkakohtaisesti ja harjoitukset suunnitellaan siten, että kaikki pelaajat saisivat kaiken mahdollisen hyödyn oman pelipaikkansa mukaan.

Pagen (2015) artikkelissa haastateltiin Munster rugby joukkueen urheilijaa Catapult sportin OptimEye-järjestelmän käytöstä. Munster rugby joukkue käyttää järjestelmää jokaisessa pelissä ja harjoituksessa. OptimEye laite sisältää Adidaksen MiCoach-laitteiden tavoin GPS-vastaanottimen ja inertiamittausyksikön. Haastateltava kertoi, että kuormittavuuden seuraamisen lisäksi hän vertaa suorituksiaan muiden joukkueen pelaajien suorituksiin. Datat näkyvyys kaikille joukkueen jäsenille luo kilpailuasetelmaa joukkueen sisällä ja pelaajat saavat siitä lisää motivaatiota harjoitteluunsa.(Page 2015)

4.3 Vammojen ehkäisy ja kuntoutuminen

Vammojen ehkäisy on urheilijoille suorituskyvyn parantamisen ohella yksi tärkeimmistä prioriteeteista. Urheiluvammoista on kirjallisuudessa kahta tyyppiä: tapaturma vammoja, jotka syntyvät yhden tapahtuman seurauksena ja rasitusvammoja, jotka syntyvät toistuvan rasituksen seurauksena.(Valovich McLeod ym. 2011) Rasitusvammoja pystytään ennakoi-
maan ja niiden syntymiseen pystytään vaikuttamaan teknologian avulla.(Valovich McLeod ym. 2011) Noin puolet kaikista urheiluvammoista on rasitusvammoja.(Krivickas 1997) Ra-
situsvammat johtuvat usein liiallisesta harjoittelun määrästä, levon puutteesta tai huonosta suoritustekniikasta.(Valovich McLeod ym. 2011) Tutkimuksissa on havaittu harjoittelumää-
rän äkillisen kaksinkertaistamisen johtavan jopa nelinkertaiseen loukkaantumisriskiin.(Ra-
washdeh, Rafeldt ja Uhl 2016)

GPS- ja inertiamittausteknologia antavat mahdollisuuden parantaa huonoa suoritustek-
niikkaa ja seurata harjoittelun rasittavuutta. Inertiamittausyksiköillä voidaan saada paljon
dataa suorituksista. Ne pystyvät mittaamaan yksittäisten suoritusten tekniikkaa ja liikera-
toja.(Ahmadi ym. 2014) Niillä pystytään myös seuraamaan suoritettujen toistojen määrää
(Chambers ym. 2015) ja sitä kautta pystytään arvioimaan harjoituksen kuormittavuutta.
GPS-teknologian avulla voidaan seurata nopeuksia ja kuljettua matkaa(Scott, Scott ja Kelly
2016), joista johdetuilla arvoilla voidaan myöskin seurata harjoittelun kuormittavuutta.

Colby (2014) tutki GPSsportsin SPI Pro X laitteella harjoituskuorman vaikutusta loukkaan-
tumisiin. Kyseisessä laitteessa hyödynnetään sekä GPS-, että inertiamittausteknologiaa.
Tutkimuksessa havaittiin suuren harjoituskuorman lisäävän loukkaantumisriskiä, mutta
toisaalta liian vähäisenkin kuormituksen huomattiin kasvattavan loukkaantumisriskiä.
(Colby ym. 2014) Valmennuksen onkin löydettävä jokaiselle urheilijalle henkilökohtaisesti
sopiva harjoituskuorma. Harjoitusten tulee haastaa urheilijaa fyysisesti, jotta kehitymis-
tä voi tapahtua, mutta ei liikaa, koska se johtaa loukkaantumisriskin kasvuun. Tärkeää
on myös suunnitella palautuminen oikein, sillä puutteellinen palautuminenkin nostaa
rasitusvammojen riskiä.(Valovich McLeod ym. 2011)

GPS- ja inertiamittauslaitteet pystyvät tarjoamaan tärkeää dataa vammoista kuntoutumises-
sa. Laitteilla voidaan seurata urheilijan rasiustasoja, kuten harjoituksissa kuljettua matkaa

ja toistojen määriä. (Scott, Scott ja Kelly 2016; Rawashdeh, Rafeldt ja Uhl 2016) Urheilija pystyy siten valvomaan reaaliaikaisten tilastojen avulla, ettei hän rasita itseään liikaa harjoitusten aikana.

Valovich (2011) kertoo tutkimuksessaan huonon suoritustekniikan olevan yksi merkittävä syy rasitusvammoille. Inertiamittausyksiköiden käyttöä suoritustekniikan tutkimisessa voidaan käyttää suorituskyvyn parantamisen lisäksi myös vammojen ehkäisyyn. Vaikka vammojen ehkäisy onkin usein urheilijoille vain toissijainen tavoite suorituskyvyn parantamisen rinnalla, niin suoritustekniikkaa ajatellen nämä tavoitteet tukevat toisiaan. Suoritustekniikan parantaminen voi parantaa sekä suorituskkyä, että ehkäistä vammoja. (McGinnis 2013, 8-10)

Urheilijoiden terveys on urheiluseuroille jo itsessään tärkeä asia, mutta raha on myös yksi syy urheilijoiden testaamiselle ja seurannalle urheiluseuroissa. Huippu-urheilusta on tullut bisnestä, jossa on kyseessä suuret summat rahaa ja loukkaantumiset tulevat nopeasti kalliiksi urheiluseuroille. Karkazisin artikkelissa arvioidaan, että NBA (National Basketball Association) on menettänyt noin 2,7 miljardia dollaria loukkaantumisten takia yhdeksän kauden aikana, joista osalle NBA:n joukkueista menetykset ovat olleet jopa 50 miljoonaa dollaria kaudessa.

5 Johtopäätökset

Tässä tutkielmassa esiteltiin mitä on GPS- ja Inertiamittausteknologia sekä suorituskyvyn tutkimus. Tavoitteena oli tutkia kirjallisuuden perusteella GPS- ja inertiamittausteknologian käyttöä urheilussa, suorituskyvyn tutkimuksen kannalta. Kirjallisuus aiheesta kertoo GPS-teknologialla ja inertiamittausteknologian käytöllä olevan merkittävä vaikutus urheilijoille ja valmentajille. Kyseisiä teknologioita käyttävien laitteiden mittaamaa dataa käytetään huippu-urheilussa suorituskyvyn parantamiseen, vammojen ehkäisyyn sekä kuntoutumiseen.

GPS- ja inertiamittausteknologian käyttö urheilussa on yleistynyt teknologian kehittyessä nopeasti. Laitteista on tullut tarkempia, pienempiä ja halvempia, mikä on madaltanut kynnystä yksittäisille urheilijoille ja urheiluseuroille ottaa käyttöön kyseisiä teknologioita. Molemmilla teknologioilla pystytään luotettavasti mittaamaan liikettä. GPS-järjestelmän avulla sijainnin, matkan ja nopeuksien mittaaminen on tarkkaa ja yksinkertaista. Inertiamittausyksilöllä pystytään mittaamaan luotettavasti liikeratoja, toistojen määriä, kiihtyvyyksiä ja urheilijaan kohdistuvia voimia. Suorituskyvyn tutkimuksen tavoitteiden mukaan GPS- ja inertiamittausteknologian avulla saadaan paljon hyödyllistä dataa urheilusuorituksista. Huippu-urheilussa näiden laitteiden käyttö on nykyään enemmänkin sääntö kuin poikkeus. Alan kultaisena standardina oleva videokuvausteknologia kuitenkin pystyy tarjoamaan tietoa laajemmalla skaalalla. Videokuvausteknologiaa GPS- ja inertiamittausteknologia ei pysty suoraan korvaamaan, mutta niillä pystytään paikkaamaan sen heikkouksia.

Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista tutkia kuinka videokuvausteknologian ja GPS- ja inertiamittausteknologian yhdenaikainen käyttäminen edistäisi urheilijoiden kehittymistä. Teknologiat yhdistämällä pystyttäisiin tarjoamaan urheilijalle suorituksen aikainen palaute, sekä suorituksen jälkeinen laaja-alainen analyysi suorituksesta.

Lähteet

- Ahmad, Norhafizan, Raja Ariffin Raja Ghazilla, Nazirah M Khairi ja Vijayabaskar Kasi. 2013. "Reviews on various inertial measurement unit (IMU) sensor applications". *International Journal of Signal Processing Systems* 1 (2): 256–262.
- Ahmadi, A., E. Mitchell, F. Destelle, M. Gowing, N. E. OConnor, C. Richter ja K. Moran. 2014. "Automatic Activity Classification and Movement Assessment During a Sports Training Session Using Wearable Inertial Sensors": 98–103.
- Ahmadi, Amin, David Rowlands ja Daniel Arthur James. 2009. "Towards a wearable device for skill assessment and skill acquisition of a tennis player during the first serve". *Sports Technology* 2 (3-4): 129–136. ISSN: 1934-6190. doi:10.1002/jst.112. <http://dx.doi.org/10.1002/jst.112>.
- Bartlett, Roger. 2001. "PERFORMANCE ANALYSIS: IS IT THE BRINGING TOGETHER OF BIOMECHANICS AND NOTATIONAL ANALYSIS OR AN ILLUSION?" Teoksessa *ISBS-Conference Proceedings Archive*, nide 1. 1.
- Benbasat, Ari Y, ja Joseph A Paradiso. 2001. "An inertial measurement framework for gesture recognition and applications". Teoksessa *International Gesture Workshop*, 9–20. Springer.
- Butler, Mark, toimittanut. 2016. *ATHLETICS STATISTICS BOOK Games of the XXXI Olympiad Rio de Janeiro 2016*. IAAF Communications Department 2016.
- Chambers, Ryan, Tim J. Gabbett, Michael H. Cole ja Adam Beard. 2015. "The Use of Wearable Microsensors to Quantify Sport-Specific Movements". *Sports Medicine* 45, numero 7 (heinäkuu): 1065–1081.
- Christopher McLellan, Dale Lovell, ja Gregory Gass. 2011. "Performance Analysis of Elite Rugby League Match Play Using Global Positioning Systems". *Journal of Strength & Conditioning Research* (kesäkuu).
- Colby, Marcus J, Brian Dawson, Jarryd Heasman, Brent Rogalski ja Tim J Gabbett. 2014. "Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers". *The Journal of Strength & Conditioning Research* 28 (8): 2244–2252.

- Espinosa, Hugo G, Jim Lee ja Daniel A James. 2015. "THE INERTIAL SENSOR: A BASE PLATFORM FOR WIDER ADOPTION IN SPORTS SCIENCE APPLICATIONS." *Journal of Fitness Research* 4 (1).
- Gabbett, Tim J. 2013. "Quantifying the physical demands of collision sports: does microsensor technology measure what it claims to measure?" *The Journal of Strength & Conditioning Research* 27 (8): 2319–2322.
- Glazier, Paul S. 2010. "Game, Set and Match? Substantive Issues and Future Directions in Performance Analysis". *Sports Medicine* 40, numero 8 (elokuu): 625–634.
- Hughes, Mike D, ja Roger M Bartlett. 2002. "The use of performance indicators in performance analysis". *Journal of sports sciences* 20 (10): 739–754.
- Hymers, Matthew. 2014. "In a bid to win the World Cup: DFB team makes the most of cutting edge technology". <http://blog.adidas-group.com/2014/07/in-a-bid-to-win-the-world-cup-dfb-team-makes-the-most-of-cutting-edge-technology/>.
- Kari, Tuomas. 2011. *Liikuntateknologia kilpasuunnistajan harjoittelun ohjaajana ja motivaattorina*.
- Karkazis, Katrina, ja Jennifer R. Fishman. 2017. "Tracking U.S. Professional Athletes: The Ethics of Biometric Technologies". *The American Journal of Bioethics* 17 (1): 45–60.
- Krivickas, Lisa S. 1997. "Anatomical factors associated with overuse sports injuries". *Sports medicine* 24 (2): 132–146.
- Kuper, Gerard H, ja Elmer Sterken. 2003. "Endurance in speed skating: The development of world records". *European Journal of Operational Research* 148 (2): 293–301.
- Lee, Beom-Chan, Jeonghee Kim, Shu Chen ja Kathleen H Sienko. 2012. "Cell phone based balance trainer". *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 9 (1): 10.
- Liebermann, Dario G., Larry Katz, Mike D. Hughes, Roger M. Bartlett, Jim McClements ja Ian M. Franks. 2002. "Advances in the application of information technology to sport performance". *Journal of Sports Sciences* 20 (10): 755–769.

- Malkinson, Terrance. 2009. "Current and emerging technologies in endurance athletic training and race monitoring". Teoksessa *Science and Technology for Humanity (TIC-STH), 2009 IEEE Toronto International Conference*, 581–586. IEEE.
- McGinnis, Peter. 2013. *Biomechanics of sport and exercise*. Human Kinetics.
- Moilanen, Panu. 2014. "Kannustin, koriste vai kuntoilijan kaveri? - Liikuntateknologia on yhä useamman arkea." *Liikunta & Tiede* 51 (5): 12–17.
- O'Donoghue, Peter. 2009. *Research methods for sports performance analysis*. Routledge.
- Page, Thomas. 2015. "Applications of Wearable Technology in Elite Sports". *i-manager's Journal on Mobile Applications and Technologies* 2, numero 1 (helmikuu): 1–15.
- Petovello, Mark G. 2003. *Real-time integration of a tactical-grade IMU and GPS for high-accuracy positioning and navigation*. Citeseer.
- Rawashdeh, Samir A, Derek A Rafeldt ja Timothy L Uhl. 2016. "Wearable IMU for shoulder injury prevention in overhead sports". *Sensors* 16 (11): 1847.
- El-Rabbany, Ahmed. 2002. *Introduction to Gps: The Global Positioning System*. Artech House.
- Scott, Macfarlane TU, Tannath J Scott ja Vincent G Kelly. 2016. "The validity and reliability of global positioning systems in team sport: a brief review". *The Journal of Strength & Conditioning Research* 30 (5): 1470–1490.
- Vainio, Tuukka. 2016. "Inertiamittausjärjestelmä".
- Valkama, Juha, ym. 2006. "GPS-järjestelmän rakenne ja toimintaperiaate".
- Valovich McLeod, Tamara C, Laura C Decoster, Keith J Loud, Lyle J Micheli, J Terry Parker, Michelle A Sandrey ja Christopher White. 2011. "National Athletic Trainers' Association position statement: prevention of pediatric overuse injuries". *Journal of athletic training* 46 (2): 206–220.