



Suvi Tarvainen

Puettava teknologia jalkapalloilijoiden suorituskyvyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyn tukena

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Hyvinvointi- ja terveysteknologia

Insinöörityö

7.5.2026

Tiivistelmä

Tekijä:	Suvi Tarvainen
Otsikko:	Puettava teknologia jalkapalloilijoiden suorituskyvyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyn tukena
Sivumäärä:	31 sivua + 1 liitettä
Aika:	7.5.2026
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine:	Hyvinvointi- ja terveysteknologia
Ohjaajat:	Yliopettaja Mikael Soini

Tässä insinööriyössä selvitettiin, miten puettava teknologia tukee jalkapalloilijoiden suorituskykyä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyä. Näkökulmiksi otettiin, mitkä tekijät tukevat suorituskykyä, mitkä loukkaantumisten ennaltaehkäisyä sekä miten valmennus ja huoltotiimi hyötyvät puettavasta teknologiasta.

Työ toteutettiin narratiivisena kirjallisuuskatsauksena, jossa tutkimusaineisto kerättiin systemaattisesti ja tutkimuskysymykseen vastaten. Lopulta aineistoon valittiin kahdeksan artikkelia, joista kuusi on vertaisarvioituja konferenssiartikkeleita, yksi kirjan luku ja yksi vertaisarvioitu tutkimusartikkeli.

Tulokset osoittivat, että puettavasta teknologiasta yhdessä koneoppimisen kanssa on huomattavaa hyötyä jalkapalloilijoiden suorituskyvyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyn tukena. Inertiamittausyksikkö (IMU, Inertial Measurement Unit), GPS-paikannus (Global Positioning System) ja fysiologisia muuttujia mittaavat teknologiat pystyvät seuraamaan reaaliaikaisesti keskeisimpiä suorituskykymuuttujia. Yhdessä ne tukevat jalkapalloilijoiden suorituskykyä niin yksilö- kuin joukkuetasollakin. Keskeisin tekijä loukkaantumisten ennaltaehkäisyssä on harjoituskuorman hallinta. Äkilliset muutokset kuormituksessa tai liian suuri kokonaiskuormitus ilman riittävää palautumista lisäävät merkittävästi loukkaantumisriskiä. Puettavan teknologian avulla voidaan havaita biomekaaniset poikkeamat jo ennen loukkaantumisten syntymistä.

Avainsanat: Puettava teknologia, jalkapallo, suorituskyky, loukkaantumisten ennaltaehkäisy

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Suvi Tarvainen
Title: Wearable technology to support football players performance and injury prevention
Number of Pages: 31 pages + 1 appendices
Date: 7 May 2026

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Information and Communication Technology
Professional Major: Health Technology
Supervisors: Mikael Soini, Principal Lecturer

This thesis examined how wearable technology supports the performance of football (soccer) players and the prevention of injuries. The perspectives included identifying which factors enhance performance, which contribute to injury prevention, and how coaching and support staff benefit from wearable technology.

The study was conducted as a narrative literature review, in which the research material was collected systematically in order to address the research question. In total, eight articles were selected for the analysis: six peer-reviewed conference papers, one book chapter, and one peer-reviewed research article.

The results showed that wearable technology, combined with machine learning and artificial intelligence, provides significant benefits in supporting both player performance and injury prevention. Inertial Measurement Units (IMUs), GPS tracking, and physiological monitoring technologies are capable of tracking key performance variables in real time. Together, these technologies support football players' performance at both the individual and team levels.

A key factor in injury prevention is the management of training load. Sudden changes or excessive overall load without sufficient recovery significantly increase the risk of injury. Wearable technology enables the detection of biomechanical abnormalities even before injuries occur.

Keywords: Wearable technology, football, performance, injury prevention

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jalkapalloilijan suorituskykyyn vaikuttavat tekijät	2
2.1	Fyysinen suorituskyky	2
2.2	Kognitiivinen kuormitus	4
2.3	Palautuminen	7
2.4	Kuormituksen vaikutus suorituskyvylle ja palautumiselle	8
2.5	Jalkapalloilijoiden yleisimmät vammat	8
3	Puettavat teknologiat	12
4	Kirjallisuuskatsaus	15
4.1	Narratiivinen kirjallisuuskatsaus	15
4.2	Tutkimuskysymys ja tarkoitus	16
4.3	Tiedonhaku	17
4.4	Tutkimukseen valitut materiaalit	18
4.5	Tutkimusmateriaalin analysointi	20
5	Tulokset	20
5.1	Puettava teknologia suorituskyvyn tukena	20
5.2	Puettava teknologia loukkaantumisten ennaltaehkäisyn tukena	22
5.3	Puettava teknologia valmennuksen ja huoltotiimin tukena	23
6	Pohdinta	24
6.1	Puettavien teknologioiden käyttö jalkapallossa	24
6.2	Tulevaisuuden kehityssuunnat	25
6.3	Kirjallisuuskatsauksen luotettavuus ja laatu	26
6.4	Jatkotutkimusehdotukset	26
7	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

Liitteet

Liite 1: Kirjallisuuskatsauksen hakutulokset

Lyhenteet

- ACL: *Anterior cruciate ligament*. Polven eturistiside, joka vakauttaa polvinivelen.
- EEG: *Elektroenkefalografia*. Aivosähkökäyrä, joka mittaa aivojen sähköistä toimintaa.
- EKG: *Elektrokardiografia*. Mittaa sydämen sähköistä toimintaa. Sen avulla saadaan tietoa sydämen rytmistä, syketaajuudesta, rytmihäiriöistä ja hapen puutteesta.
- EMG: *Elektromyografia*. Lihassähkökäyrä, joka mittaa lihasten sähköistä aktiivisuutta.
- FIFA: *Fédération Internationale de Football Association*. Lyhenne tulee ranskan kielestä. Suomessa kutsutaan kansainväliseksi jalkapalloliitoksi.
- GNSS: *Global Navigation Satellite System*. Satelliittipohjainen paikannusjärjestelmä. Urheilussa sitä käytetään sijainnin, nopeuden ja kuljetun matkan seuraamiseen.
- GPS: *Global Positioning system*. Satelliittipohjainen paikannusjärjestelmä.
- GSR: *Galvanic Skin Response*. Fysiologiassa tarkoittaa ihon sähkönjohtavuuden muutosta.
- IEEE: *Institute of Electrical and Electronic Engineers*. Maailman suurin teknillinen ammattilaisjärjestö.
- IET: *Institution of Engineering and Technology*. Maailmanlaajuinen insinöörien ja teknologia-alan ammattilaisten ammattijärjestö.

- IMU: *Inertial Measurement Unit*. Inertiamittausyksikkö on laite, joka mittaa kulmanopeutta ja lineaarista kiihtyvyyttä kolmella eri liikeakselilla.
- MEMS: *Micro-Electro-Mechanical Systems*. Tarkoittaa mikrosähkömekaanisia järjestelmiä, joissa mekaaniset ja elektroniset komponentit on integroitu yhdelle piisirulle mikromittakaavassa.
- MET: *Metabolic Equivalent*. Metabolinen ekvivalentti. Kuvaa fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa lisääntyntä energiankulutusta verrattuna lepotasoon.
- PCL: *Posterior cruciate ligament*. Polvessa sijaitseva vahva nivelside, joka yhdistää reisiluun sääriluuhun.
- PPG: *Photoplethysmography*. Puettavissa teknologioissa käytetty anturi, joka mittaa veren tilavuusmuutoksia.

1 Johdanto

Jalkapallo on yksi maailman pelatuimmista urheilulajeista, jossa tapahtuu paljon loukkaantumisia. Niistä toipumiseen menee usein pitkiä aikoja. Lajissa menestymiseen vaikuttaa vahvasti myös pelaajien suorituskyky. Puettavia teknologioita on alettu käyttää lisääntyvästi huippu- ja harrasteurheilussa. Niiden avulla voidaan kerätä tietoa urheilijoiden liikkumisesta, fysiologiasta sekä biomekaanisista tekijöistä.

Jalkapallossa pelaajien fyysinen kuormitus on korkea, koska lajille on ominaista toistuvat spurtit, äkilliset suunnan muutokset, hyppyt sekä kontaktitilanteet, mitkä altistavat pelaajat loukkaantumisille. Jalkapallossa on viime vuosien aikana alettu hyödyntää puettavia teknologioita pelaajien kuormituksen, liikkumisen ja palautumisen seurannassa. Esimerkkejä teknologioista ovat GPS-pohjaiset (Global Positioning System) paikannusanturit, kiihtyvyyssanturit sekä sykeanturit. Näillä teknologioilla kerätään tietoa pelaajien fyysisestä suorituskyvystä, ja niillä tiedoilla voidaan arvioida pelaajan kuormitustaso sekä tunnistaa mahdollinen ylikuormitus. Nämä tekijät auttavat ennaltaehkäisemään loukkaantumisia.

Kiinnostus aiheeseen heräsi insinööriopintojen pääaineen hyvinvointi- ja terveysteknologian projektikurssilla, jossa perehdyimme Movesense-sensoriin alaraajalinjauksen seurannassa. Harrastan jalkapalloa. Urheiluharrastukseni myötä olen kiinnostunut aktiivisuusrannekkeista ja muista puettavista teknologioista.

Tässä insinööriyössä kerrotaan jalkapalloilijoiden suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä ja yleisimmistä vammoista sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi se avaa fysiologisia- ja biomekaanisia muutoksia mittaavat teknologiat sekä paikannusteknologiat, joita kirjallisuuskatsauksen artikkeleissa käytetään suorituskyvyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyn seurannassa. Tutkimus vastaa kysymykseen: ”Miten puettava teknologia tukee jalkapalloilijoiden suorituskykyä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyä”.

2 Jalkapalloilijan suorituskykyyn vaikuttavat tekijät

2.1 Fyysinen suorituskyky

Kuormittavuus eli intensiivisyys kuvaa lihastyön elimistölle aiheuttamaa fysiologista rasitusta. Sitä voidaan mitata objektiivisesti (perustuu todistettavissa oleviin tosiasioihin) ja luokitella eri tasoihin. Aerobisen liikunnan eli kestävyysliikunnan kuormitus määritellään hapenkulutuksen, energiakulutuksen tai sydämen syketaajuuden perusteella. [1.]

Kestävyysliikunnan tulokset voidaan luokitella kuusiportaisella asteikolla hyvin kevyestä maksimaaliseen. Kuormittavuusasteikko ilmaistaan MET (Metabolic Equivalent) -luvulla, ja se ilmaisee liikunnan kuormittavuutta suorituksen aikaisen energiakulutuksen ja perusaineenvaihdunnan energiakulutuksen suhteena. Perusaineenvaihdunnaksi kutsutaan energiaa, jota keho kuluttaa välttämättömiin elintoimintoihin. [1.]

MET-asteikossa 1,0 on arvo, mikä vastaa lepotilaa, jolloin hapenkulutus on 3,5 ml/kg/min. Rasittavaksi liikunnaksi lasketaan, kun MET-arvo on vähintään 6. [2.] Liikunnan kuormittavuus ja rasittavuus käypähoitosuosituksen mukaan jalkapallo kilpailutasolla lasketaan rasittavaksi liikunnaksi ja siinä MET-arvo on yli 7,5. [1.]

Kestävyys kuvaa elimistön kykyä ylläpitää lihastyötä ja selviytyä rasituksesta väsymättä. Ominaisuutta tarvitaan arjessa sekä eri liikunnan muodoissa. Kestävyyskunto käsittää hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskyvyn sekä luurankolihas-aineenvaihdunnan. [3.]

Kestävyyslajien kilpailusuoritukset voivat kestää muutamista minuuteista useisiin tunteihin, ja se asettaa elimistön toiminnalle erilaisia vaatimuksia myös energia-aineenvaihdunnalle. Elimistö voi tuottaa energiaa lihaksille hapen avulla tai ilman. Kestävyysurheilussa elimistö tuottaa energiaa hiilihydraateista ja rasvoista pääosin aerobisesti eli hapen avulla. Suorituskyky kestävyyslajeissa kasvaa, mitä tehokkaammin happea kuljetetaan lihaksille ja miten tehokkaasti

lihakset pystyvät sitä hyödyntämään. Vaikuttavat tekijät hapensiirtoketjussa ovat keuhkojen, sydämen, verenkierron ja lihassolujen ominaisuudet. [3.]

Jalkapallo on fyysisesti monipuolinen laji, joka vaatii nopeutta, ketteryyttä, voimaa, kestävyyttä ja taidollisia ominaisuuksia pelaajaltaan [4].

Nopeus

Ratkaisevan tärkeää jalkapallossa on juoksunopeus. Juoksunopeudella ratkaistaan, kumpi joukkue saa pallon haltuunsa. Lisäksi vastahyökkäystilanteessa pelaajien on pystyttävä juoksemaan kentän toiseen päähän spurtaten puolustusvelvoitteeksi. Jalkapallo vaatii tänä päivänä pelaajaltaan täyden vauhdin juoksuja ja spurtin onnistumiseen vaaditaan vartalon rentoutta. [5, s.170–172.]

Jalkapallossa vauhti on kasvanut vuosien varrella tarkoittaen, että tilaa ja aikaa pallon kanssa on vähemmän. Haltuunottojen ja laukausten on lähdettävä nopeasti. Pelaajalla on oltava hyvä tasapaino, koordinaatiokykyä ja ennen kaikkea nopeutta hyödyntääkseen kaikkia jalkapalloon liittyviä taitoja pelitilanteissa. [5, s.173.]

Voima ja kestävyys

Liikevoimaa hyödynnetään nopeassa liikkeessä. Tällaista voimaa tarvitaan käsien ja jalkojen lihaksissa. Tilanteet jalkapallossa, jossa liikevoima pääsee oikeuksiinsa ovat rajaheitot, käännökset, laukaukset, spurtit sekä hypyt. [5, s.176.]

Vahvat jalkalihakset heijastuvat kaikkiin jalkapallon osa-alueisiin. Vahvat reidet ja pohkeet auttavat spurteissa, laukauksissa ja hypyissä, mutta niitä hyödynnetään myös nopeissa käännöksissä ja pallon suojaamisessa. Maalivahdit hyödyntävät vahvoja jalkalihaksia heittäytyessään torjunnassa sekä myös spurtatessaan. [5, s.177.]

Jalkapallohistorian parhaimmat pelaajat ovat olleet niin sanotusti yksijalkaisia eli toinen jalka on dominoivampi. Tänä päivänä pelikentillä tarvitaan molempijalkaisuutta, ja se parantaakin laukauksia, syöttöjä, haltuunottoja, harhautuksia sekä taklauksia. [5, s.178.]

Ketteryys

Jalkapallossa ketteryys koostuu neljästä perustekijästä: nopeudesta, voimasta, tasapainosta ja koordinaatiokyvystä. Ketteryys mahdollistaa vastustajasta irtautumisen, taklausten väistämisen sekä harhauttamisen onnistuneesti. [5, s.180.]

Jalkapalloilija tarvitsee myös nopean reagointikyvyn. Sekunnin murto-osan ero reaktionopeudessa voi olla ratkaiseva tekijä onnistumisen ja epäonnistumisen välillä. Hyvä reaktionopeus koostuu henkisestä ja fyysisestä terävyydestä. Ominaisuudet, jotka parantavat reaktioita pelitilanteissa, ovat ennakointi, keskittymiskyky ja määrätietoisuus. [5, s.182.]

Tasapaino on jalkapalloilijalle myös tärkeä ominaisuus, mitä hyödynnetään paljon muussakin kuin pystyssä pysymiseen. Tasapainoa tarvitaan lauottaessa volleytä korkeasta pallosta ja harhautustilanteissa, joissa vartalon painopiste siirtyy puolelta toiselle. Erinomaista tasapainoa vaaditaan myös puolustuspelissä. [5, s.184.]

Ensisijaisen tärkeää suorituskyvyn kehittymisen kannalta on löytää tasapaino harjoittelun ja palautumisen välille. Elimistö vaatii riittävästi palautumisaikaa harjoittelun ja elämän tuomien fysiologisten sekä psyykkisten kuormitusten rinnalle. Palautumisaika takaa, ettei liiallinen kuormitus heikennä suorituskykyä. [6.]

2.2 Kognitiivinen kuormitus

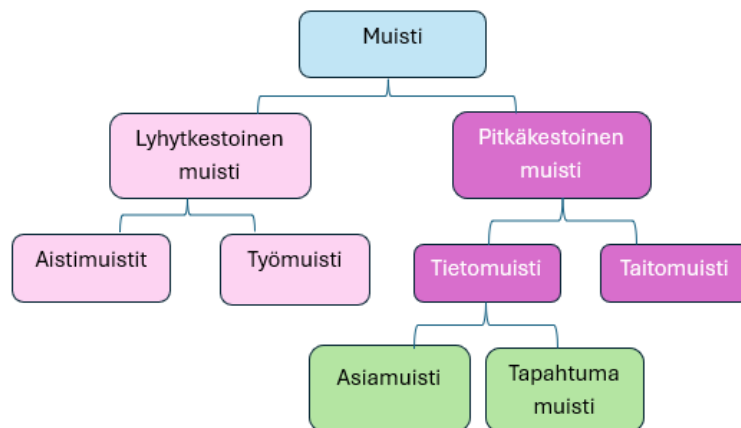
Kognitiivinen toimintakyky selittää tiedonkäsittelyyn liittyviä psyykkisiä toimintoja, jotka toimivat vuorovaikutuksessa ja takaavat ihmisen toiminnan arjen

tilanteissa. Näihin toimintoihin kuuluvat erityisesti tiedon vastaanottaminen, käsittely, muistaminen ja tiedon tarkoituksenmukainen käyttö. [7.]

Kognitiiviset vaatimukset voivat liittyä muistamiseen, päätöksentekoon ja ongelmanratkaisuun. Kognitiivinen kuormitus ei kuitenkaan aina ole negatiivista. Sopiva kuorma voi auttaa motivaatioon, ja se voi innostaa sekä haastaa positiivisesti. [8.]

John Swellerin kognitiivisen kuormitusteorian mukaan oppiminen tehostuu, kun oppimistilanteet räätälöidään tukemaan yksilön aivojen luonnollista tapaa käsitellä tietoa eikä niinkään lisäämällä informaation määrää. Kognitiiviseksi kuormitukseksi voidaan sanoa tietomäärää, jota työmuisti ei pysty kerralla käsittelemään. [9.]

Swellerin teoriassaan pitkäaikaisen muistin sisältö on hienovaraisia rakenteita, jonka avulla havaitsemme, ajattelemme ja ratkomme ongelmia. Nämä muistikaaviot mahdollistavat monien elementtien käsittelyn yhtenä. Tietoperustamme muodostuu näistä kaavioista (kuva 1) [9.]



Kuva 1. Muistikaavio. [Mukaillen 10.]

Oppiminen vaatii muutoksia pitkäkestoisen muistin kaaviorakenteisiin, mikä johtaa vähitellen paraneviin suorituksiin. Kognitiiviset rakenteet järjestyvät aivoissa

uudelleen, kun aihe tulee tutummaksi. Tämän myötä työmuisti pystyy käsittelemään tietoa aiempaa tehokkaammin pienemmällä kuormituksella. [9.]

Jarskeen (02.2025) laatimassa koontitutkimuksessa todetaan, että kognitiivinen kuormitus voi altistaa polvivammoille. Eri lajeissa kuten esimerkiksi jalkapallossa pelaajan täytyy tehdä nopeita päätöksiä ennakoimattomissa urheilutilanteissa. Ennakoimattomuus ja lajin monimutkaisuus lisäävät pelaajien kognitiivista kuormitusta, mikä voi saada alaraajojen biomekaniikan muuttumaan. Se altistaa pelaajat useiden muiden yhdistettyjen muuttujien kanssa polven eturistisidevammoille. [11.]

Tutkimus toteutettiin 670 osallistujalla, jossa tutkittavat suorittivat urheilutilanteissa lajilleen tyypillisiä suunnanmuutoksia sekä yhden ja kahden jalan alastuloja. Kognitiivista kuormitusta testattiin liikkeiden tekniikalla, jotka annettiin joko ennakkoon tai ennakoimattomasti. Kognitiivista kuormitusta lisättiin esimerkiksi häiriötekijöillä tai vähentämällä ympäristöstä saatavia näköhavaintoja. [11.]

Tutkimus osoitti, että urheilutilanteen ennakoimattomuus tai monimutkaisuuden lisääntyminen muutti alaraajan biomekaniikkaa suunnanmuutoksissa kuin alastuloissakin. Muutoksissa tutkittavat tuottivat suurempaa voimaa alustaan urheilutilanteessa, ja polven sekä lonkan nivelkulmat olivat suuremmat, kun taas nilkan ojennuskulmat olivat pienemmät. Muutos kognitiivisessa kuormituksessa lisäsi myös polven ja lonkan nivelmomentteja, minkä perusteella voidaan todeta kognitiivisen kuormituksen kohdistavan alaraajoihin suurempaa voimaa. [11.]

Kognitiivisen kuormituksen vaikutuksia alaraajojen biomekaniikkaan voidaan vähentää pelitilanteiden säännöllisellä harjoittelulla. Lisäksi kognitiivista kuormitusta lisäävät harjoitteet urheilijan tai harrastajan ohjelmassa voisivat olla hyödyllisiä, koska niillä voidaan tunnistaa suuremman loukkaantumisriskin pelaajat. [11.]

2.3 Palautuminen

Elimistön tasapainotila horjuu fyysisen harjoittelun seurauksena. Palautumisaikana harjoittelun kohteena ollut ominaisuus kehittyy, jos harjoitteluärsyke on ollut riittävä. [6.]

Runsaasta ja kovatehoisesta harjoittelusta aiheutuu väsymystä, kehon lämpötilan nousua ja nestehukkaa sekä glykogeenivarastojen pienemistä kuin pehmytkudosvaurioitakin. Glykogeenivarasto on elimistön hiilihydraattivarasto. Nämä tekijät yhdessä heikentävät keskus- ja ääreishermoston sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa ja vaikuttavat lisäksi lämmönsäätelyyn, immuunipuolustukseen sekä hormonitoimintaan. Palautumisen tavoitteena on palauttaa elimistön tasapainotila eli homeostaasi. Homeostaasin palautumiseen kuuluvat myös neste- ja energiavajeen sekä lihasvaurioiden korjaaminen. [6.]

Kaksi tärkeintä fyysisen ja psyykkisen kuormituksen palautumisen tekijää ovat uni ja lepo. Lisäksi riittävän energiansaannin katsotaan olevan merkittävä tekijä palautumisen edistämiseksi. Ravinnon syöminen kahden tunnin kuluessa harjoittelusta auttaa palauttamaan nopeammin lihasten energiavarastot. On myös tärkeää huolehtia nestetasapainon palauttamisesta. [6.]

Palautumista voidaan mitata sykevälivaihtelun seurannalla. Sykevälivaihtelulla (HRV, heart rate variability) tarkoitetaan sydämen peräkkäisten lyöntien välistä ajallista vaihtelua. Matala sykevälivaihtelu indikoi kuormittuneisuutta ja korkeampi sykevälivaihtelu puolestaan parempaa suorituskykyä. [12.] Suuren sykevälivaihtelun voidaan todeta kertovan hyvästä sydänterveydestä sekä hyvästä aerobisesta kunnosta. [6.]

Sykevälivaihtelua säätelee autonominen hermosto ja erityisesti parasympaattisen hermoston haara. Vaihtelu on suurinta levossa ja pienenee fyysisen suorituksen lisääntymisen seurauksena. [6.]

2.4 Kuormituksen vaikutus suorituskyvylle ja palautumiselle

Ylikuormituksesta puhutaan silloin, kun urheilija ei palaudu harjoittelusta tai kilpailuista normaalisti, ja hänen fyysinen sekä mahdollisesti myös psyykinen suorituskyky ovat heikentyneet. Ylikuormituksen aiheuttava tekijä on alipalautuminen, johon vaikuttaa urheilijan heikentynyt palautumiskyky. Heikentyneeseen palautumiskykyyn voivat vaikuttaa esimerkiksi sairaus, huono ravinto tai riittämättömän palautumisaika suoritusten välillä. Pitkittynyt ylikuormitus aiheuttaa heikentyneen suorituskyvyn, mikä johtuu hermostollisista ja aineenvaihdunnallisista muutoksista elimistössä. [13.]

Ylikuormitustila, josta Suomessa käytetään termiä ylikunto, on seurausta liiallisesta fyysisestä tai kognitiivisesta kuormituksesta yksilölliseen sopeutumiskykyyn nähden. Tässä tilassa aineenvaihdunta on hajottavaa/kuormittavaa ja elimistö on hälytystilassa. [13.]

Ylikuormitusta on tutkittu aktiivisesti pitkään, mutta tilan patofysiologinen tieto on rajallista edelleenkin [13]. Patofysiologia tarkoittaa oppia sairaan elimistön toiminnasta ja häiriöistä [14]. On kuitenkin pystytty selvittämään, että autonominen hermosto ja stressihormonijärjestelmä liittyvät tilan kehittymiseen. Ylikuormitustilan on myös todettu aiheuttavan vajaatoimintaa lisämunuaisissa, aivolisäkkeessä ja hypotalamuksessa. Nämä vajaatoiminnat kuitenkin palautuvat ylikuormitustilan parantuessa. [13.]

2.5 Jalkapalloilijoiden yleisimmät vammat

Tutkimusten mukaan nuoruudessa harrastettu jalkapallo on yhteydessä monipuolisiin terveyshyötyihin. Se kehittää kestävyyskuntoa, motorisia taitoja, itsetuntoa ja auttaa jatkamaan fyysisesti aktiivista elämää myös aikuisuudessa. Valitettavasti jalkapallon harrastamiseen liittyy myös kohonnut urheiluvammojen riski. [4.] On tehty tutkimuksia, joissa on selvitetty pelaajien henkilökohtaisista ominaisuuksista johtuvia tai ympäristöstä johtuvia riskitekijöitä

loukkaantumisille, mutta vammojen syntymiseen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu harvemmin. [15.]

Jalkapallo on nopeampoinen ja paljon energiaa vaativa laji, joka altistaa pelaajan loukkaantumisille. Lajissa vammat voivat syntyä esimerkiksi seuraavissa tilanteissa [16.]:

- kiertyminen ja nopea suunnanmuutos
- hyppääminen tai alastulo
- kontaktitilanteet
- aiempi loukkaantuminen
- lihaksien ylikuormitus sekä
- heikko palautuminen, jossa kuormitusta liikaa ja liian nopeasti.

Yleisimmät vammat kohdistuvat alaraajoihin, mutta jalkapallossa sattuu myös ranteen ja käden vammoja sekä myös aivotärähdyksiä. Laji altistaa myös akillesjänteen rasitusvammoille, takaristisidevammoille (Posterior cruciate ligament, PCL), pohjevammoille, kierukkavammoille, penikkataudille eli säären kivulle, mikä johtuu rasituksesta ja etureiden venähdyksille. Mutta yleisimmät jalkapallossa syntyneet vammat ovat [16]:

- nilkan nyrjähdys
- polvivammat, joista yleisin on eturistisidevamma (anterior cruciate ligament, ACL)
- takareiden ja nivusen revähdys

Nilkan nyrjähdys

Nilkka nyrjähtää yleisimmin, kun jalka kääntyy äkillisesti liikaa sisäänpäin. Nyrjähdyksessä nilkan ulkosivulla olevat nivelsiteet venyvät normaalin liikelaajuuden yli ja repeävät. Pahimmissa tapauksissa nilkan nyrjähdyksessä voi vaurioitua useampi kuin yksi nivelside. Joskus myös nilkan luut voivat vaurioitua tai murtua. [17.]

Nilkan nyrjähdyksestä aiheutunut nivelsidevamman toipuminen vaihtelee sen vaikeusasteen mukaan. Vaikeusasteet luokitellaan asteilla 1–3, joista 1. asteen vamma on lievin ja 3. asteen vamma on vakavin. Toipumiseen vaikuttaa kuntoutus ja oma motivaatio. Tavallinen askellus kivuttomasti onnistuu yleensä kahdeksan viikon kuluttua. Juokseminen voi onnistua jo kuuden viikon kuluttua, mutta siihen voi kulua aikaa jopa kuusi kuukautta. [18.] Nivelsiteen korjaus leikkaamalla vaatii toipumiseen ainakin kolme kuukautta [19, s.157]. Lajille on ominaista äkilliset suunnanmuutokset ja voimakkaat ponnistelut, mikä tarkoittaa, että nilkan on oltava täysin kuntoutunut ennen pelikentille palaamista. Vamman uusimisen ennaltaehkäisemiseksi suositellaan palaamista kilpailuihin vasta siten kuin täysitehoiset harjoitukset sujuvat. [18.]

Jalkapallossa nilkan nyrjähdyksille altistaa epätasainen alusta ja nopeat suunnanmuutokset. Silloin nilkka kääntyy sisään- tai ulospäin, mikä johtaa nivelsiteiden liialliseen venymiseen ja pahimmillaan katkeamiseen. [16; 18.]

Eturistisidevamma

Polven eturistisiteen repeäminen on yleisin vakava polvivamma, varsinkin lajeissa, joissa on paljon nopeita suunnanmuutoksia kuten jalkapallossa [20]. ACL-nivelside on tärkeä, sillä se ylläpitää polven vakautta [16]. ACL-vammat ovat 3–5 kertaa yleisimpiä naisilla kuin miehillä [20].

Eturistisidevammoja voidaan hoitaa konservatiivisesti (kuntoutuksella), josta toipumiseen menee yleisesti ottaen 2–3 kuukautta. Jalkapallon polveen kohdistaman kovan kuormituksen takia päädytään usein leikkaushoitoon, josta toipuminen kestää vähintään kuusi kuukautta. Reisilihasten vahvistuminen samalle voimatasolle kuin terve puoli vie aikaa yleensä yli vuoden. [21.] Vakavammissa tapauksissa ristositeiden repeäminen voi olla myös riski urheilu-uran jatkumiselle [20]. Liiankin usein vamma uusiutuu samaan tai toiseen polveen [22].

ACL-vamman syntymiselle jalkapallossa johtaa yleensä hypyn alastulo tai suunnanmuutos. Silloin paino on lähes täysin yhden jalan varassa ja sen jalan polvi

lähes täysin ojennettuna. [20.] Eturistiside vaurioituu yleisimmin, kun sääri pysyy paikallaan ja reisi kiertyy [16].

Takareiden revähdys

Takareiden revähdys kohdistuu tyypillisimmin lihas-jänneliitokseen. Revähdys syntyy juoksun, hypyn tai yllättävän venytyksen aikana. Revähdykseen vaikuttavaa tekijää kutsutaan eksentriseksi vaiheeksi eli vaihe, jossa lihas pitenee esimerkiksi juoksun aikana. Tämän kaltaiset vammat sattuvat yleisesti ottaen ilman kontaktia toiseen urheilijaan, pelivälineeseen tai alustaan. Lisäksi takareiden vammat ovat yleisempiä miehillä kuin naisilla. [23.]

Revähdyksestä toipuminen on hidasta ja vammat uusiutuvat herkästi, joten oikea-aikainen urheilun pariin palaaminen katsotaan tärkeäksi. Lisäksi vammojen ennaltaehkäisyyn ja kuntoutukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. [23.] Paraneminen revähdyksestä kestää kahdesta kuuteen viikkoa, mutta raskaampaan harjoitteluun voidaan siirtyä vasta kuin lihaksen voima ja venyvyys on normaali eli noin 3–6 viikon kuluttua [24].

Nopeat suunnanmuutokset ja nopeuden muutokset altistavat takareisiä revähdyksille, sillä takareisi tuottaa voimaa kiihdytyksessä. Takareiden lihas voi ylikuormittua ja revähtää, mikäli se ei ole tarpeeksi vahva tai sen liikkuvuus on rajoittunut. [16.]

Takareisi voi revähtää pyrähdystyyppisesti tai venytystyyppisesti. Pyrähdystyyppiset vammat syntyvät takareiden oltua aktivoituna voimakkaimmin eli juoksun kantaiskuvaiheessa tai askeleen heilahdusvaiheen lopussa. Silloin vaurioituu kaksipäisen reisilihaksen pitkä pää ja näitä vammoja myös ovat noin 70 % jalkapalloilijoiden takareisilihavammoista. Ne myös yleensä paranevat nopeasti. Venytystyyppiset vammat taas syntyvät, kun lonkka koukistuu ja polvi ojentuu samanaikaisesti esimerkiksi korkean potkun aikana. Silloin vaurioituu puolikalvoisen lihaksen jänne. Tämän tyyppiset vammat taas paranevat hitaasti. [23.]

Nivusen revähdyks

Kun puhutaan lantion, nivusen ja lonkan vammoista, tarkoitetaan yleisesti ottaen lonkan lähentäjälihakseen revähdyksistä. Lähentäjät sijaitsevat sisäreidellä. Niiden tehtäviin kuuluu reiden lähentäminen ja lonkan stabilointi. [25.]

Toipuminen nivusvammasta riippuu sen vakavuudesta sekä sijainnista. Toipumiseen voi mennä 1–12 viikkoa. Nivusrevähdyksen uusiutumiselle on suuri riski, joten on tärkeää kuntouttaa se fysioterapeutin tai lääkärin ohjeiden mukaisesti. Uusiutumisen riskiä lisää myös liian aikainen pelikentille palaaminen. [25.]

Nivusen revähdykselle jalkapallossa altistaa potkiminen, kääntyminen, juokseminen sekä hyppääminen [16]. Nivusen revähdykseen altistavat yleensä äkilliset laukaisutilanteet maalia kohden sekä nopeat suunnanmuutokset. Nivusen vamma voi kuitenkin alkaa myös vähitellen, jolloin se voi olla merkki rasitusvammasta tai aiheuttaja voi olla monen syyn summa. [25.]

Tutkimusten mukaan henkilökohtaisista ominaisuuksista riskitekijöitä vamman synnylle ovat korkeampi ikä, pitkä peliura sekä aiemmat vammat. On myös tutkittu, että nilkan tai polven mekaaninen epävakaus, nivelten löysyys sekä epänormaalit liikeradat altistavat uusille vammoille jalkapallossa. Ulkoisien ominaisuuksien riskitekijöitä loukkaantumisille taas ovat vähäinen harjoittelu sekä otteeluihin osallistuminen puutteellisilla pelitaidoilla. Lisäksi pelaaminen kovalla ja suuren kitkan alustoilla lisäävät loukkaantumisen riskiä. Ennaltaehkäisevien toimenpiteiden kehittämiseksi on tärkeää ymmärtää yksilölliset riskitekijät vamman synnylle jalkapallossa. [15.]

3 Puettavat teknologiat

Nykyään yhä useampi kansallinen ja ammattilastason urheilujoukkue hyödyntää puettavia teknologioita suorituskyvyn kokonaisvaltaisessa optimoinnissa niin harjoittelussa kuin kilpailuissakin. Lisäksi niitä hyödynnetään biomekaanisen ja fysiologisen tiedon keräämiseen sekä harjoituskuormituksen seurantaan. [26.]

Kansainvälinen jalkapalloliitto FIFA hyväksyi puettavien teknologioiden käytön vuonna 2015 [27, s.101].

Puettavia älyvaatteita voivat olla esimerkiksi hanskat, sukat, uimapuvut, shortsit, T-paidat, housut, leggingsit ja urheiluliivit. Nämä valmistetaan laadukkaista tekstiileistä, jotka sisältävät virtapiirejä, sensoreita sekä muuta elektroniikkaa. Puettavat teknologiat käyttävät tiedonsiirtoon Bluetooth- tai Wifi-yhteyttä. [27, s.101–102.] Jotkin puettavat teknologiat hyödyntävät myös Zigbeetä [26]. Puettavat teknologiat keräävät monenlaista tietoa kuten esimerkiksi juoksunopeutta, lihasaktiivisuutta, hengitystiheyttä, sykettä, hikoilun määrää, lämpötilaa, askeleita, kulutettuja kaloreita mutta myös korkeuseroja [27, s.101–102].

Fysiologiset

Fysiologinen tieto kertoo ihmisen kehossa tapahtuvista biologisista prosesseista, mikä antaa tärkeää tietoa yksilön terveydestä, suorituskyvystä ja yleisestä tilasta. Fysiologista tietoa kutsutaan urheilun kontekstissa biometriseksi dataksi. Yleisimpiä fysiologian mittaamiseen käytettäviä teknologioita ovat elektromyografia (EMG), elektrokardiografia (EKG) ja elektroenkefalografia (EEG). [26.]

Elektromyografia mittaa lihasten sähköistä aktiivisuutta. Teknologian avulla saadaan tietoa lihasten sähkösignaaleista, jotka syntyvät lihasten supistuessa ja rentoutuessa. Signaalien käsittelyn jälkeen saadaan tietoa lihasaktiivisuuden voimakkuudesta, kestosta sekä koordinaatiosta. [26.]

Elektrokardiografia kerää tietoa sydämen sähköisestä toiminnasta ja antaa tietoa sykevälivaihtelusta, rytmihäiriöistä sekä sydän- ja verenkiertoelimistön terveydestä. EKG on tärkeä työkalu urheilijoiden terveydentilan ja suorituskyvyn arvioinnissa, koska sen tulokset heijastuvat autonomiseen hermostoon, energiankulutukseen ja sydämen sopeutumiseen harjoituksiin. [26.]

Pulssioksimetrit mittaavat verenhappipitoisuutta (SpO₂), sykettä sekä veren tilavuusvaihteluita (Photoplethysmography, PPG). Näiden tilaa pystytään

seuraamaan punaisen infrapunavalon avulla, joka reagoi eri tavalla hapettuneeseen ja hapettomaan vereen. [26.]

GSR (Galvanic Skin Response) sensorit mittaavat ihon sähkönjohtavuutta. Sen avulla pystytään havaitsemaan fyysisen rasituksen tilaa. [26.]

Biomekaaniset

Biomekaniikalla tarkoitetaan mekaniikan periaatteiden soveltamista eläviin organismeihin. Se on tutkimusta kudosten ja nivelten tasolla. Biomekaniikka tarkastelee biologisiin järjestelmiin kohdistuvia voimia ja sitä, kuinka ne vaikuttavat ihmiskehoon. [26.]

Tässä yhteydessä liikedatalla tarkoitetaan teknologioiden avulla kerättyä tietoa, joka seuraa luuston liikkeitä ja lihasten aktiivisuutta. Urheilussa yleisimpiä liikkeen mittaamiseen käytettyjä teknologioita ovat inertiamittausyksikkö (Inertial Measurement Unit, IMU), mutta voima- ja EMG-sensoreita voidaan myös hyödyntää. [26.]

IMU on mikroelektromekaaninen (MEMS) anturi, joka koostuu usein kiihtyvyyssanturista, gyroskoopista ja magnetometrasta. Kiihtyvyyssanturilla saadaan tietoa nopeuden muutoksista. Gyroskoopilla mitataan kulmanopeutta. Magnetometrillä saadaan tietoa suunnasta maan magneettikentän avulla. Magnetometrin tehtävänä on toimia tukena, kun yhdistetään kiihtyvyyss- ja gyroskoopidataa liikkeen suunnan ja voiman määrittämiseksi. [26.]

Paikannus

Paikannussensoreita käytetään sijainnin ja liikkeen seuraamiseen. Yleisimpiin paikannusjärjestelmiin kuuluvat globaalit satelliittinavigointijärjestelmät (Global Navigation Satellite System, GNSS) ja UWB (ultra-wideband) – järjestelmät. [26.]

GNSS tarkoittaa satelliittipohjaista paikannusjärjestelmää, joista tunnetuin on GPS. GNSS-vastaanottimen toiminta perustuu sen vastaanottamiin satelliittisignaaleihin, jonka avulla pystytään määrittämään käyttäjän sijainti analysoimalla signaalien ajoitusta ja lähdettä. Urheilussa GNSS-teknologialla saadaan tietoa sijainnista, nopeudesta ja kuljetusta matkasta sekä se soveltuu myös hyvin suoritusanalyysin tekemiseen. [26.]

UWB-paikannusjärjestelmä koostuu lähettimestä ja useammasta vastaanottimesta. Sen toiminta perustuu lyhyiden pulssisignaalien tuottamiseen, joita lähetetään laajalla taajuusalueella. Vastaanottimet analysoivat signaalien saapumisaikaa, voimakkuutta sekä taajuuspektriä, jonka avulla voidaan määrittää sijainti signaalien kulkureitin perusteella. UWB:tä pystytään hyödyntämään IMU-antureiden kanssa esimerkiksi liikkeenkaappaamisessa ja biomekaanisessa analyysissä. Liikkeenkaappauksella tarkoitetaan ihmisen kehon liikkeiden mittaamista ja tallentamista teknologian avulla niin, että liikkeet voidaan analysoida. [26.]

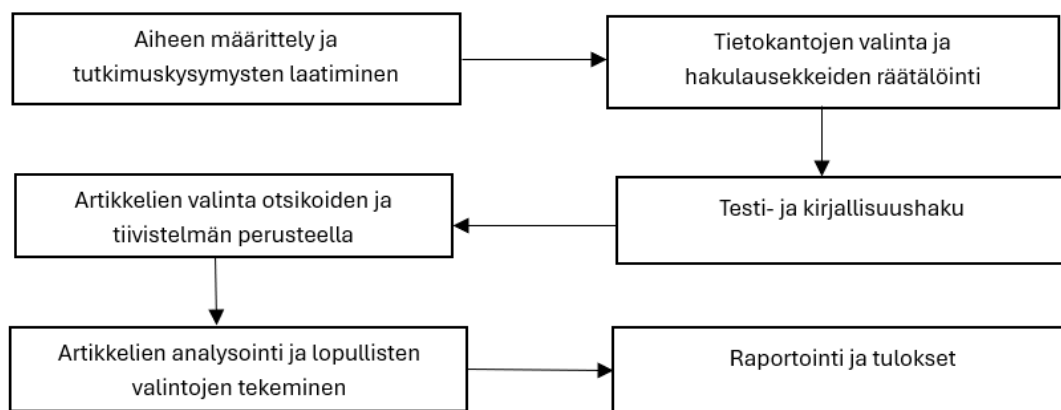
4 Kirjallisuuskatsaus

4.1 Narratiivinen kirjallisuuskatsaus

Tässä insinööriyössä käytetään kuvailevaa narratiivista kirjallisuuskatsausmenetelmää. Jalkapallossa puettavien teknologioiden hyödyntäminen on alkanut lisääntyvässä määrin vasta viime vuosina ja siksi tutkimustietoa löytyy vielä rajallisesti. Tämän insinööriyön aiheesta löytyy vielä vähän vertailukelpoisia tutkimusartikkeleita, koska tutkimusalue on vielä uusi ja kapea-alainen. Siksi systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tiukat kriteerit eivät sopineet tähän työhön.

Narratiivinen kirjallisuuskatsaus on metodeiltaan kevyin kirjallisuuskatsauksen muoto. Se mahdollistaa epäyhtenäisen tiedon keräämisen laajaksi kokonaisuudeksi. Samalla narratiivinen kirjallisuuskatsaus pyrkii lopputulokseen, jossa tieto saadaan helposti luettavaan muotoon. [28.]

Insinööriyössä kerrotaan puettavien teknologioiden rooli jalkapalloilijoiden suorituskyvyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyssä. Lisäksi se pyrkii etsimään tutkimusaukkoja ja tulevaisuuden jatkotutkimusaiheita. Kirjallisuuskatsauksen vaiheet aiheen määrittelystä tuloksiin on esitelty kuvassa 2.



Kuva 2. Vuokaavio kirjallisuuskatsauksen vaiheista.

Alkuperäinen aihe työlle oli ”Anturiteknologia jalkapalloilijoiden suorituskyvyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyn tukena” ja sitä varten laadittiin kolme tutkimuskysymystä. Seuraavaksi siirryttiin tietokantojen valintaan, johon vaikuttivat testihaut räätälöidyillä hakulausekkeilla. Hakuja tehdessä artikkeleissa toistui termi puettava teknologia ja sen perusteella otsikko muotoiltiin uudelleen ”Puettava teknologia jalkapalloilijoiden suorituskyvyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyn tukena.” Sen perusteella tarkasteltiin myös tutkimuskysymyksiä uudelleen ja kohdennettiin se yhteen, mikä on relevantein työn kannalta. Tämän pohjalta tehtiin lopullisten artikkelien valinta sekä kirjoitettiin raportointi ja tulokset.

4.2 Tutkimuskysymys ja tarkoitus

Tämän insinööriyön tarkoitus on koota kattava kokonaisuus puettavan teknologian hyödyistä jalkapalloilijoiden suorituskykyyn sekä loukkaantumisten

ennaltaehkäisyyn. Lisäksi työssä avataan myös, miten valmennus ja huoltotiimi hyötyvät teknologioiden käytöstä. Tutkimuksessa vastataan kysymykseen ”Miten puettava teknologia tukee jalkapalloilijoiden suorituskykyä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyä?”

4.3 Tiedonhaku

Tutkimuksen tiedonhakuun valittiin kaksi tieteellistä tietokantaa IEEE Xplore ja Google Scholar. Nämä tietokannat valikoituvat parhaiden testihakutulosten perusteella. Aineisto tutkimukseen kerättiin vertaisarvioituista tutkimuksista, kirjan luvusta ja konferenssiartikkeleista.

IEEE Xplore on sähkö- ja tietotekniikan kokotekstitietokanta. Se sisältää IEEE:n (Institute of Electrical and Electronic Engineers) ja IET:n (Institution of Engineering and Technology) julkaisemien lehtien kokotekstiartikkelit, konferenssiartikkelit ja kaikki voimassa olevat IEEE:n standardit. Se sisältää yli 260 maailman johtavaa tekniikan alan lehteä ja yli 5 miljoonaa kokotekstidokumenttia. [29.]

Google Scholar on hakukone, jossa on tieteellisiä ja akateemisia verkkotiedonlähteitä. Se on Googlen tuottama ja sieltä haetuissa tuloksissa on mukana akateemisten julkaisijoiden, yhteisöjen, yliopistojen sekä muiden tieteellisten järjestöjen tuottamia tutkielmia, esitelmiä, kirjoja, tiivistelmiä, konferenssijulkaisuja ja artikkeleita. [30.]

Taulukossa 1 on esitetty kirjallisuuskatsauksen artikkelien hakuprosessin tulokset. Hauissa käytettiin englanninkielisiä hakulausekkeita, jotka koostuivat insinööriyön aiheesta. Hakulausekkeet olivat Sensor technology in football, Technology in injury prevention in sports ja Wearable technology in football. Hakulausekkeissa testattiin myös Boolean AND- ja OR-operaattoreita, mutta ne eivät parantaneet hakutuloksia. Haut suoritettiin aikaväleillä 2000–2025, 2009–2026 ja 2020–2025.

Taulukko 1. Kirjallisuuskatsauksen artikkelien hakuprosessin tulokset.

Tietokanta	Hakusanat	Rajaukset	Tulokset	Hyväksytyt
IEEE xlore	Sensor technology in football	2000–2025	163	2
IEEE xlore	Technology in injury prevention in sports	2009-2026	212	3
Google Scholar	Wearable technology in football	2020-2025	16 700	3

Taulukosta 1 näkyy, että sisäänottokriteereihin sopivia artikkeleita löytyi vielä niukasti. Google Scholar antoi suuren määrän hakutuloksia, jotka seulottiin otsikon, johdannon sekä sen tiedon perusteella, oliko artikkelin lähde työn toteuttajalle tuttu.

4.4 Tutkimukseen valitut materiaalit

IEEE Xploressa hakulausekkeella Sensor technology in football tuloksia tuli 163, joista mukaan valittiin kaksi artikkelia. Hakulausekkeella Technology in injury prevention in sports tuloksia tuli 212, joista mukaan valittiin kolme artikkelia. Tuloksia käytiin läpi otsikon ja tiivistelmän perusteella. Jos otsikossa ja tiivistelmässä mainittiin jalkapallo, pelaaja tai FIFA ja suorituskyky tai loukkaantumisten ennaltaehkäisy puettavan teknologian avulla, se valittiin mukaan.

Google Scholarissa hakutuloksia tuli ilman rajausta yli 20 000. Rajaamalla aikaväli saatiin kuitenkin vielä yli 16 000 tulosta, joista mukaan valittiin kolme artikkelia. Artikkeleita seulottiin otsikon ja pienen näkyvillä olevan johdannon avulla niin kauan, kunnes ne eivät enää liittyneet puettavaan teknologiaan tai jalkapalloilijoihin. Lisäksi artikkelin lähteen piti olla tuttu.

Taulukossa 2 esitellään tutkimukseen valittujen artikkelien sisäänottokriteerit. Siinä kerrotaan vaatimukset lähteiden hyväksyntään julkaisuvuoden, kielen, saatavuuden, tutkimustyyppin ja soveltuvuuden mukaan.

Taulukko 2. Sisäänottokriteerit.

Vaatus	Sisäänottokriteeri
Julkaisu vuosi	2000–2025
Kieli	suomi tai englanti
Saatavuus	Vapaasti luettavissa tai Metropolian tarjoamilla lisensseillä
Tutkimustyyppi	Vertaisarvioidut artikkelit, tutkimukset ja kirjat
Soveltuvuus	Koskee jalkapalloilijoiden TAI pelaajien suorituskykyä JA loukkaantumisten ennaltaehkäisyä puettavalla teknologialla. Puettavien teknologioiden piti olla IMU TAI GPS/GNSS JA fysiologisista mittareista syke, sykevälvaihtelu TAI kehon lämpötila, näiden lisäksi myös muut fysiologiset muuttujat kävivät.

Taulukosta nähdään 2, että tutkimukseen oli laadittu tarkat rajaukset. Vaikka kieleksi oli rajattu suomi ja englanti, on tutkimukseen valittu vain englanninkielisiä artikkeleita. Hakulausekkeet on räätälöity tietoisesti englanniksi, koska kansainvälinen aineisto on valitulla kielellä. Alustavilla hakutuloksilla suomeksi löytyi vain opinnäytetöitä ja tässä työssä rajauksena olivat vertaisarvioidut artikkelit, tutkimukset ja kirjat.

Tutkimukseen valittiin kuusi vertaisarvioitua konferenssiartikkelia ja yksi vertaisarvioitu tutkimusartikkeli sekä internetissä luettavissa oleva kirjan luku. Nämä aineistot valittiin, koska ne vastasivat tutkimuskysymyksen. Lähteiden piti tutkia jalkapalloilijoiden tai pelaajien suorituskykyä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyä puettavan teknologian avulla.

Valitut aineistot sopivat tähän työhön hyvin, sillä niiden avulla pystytään vastaamaan insinööriyön tutkimuskysymyksen. Aineistot seulottiin järjestelmällisesti. Otsikon piti sisältää puettava teknologia ja urheilu tai jalkapallo. Otsikon täsmätyksessä luettiin johdanto, jos siinä puhuttiin pelaajien tai jalkapalloilijoiden suorituskyvystä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisystä puettavien teknologioiden

avulla, artikkeli otettiin mukaan. Lopuksi artikkelit luettiin kokonaan ja valittiin mukaan, jos ne vastasivat tutkimuskysymykseen.

Aineistoissa piti olla myös samat puettavat teknologiat. Ne saivat sisältää kuitenkin eri koneoppimisen, koska ne eivät olleet tämän työn tutkimuskysymykseen vastaamisessa relevantteja.

4.5 Tutkimusmateriaalin analysointi

Tutkimusmateriaali analysoitiin lukemalla artikkelit kriittisesti ja tarkasti sekä niiden piti vastata tutkimuskysymykseen. Erytystä huomiota kiinnitettiin siihen, että artikkelit käsittelivät pelaajien tai jalkapalloilijoiden suorituskykyä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyä. Analysoidessa artikkelin piti sisältää myös samoja puettavia teknologioita vertailtavuuden ja luotettavuuden vuoksi. Valitut aineistot on koottu liitteeseen 1.

Tutkimustuloksia analysoitaessa ne jaettiin kolmeen kategoriaan puettava teknologia suorituskyvyn tukena, puettava teknologia loukkaantumisten ennaltaehkäisyn tukena ja puettava teknologia valmennuksen ja huoltotiimin tukena. Kategorioinnin avulla tulokset pystyttiin jäsentelemään selkeästi luettavaan muotoon.

5 Tulokset

5.1 Puettava teknologia suorituskyvyn tukena

Puettava teknologia on muuttanut merkittävästi jalkapalloilijoiden suorituskyvyn analysointia ja kehittämistä, koska arvioinnin ei tarvitse enää perustua pelkkään subjektiiviseen havainnointiin. Se mahdollistaa objektiivisen tietoon perustuvan päätöksenteon. Puettavan teknologian avulla voidaan mitata tärkeimpiä suorituskykymuuttujia, mitkä ovat kokonaisjuoksumatka, sprinttien määrä, kiihtyvyys, hidastus, suunnanmuutos sekä pelin intensiteetti. Näitä suorituskykymuuttujia

seuraamalla saadaan kokonaisvaltainen kuva pelaajan fyysisestä suorituskyvystä harjoitus- ja pelitilanteissa. [26; 31.]

Puettavan teknologian keskeinen hyöty suorituskyvyn kehittämisessä perustuu yksilölliseen kuormituksen hallintaan. Teknologioiden keräämän tiedon perusteella voidaan erottaa ulkoinen- ja sisäinen kuormitus, mikä mahdollistaa kuormituksen ja palautumisen tasapainon seurannan. Tutkimukset osoittavat, että yksilöllisesti suunniteltu harjoitteluohjelma parantaa fyysistä suorituskkyä, kuten kestävyyttä ja nopeutta edistäen kehon sopeutumista harjoituskuormaan ilman yllirasituksen riskiä. Lisäksi seuranta mahdollistaa harjoittelun jaksottamisen ja intensiteetin säätelyn pelaajakohtaisten tarpeiden mukaisesti. [26; 32.]

Puettavien teknologioiden avulla voidaan myös analysoida teknisiä suorituksia. Liikkeen kinematiikan ja kehon hallinnan tarkastelu auttaa tunnistamaan suoritustekniikan puutteita ja kehittämään pelaajan motorisia taitoja. Potkutekniikka analyysilla on pystytty osoittamaan, että koko kehon liikkeiden koordinointi vaikuttaa merkittävästi potkun tehokkuuteen ja nopeuteen. [33.]

Lisäksi puettavan teknologian avulla voidaan tukea myös taktista suorituskkyä joukkueetasolla, yhdistämällä teknologioiden keräämä tieto pelianalyysiin. Pelianalyysilla tarkoitetaan ottelun tarkastelua, jossa pyritään ymmärtämään pelin kulkua ja sen taustalla olevia syitä. Esimerkiksi syöttöverkostojen ja liikkumismallien analyysi auttaa joukkueen taktisten rakenteiden optimoinnissa ja pelistrategioiden kehittämisessä. Pelaajien liikkeiden ja sijoittumisen analysointi suhteutettuna joukkueen pelitapaan, parantaa joukkueen kokonaisvaltaista suorituskkyä. [34.]

Fysiologisten mittareiden seuranta on keskeinen osa suorituskkyyn optimointia. Sykkeen, sykevälivaihtelun ja kehon lämpötilan avulla voidaan arvioida urheilijan kuormitustilaa, palautumista ja valmiutta suoritukseen. Nämä tiedot auttavat harjoittelun intensiteetin ja ajoituksen säätelyssä niin, että paras suorituskky saavutetaan kilpailutilanteissa. [31; 35.]

Koneoppimisen hyödyntäminen puettavan teknologian kanssa on tehostanut suorituskyvyn analysoimista. Algoritmit pystyvät tunnistamaan suorituskykyyn vaikuttavia malleja suurista määrästä tietoa ja tarjoavat ennakoivia suosituksia harjoittelun kehittämiseksi. Nämä mallit mahdollistavat esimerkiksi suorituskyvyn kehityksen ennustamisen, optimaalisen kuormituksen tunnistamisen sekä tarjoaa yksilöllisiä suosituksia harjoittelun ja palautumisen säätelyyn. Näin ne mahdollistavat entistä paremman suorituskyvyn kehittämisen sekä yksilö- että joukkueetasolla. [34; 36.]

5.2 Puettava teknologia loukkaantumisten ennaltaehkäisyyn tukena

Puettavan teknologian hyödyntäminen jalkapalloilijoiden loukkaantumisten ennaltaehkäisyssä on osoittanut lupaavia tuloksia. Sillä se mahdollistaa pelaajien fysiologisten, biomekaanisten ja kuormitukseen liittyvien muuttujien jatkuvan ja yksilöllisen seurannan. Teknologiat, joista yleisimmin käytetyt ovat inertia- mittausyksiköt (IMU), GPS/GNSS-paikannusjärjestelmät sekä syke- ja lämpötilamittareiden avulla saadaan tarkkaa tietoa pelaajien liikkeistä, kuormituksesta ja kehon vasteista, mikä auttaa tunnistamaan loukkaantumisriskejä varhaisessa vaiheessa. Niiden avulla saadaan reaaliaikaista tietoa jalkapalloilijoiden fysiologisista ja biomekaanisista muutoksista. [26; 31.]

Harjoituskuorman hallinta on yksi keskeisimmistä loukkaantumisiin vaikuttavista tekijöistä. Puettavan teknologian avulla voidaan mitata ulkoista kuormitusta, kuten juoksumatkaa ja kiihtyvyyttä sekä myös sisäistä kuormitusta, kuten sykettä ja räsitusasoja. Tutkimukset osoittavat, että äkilliset muutokset kuormituksessa tai liian suuri kokonaiskuormitus ilman riittävää palautumista lisäävät merkittävästi loukkaantumisriskiä. [26; 32.]

Puettava teknologia pystyy analysoimaan liikkeen laatua, mikä on tärkeää biomekaanisten riskitekijöiden tunnistamisessa. Epänormaalit liikeradat, heikko motorinen hallinta ja luuston sekä lihaksiston epätasapaino voivat altistaa esimerkiksi polvi- ja lihaskivun. Puettavien teknologioiden avulla poikkeamat voidaan havaita ja korjata ennen loukkaantumisten syntymistä. [33.]

Lisäksi puettava teknologia tukee jalkapalloilijoiden palautumisen seurantaan, mikä on keskeinen asia loukkaantumisten ehkäisyssä. Fysiologisia muuttujia mittaavien teknologioiden avulla voidaan seurata sykettä ja kehon lämpötilaa, joista voidaan arvioida kuormituksen vaikutuksia ja varmistaa riittävä palautuminen harjoitteluiden ja otteluiden välillä. [31; 35.]

Koneoppimisen hyödyntäminen yhdessä puettavan teknologian kanssa on tehostanut loukkaantumisten ennaltaehkäisyä ennustamista. Algoritmeilla pystytään analysoimaan suuria määriä dataa ja tunnistamaan loukkaantumisiin vaikuttavia malleja ja riskitekijöitä. [36.]

5.3 Puettava teknologia valmennuksen ja huoltotiimin tukena

Puettava teknologia mahdollistaa merkittävän hyödyn jalkapallojoukkueiden valmennukselle ja huoltotiimille. Teknologioiden antaman jatkuvan reaaliaikaisen ja objektiivisen tiedonkeruun avulla saadaan tietoa pelaajien fyysisestä kuormituksesta, suorituskyvystä ja terveydentilasta. Puettavat teknologiat, kuten GPS, IMU ja sykemittarit, tuottavat laajoja kokonaisuuksia tietoa, joiden avulla valmennus- ja huoltotiimi voivat tehdä perusteltuja päätöksiä harjoittelun, peluutuksen ja palautumisen suhteen. [26; 31.]

Valmentajien näkökulmasta puettava teknologia mahdollistaa harjoitusohjelmien yksilöllisen suunnittelun ja optimoinnin. Teknologian keräämällä tiedolla pystytään tunnistamaan pelaajakohtaisesti fyysiset valmiudet, kuormitustasot sekä kehityskohteet. Se tarkoittaa, että harjoittelu voidaan kohdentaa tarkemmin ja tehokkaammin, minkä katsotaan parantavan sekä yksilöiden että joukkueiden suorituskykyä. [33.] Lisäksi teknologian keräämän tiedon perusteella voidaan hioa kilpailuanalyysiä, jossa tarkastellaan pelaajien suorituksia, pelitilanteita ja joukkueen toimintaa. Analyysi tukee taktista päätöksen tekoa ja auttaa kehittämään strategioita. [34; 27.]

Jalkapallossa puettavista teknologioista saatava tieto mahdollistaa yksilö- ja joukkueen suorituskyvyn tarkastelun. Niiden tietojen perusteella tehty

kilpailuanalyysi tarjoaa objektiivista tietoa esimerkiksi syötöistä, laukauksista ja pelitilanteista, mitä hyödyntämällä valmentajat voivat arvioida suorituksia, tunnistaa kehityskohteita, suunnitella harjoittelua ja hioa ottelutaktiikoita. Objektiiviseen näyttöön perustuvat arviot lisäävät päätöksenteon luotettavuutta. [27.]

Huoltotiimin ja lääkintähenkilöstön kannalta puettava teknologia antaa tietoa pelaajien terveydentilasta ja palautumisesta. Fysiologisten muuttujien, kuten sykkeen, kuormituksen ja kehon lämpötilan seurannalla voidaan tunnistaa väsymyksen ja ylikuormituksen merkit ajoissa. Tämä mahdollistaa yksilöllisten palautumis- ja kuntoutusohjelmien suunnittelemisen sekä vähentää loukkaantumisriskiä. [31; 32.]

Jatkuvalla seurannalla mahdollistetaan nopea reagointi poikkeaviin arvoihin, mikä on tärkeää suuren intensiteetin kilpailuympäristöissä. Reaaliaikaisesti saatu tieto voi ohjata valmennusta päätöksen teossa esimerkiksi pelaajan vaihtamisessa tai harjoituksen keskeyttämisessä. Tämä takaa pelaajien turvallisuuden ja vähentää rasitusvammojen riskiä. [35.]

Koneoppimisen ja puettavan teknologian avulla pystytään hyödyntämään myös entistä tehokkaampien peli- ja pelaaja-analyysien tekeminen. Pelaaja-analyysillä tarkoitetaan yksittäisen pelaajan tarkastelua pelin sisällä siten, että pyritään ymmärtämään hänen roolinsa, vahvuudet ja vaikutus joukkueen pelaamiseen. Tämä tukee valmennusta pitkän aikavälin suunnittelussa ja auttaa päätöksenteossa. [34; 36.]

6 Pohdinta

6.1 Puettavien teknologioiden käyttö jalkapallossa

Vaikka puettavan teknologian yhdistäminen koneoppimisen mallien kanssa on katsottu tuovan hyötyjä jalkapalloilijoiden suorituskykyyn ja auttavan loukkaantumisten ennaltaehkäisyssä, niissä esiintyy haasteita. Tutkimukseen valitussa artikkelissa kerrotaan, että perinteiset koneoppimisen mallit perustavat

analyysinsä ennalta määritettyihin raja-arvoihin [35]. Tämä tarkoittaa sitä, että analyysit eivät perustu yksilölliseen pelaajaprofiiliin eikä siten anna täysin todennukaista kuvaa suorituskyvystä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisystä.

Puettavan teknologian ja koneoppimisen avulla ei tulla koskaan pääsemään 100 %:n tarkkuuteen suorituskyvyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyn näkökulmasta, mutta teknologiat ovat kuitenkin antaneet lupaavia tuloksia. Jalkapalloilijoiden suorituskyvyn seuraaminen ja loukkaantumisten ennaltaehkäisy on avainasemassa lajin parissa, sillä ne vaikuttavat vahvasti yksilöiden ja joukkueiden arkeen ja tulevaisuuteen.

6.2 Tulevaisuuden kehityssuunnat

Yicheng Liu (2025) esittelee uuden mallin DBASM (Dynamic Biometric-AI Synergy Model), mikä yhdistää puettavien teknologioiden tuottaman datan tekoälypohjaiseen ennakoivaan analyysiin. Malli rakentaa yksilöllisiä urheiluprofiileja kehittäen ennustemallejaan tunnistakseen pienimmätkin muutokset liikkeissä tai fysiologisissa vasteissa.

Yicheng Liu (2025) vertailee artikkelissaan neljää koneoppimisen mallia loukkaantumisten tunnistustarkkuuden ja suorituskyvyn parantamisessa. Matalin tarkkuus vertailuissa malleissa loukkaantumisten tunnistamisessa on 78 % ja korkein 92 %. Keskiarvotuloksiin tarkkuudessa pääsi kaksi mallia ja tarkkuudet niissä ovat 82 % ja 85 %. Kun vertailtiin suorituskyvyn paranemista mallien avulla, pienin saavutettu parannus on 10 % ja korkeimmillaan se saavutti noin 22 %:n parannuksen yksilölliseen suorituskyykyyn. Mallit, jotka saivat keskiarvotulokset, pystyivät kuitenkin saavuttamaan suorituskyykyyn 12 %:n ja 14 %:n parannuksen.

Jalkapalloilijat ovat yksilöitä ja jokaisella on omat yksilölliset ominaisuutensa. Ikä, sukupuoli, kokemus sekä aiemmat loukkaantumiset vaikuttavat suorituskyykyyn ja loukkaantumisriskiin. Siksi tulevaisuudessa on tärkeää pystyä keskittymään yksilöllisiin raja-arvoihin suorituskyykyyn ja loukkaantumisten

ennaltaehkäisyn seurannassa. Jotta koneoppimisen malleja voisi tulevaisuudessa hyödyntää entistä luotettavammin, olisi niille hyvä määrittää yhteiset standardiarvot. Standardiarvo määrittelisi koneoppimiselle sen rajan, mikä sen pitäisi saavuttaa, jotta niiden avulla voidaan tuottaa parannusta suorituskykyyn ja ennaltaehkäistä loukkaantumisia.

6.3 Kirjallisuuskatsauksen luotettavuus ja laatu

Tähän kirjallisuuskatsaukseen valittiin vain vertaisarvioituja aineistoja, jotka on haettu kansainvälisistä tietokannoista IEEE Xploresta ja Google Scholarista. Kirjallisuuskatsauksessa on käytetty 2010-luvun jälkeen julkaistuja tutkimusartikkeleita, millä taataan työn ajantasaisuus. Tutkimuksessa käytettiin ChatGPT Plus versiota kielen kääntämiseen ja ideoimiseen. Tekstin oikeellisuus kielen kääntämisen jälkeen tarkistettiin alkuperäisestä lähteestä.

Suurin osa tutkimukseen valituista aineistoista oli vertaisarvioituja konferenssiartikkeleita ja niillä katsotaan olevan kevyemmät kriteerit arvioinneissa kuin esimerkiksi lehdessä julkaistuilla artikkeleilla. Konferenssiartikkeli on tutkimusartikkeli, mikä on kirjoitettu esitettäväksi konferenssissa. Nämä artikkelit kuitenkin sisälsivät samat puettavat teknologiat ja tulokset olivat samankaltaisia, joten niiden voidaan katsoa olevan luotettavia.

6.4 Jatkotutkimusehdotukset

Jatkotutkimuksessa tulisi tarkastella puettavan teknologian hyötyjä jalkapalloilijoiden suorituskyvyn ja hyvinvoinnin tukemisessa laajoihin ja edustaviin aineistoihin perustuen. Lisäksi koneoppimisen hyödyntämistä tulisi kehittää erityisesti yksilöllisen suuntaan, jotta harjoittelua ja kuormituksen hallintaa voidaan räätälöidä entistä tarkemmin jalkapalloilijan tarpeiden mukaisesti.

Tulevaisuudessa on myös tarpeen tutkia puettavien teknologioiden optimaalista sijoittelua kehoon, jotta mittauksen luotettavuus ja tarkkuus voidaan varmistaa erilaisissa pelitilanteissa. Samanaikaisesti eettiset näkökulmat, kuten datan

omistajuus, yksityisyydensuoja ja tiedon turvallinen käsittely, edellyttävät lisätutkimusta, jotta puettavan teknologian käyttö voidaan toteuttaa vastuullisesti.

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä vastattiin tutkimuskysymykseen: Miten puettava teknologia tukee jalkapalloilijoiden suorituskykyä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyä. Työssä kerrotaan puettavan teknologian tukemisesta suorituskyvylle, loukkaantumisten ennaltaehkäisylle sekä valmennuksen ja huoltotiimin siitä saama hyöty.

Tulokset osoittavat, että puettava teknologia on merkittävästi edistänyt jalkapalloilijoiden suorituskyvyn kehittämistä, loukkaantumisten ennaltaehkäisyä sekä valmennuksen päätöksentekoa. GPS-laitteet, IMU-anturit ja fysiologiset mittarit tuottavat reaaliaikaista ja objektiivista dataa pelaajien kuormituksesta, liikkumisesta ja fyysisistä vasteista.

Yhteenvetona voidaan todeta, että puettava teknologia antaa merkittäviä hyötyjä jalkapalloilijoiden suorituskykyyn ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyyn. Yhdistämällä koneoppiminen ja puettava teknologia pystytään luomaan malleja, jotka ennustavat loukkaantumisriskejä. Haasteena on vielä puettavien teknologioiden tarkkuus, niiden ottamat häiriöt sekä puettavan teknologian sijoittaminen keholla.

Lähteet

- 1 Liikunnan kuormittavuus ja rasittavuus. Duodecim käypä hoito. Verkkoaineisto. <https://www.kaypahoito.fi/nix01171/>. Luettu 3.2.2026.
- 2 Paikallaanolon vähentäminen: osa 1. UKK-instituutti. 2018. Verkkoaineisto. <https://ukkinstituutti.fi/wp-content/uploads/2020/11/Paikallaanolon-vahentaminen-osa1-2019-huomiotekstit.pdf/>. Luettu 3.2.2026.
- 3 Kestävyysharjoittelu. Terve urheilija. 2024. Verkkoaineisto. <https://terveurheilija.fi/harjoittelu/kestavyysharjoittelu/>. Luettu 3.2.2026.
- 4 Hyvä suorituskyky ei suojaa nuoria jalkapalloilijoita vammoilta – vammoja sattuu eniten hyväkuntoisille pelaajille. Terve urheilija. 2022. Verkkoaineisto. <https://terveurheilija.fi/ajankohtaista/hyva-suorituskyky-ei-suojaa-nuoria-jalkapalloilijoita-vammoilta/#:~:text=Jalkapallo%20on%20suositettu%20laji%20my%C3%B6s,kannustaa%20fyysisesti%20aktiiviseen%20el%C3%A4m%C3%A4ntapaan%20aikuisena/>. Luettu 3.2.2026.
- 5 Jalkapalloilijan käsikirja. M. Salminen, Suomennos. Hämeenlinna. Karisto Oy. 2002.
- 6 Palautuminen. Terve urheilija.2026. Verkkoaineisto. <https://terveurheilija.fi/harjoittelu/palautuminen/>. Luettu 6.2.2026.
- 7 Kognitiivinen kuormitus. Työturvallisuuskeskus. Verkkoaineisto. <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/tyoympariston-turvallisuus/tyokuormituksen-hallinta/kognitiivinen-kuormittuminen/> Luettu 31.1.2026.
- 8 Kognitiivinen ergonomia. Työturvallisuuskeskus. Verkkoaineisto. <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/tyoympariston-turvallisuus/tyokuormituksen-hallinta/kognitiivinen-kuormittuminen/kognitiivinen-ergonomia/>. Luettu 31.1.2026.
- 9 John Swellerin kognitiivinen kuormitusteoria. Mielen Ihmeet.2022. Verkkoaineisto. <https://mielenihmeet.fi/john-swellerin-kognitiivinen-kuormitusteoria/>. Luettu 1.2.2026.
- 10 Erilaiset muistitoiminnot. Terveyskylä.fi. Verkkoaineisto. <https://www.terveyskyla.fi/aivotalo/aivot-ja-toimintakyky/muisti/tietoa-muistista/erilaiset-muistitoiminnot/>. Luettu 1.2.2026.
- 11 Kognitiivinen kuormitus saattaa altistaa polvivammoille. Terve urheilija. 2025. Verkkoaineisto. <https://terveurheilija.fi/ajankohtaista/kognitiivinen-kuormitus-saattaa-altistaa-polvivammoille/>. Luettu 1.2.2026.

- 12 Mitä sykevälivaihtelu kertoo palautumisesta? Työterveyslaitos. 2025. Verkkoaineisto. <https://www.ttl.fi/ajankohtaista/blogi/mita-sykevalivaihtelu-kertoopalautumisesta/>. Luettu 6.2.2026.
- 13 Urheilijan ylikuormitustila. Lääketieteellinen Aikakausikirja Duodecim. 2015. Verkkoaineisto. <https://www.duodecimlehti.fi/duo12901/>. Luettu 6.2.2026.
- 14 Lääketieteen sanasto. Duodecim Terveyskirjasto. 2016. Verkkoaineisto. <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt02519/>. Luettu 6.2.2026.
- 15 Risk Factors for Injuries in Football. Sage Journals. 2004. Verkkoaineisto. https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0363546503258912?casa_token=jVOPF1Nf5XsAAAAA%3ASPTptOVZ7fRv-hOGmYiZLvFVi7XygCaIPficJb5aSGWNqfysF2iB3030Nn3WR_9Op7CIRAssKzjWO7A/. Luettu 20.2.2026.
- 16 Common football injuries and how to manage them. Bupa. 2024. Verkkoaineisto. <https://www.bupa.co.uk/newsroom/ourviews/common-football-injuries/>. Luettu 6.2.2026.
- 17 Sprained ankle. Bupa. Verkkoaineisto. <https://www.bupa.co.uk/health-information/muscles-bones-joints/sprained-ankle/>. Luettu 21.2.2026.
- 18 Nilkan ligamenttivamman diagnostiikka ja funktionaalinen hoito. Aikakausikirja Duodecim. 2011. Verkkoaineisto. <https://www.duodecimlehti.fi/duo99828/>. Luettu 21.2.2026.
- 19 Laukka, P. 2016. Liiku ja urheile terveenä. Saarijärvi. Fitra Oy.
- 20 Polvi. Terve urheilija. 2026. Verkkoaineisto. <https://terveurheilija.fi/urheiluvammojen-ennaltaehkaisy/polvi-polvivammat/>. Luettu 21.2.2026.
- 21 Polven ristosidevammat urheilijalla. Aikakausikirja Duodecim. 2010. Verkkoaineisto. <https://www.duodecimlehti.fi/duo98601/>. Luettu 21.2.2026.
- 22 Koostetutkimus: Joukkuepallolajeissa yli puolet polven eturistisiteen vammoista sattuu ilman kontaktia. Terve urheilija. 2022. Verkkoaineisto. <https://terveurheilija.fi/ajankohtaista/koostetutkimus-joukkuepallolajeissa-yli-puolet-polven-eturistisiteen-vammoista-sattuu-ilman-kontaktia/>. Luettu 21.2.2026.
- 23 Reisi. Terve urheilija. 2023. Verkkoaineisto. <https://terveurheilija.fi/urheiluvammojen-ennaltaehkaisy/reisi-takareiden-revahdys/>. Luettu 21.2.2026.

- 24 Lihasrevähdys ja lihaskouristus. Duodecim Terveyskirjasto. 2025. Verkkoaineisto. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00295/>. Luettu 21.2.2026.
- 25 Lonkka ja nivunen. Terve urheilija. 2023. Verkkoaineisto. <https://terveurheilija.fi/urheiluvammojen-ennaltaehkaisy/nivusvammat/>. Luettu 22.2.2026.
- 26 Ahmet Çağdaş Seçkin, Bahar Ateş, Mine Seçkin. 2023. Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities. Applied Sciences. Vol. 13 (18). Luettu 26.3.2024.
- 27 Kılıçarslan G. 2023 Technological advances in football. Innovative developments in basketball Utilization of technology. Verkkoaversio. https://www.researchgate.net/profile/Nagihan-Kirikoglu/publication/374995321_Innovative_developments_in_basketball_Utilization_of_technology/links/653eb2d6ff8d8f507cd6f473/Innovative-developments-in-basketball-Utilization-of-technology.pdf#page=104/. Luettu 5.3.2026.
- 28 Salminen, A. Mikä kirjallisuuskatsaus? Vaasan yliopisto. 2023. Verkkoaineisto. <https://osuva.uwasa.fi/server/api/core/bitstreams/12594b89-5f96-4a7d-932f-04215239659f/content/>. Luettu 1.4.2026.
- 29 Tietokantojen oppaat: IEEE Xplore. Oulun yliopisto. Verkkoaineisto. <https://libguides oulu.fi/tietokantojenoppaat/ieee/>. Luettu 3.4.2026.
- 30 Tiedonhaun opas: Google Scholar. Tritonia. Verkkoaineisto. <https://uva.libguides.com/tiedonhaku/googlescholar/>. Luettu 3.4.2026.
- 31 A. Kilaru, P. Deepak, R. Uma, N. Amandeep yms. 2024. Exploring the Integration of Wearable Sensors Technologies in Professional Sports for Enhanced Performance and Injury Prevention. DOI: 10.1109/IH-CSP63227.2024.10959950. 16.4.2025. Luettu 1.4.2026.
- 32 K. Bashkaran, S.Selvarasu, S.Varmathy yms.2023. Wireless Sensor Networks for Sports Injury Management and Player Safety Enhancement. DOI: 10.1109/ICSSAS57918.2023.10331798. 6.12.2023. Luettu 1.4.2026.
- 33 J. Boluwaji G. I, Omolayo M., S. Monye I. yms. 2024. Advancements in Motion Capture and Wearable Sensors: A Comprehensive Review of Biomechanical Analysis in Football. DOI: 10.1109/NIGERCON62786.2024.10927218. 24.4.2024. Luettu 1.4.2026.
- 34 P. Sri Harsha Vardhab Goud, Y. Mohana Roopa, B. Padmaja. 2019. Player Performance Analysis in Sports: with Fusion of Machine Learning

and Wearable Technology. DOI: 10.1109/ICCMC.2019.8819815. 29.8.2019. Luettu 2.4.2026.

- 35 L. Yicheng. 2025. Wearable Sensors and AI for Personalized Football Training and Injury Prevention. 2025. DOI: 10.1109/IDICAI-HEI65991.2025.11378865. 23.2.2026. Luettu 2.4.2026.
- 36 X. Shuning, Z. Xiao, J. Ning. 2024. Soccer Sports Injury Risk Analysis and Prediction by Edge Wearable Devices and Machine Learning. DOI: 10.1109/AIoTsys58602.2023.00027.11.3.2024. Luettu 2.4.2026.

Kirjallisuuskatsauksen hakutulokset

Tässä liitteessä avataan kirjallisuuskatsaukseen valitut artikkelit julkaisuvuoden, tekijän ja artikkelin mukaan. Taulukossa 1 on esitetty valitun artikkelin tavoite, keskeiset tulokset ja rajoitteet.

Taulukko 1. Työhön valitut aineistot.

Julkaisuvuosi, tekijä(t), artikkeli	Tutkimuksen tavoite	Keskeiset tulokset	Rajoitteet
2024, J. Boluwaji G ym. <i>Advancements in Motion Capture and Wearable Sensors: A Comprehensive Review of Biomechanical Analysis in Football</i>	Puettavan sensorteknologian ja biomekaanisten analyysimenetelmien hyödyntämistä jalkapallossa pelaajien suorituskyvyn parantamiseksi ja loukkaantumisriskin vähentämiseksi sekä arvioida näiden teknologioiden mahdollisuuksia reaaliaikaisessa seurannassa, yksilöllisessä harjoittelussa ja liikkeanalyysissä.	Puettava teknologia ja koneoppiminen parantavat suorituskyvyn seuranta ja loukkaantumisriskin ennustamista.	Jalkapallokentillä toimivuus, ettei ottaisi niin paljoa häiriötä, jotta tulokset olisivat luotettavia

<p>2025, L. Yicheng. Wearable Sensors and AI for Personalized Football Training and Injury Prevention</p>	<p>Kehittää puettaviin teknologioihin ja tekoälyyn perustuva malli jalkapalloilijoiden suorituskyvyn seurannan, kuorituksen hallinnan ja loukkaantumisen riskin ennustamisen parantamiseksi.</p>	<p>Puettavan teknologian ja uuden ennustavan koneoppimisen kanssa voidaan luoda yksilöllisiä urheilijaprofiileja, joiden avulla jalkapalloilijoiden suorituskykyä ja loukkaantumisten ennaltaehkäisyä voidaan parantaa.</p>	<p>Sopii hyvin tähän työhön.</p>
<p>2023. K. Bashkaran. Wireless Sensor Networks for Sports Injury Management and Player Safety Enhancement.</p>	<p>Kehittää puettaviin teknologioihin ja langattomiin verkkoihin perustuvia ratkaisuja urheiluvammojen seurantaan, ennustamiseen ja ennaltaehkäisyyn</p>	<p>Puettavan teknologian yhdistäminen koneoppimisen malliin parantaa suorituskykyä ja auttaa loukkaantumisten ennaltaehkäisyssä sekä päätöksenteossa.</p>	<p>Puhutaan vain pelaajista, mutta ei kohdennu jalkapalloilijoihin</p>
<p>2024. A. Kilaru. Exploring the Integration of Wearable</p>	<p>Hyödyntää puettavaa teknologiaa ja tekoälyä urheilijoiden</p>	<p>Puettaviin teknologioihin ja koneoppimiseen perustuva strategia</p>	<p>Artikkelissa mainitaan, että FIFA hyväksyy</p>

Sensors Technologies in Professional Sports for Enhanced Performance and Injury Prevention	suorituskyvyn seurannan, kuorituksen hallinnan, loukkaantumisten ennaltaehkäisyyn ja palautumisen optimoinnin parantamiseksi.	tuottaa tarkkaa ja luotettavaa dataa, parantaa suorituskyvyn seuranta ja loukkaantumisriskin ennustamista sekä tukee päätöksentekoa ja turvallisuutta	pelaajien seuraimisen tällä tapaa.
2024. Shuning ym. Soccer Sports Injury Risk Analysis and Prediction by Edge Wearable Devices and Machine Learning	Hyödyntää koneoppimista ja puettavaa teknologiaa urheiluvammojen ennustamiseen sekä kehittää reaaliaikainen ja kustannustehokas liikkeenanalyysijärjestelmä jalkapalloon.	Puettavat teknologiat ja liikkeenkaappaus kuten 3d mallinnus mahdollistavat objektiivisen ja reaaliaikaisen liikkeenanalyysin	Tutkimus kohdistuu nuorten jalkapalloilijoiden loukkaantumisten ennaltaehkäisyyn.
2019. P. Sri Harsha Vardhab Goud ym. Player Performance Analysis in Sports: with Fusion of Machine Learning and	Tarkastella puettavan teknologian ja koneoppimisen roolia urheilusuorituksen analysoinnissa ja kehittämisessä	Koneoppiminen ja puettava teknologia tukevat suorituskyvyn kehittämistä, strategista suunnittelua ja	Artikkeli ei ole suunnattu vain jalkapalloilijoiden seurantaan, mutta ne ovat tutkimuksessa mukana.

Wearable Technology		loukkaantumisten ennaltaehkäisyä.	
2023. Ahmet Çağdaş Seçkin, Bahar Ateş yms. Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities	Tarkastella puettavan teknologian käsitettä, sovelluksia ja merkitystä urheilussa sekä tunnistaa sen haasteet ja tulevaisuuden kehityssuunnat	Puettava teknologia mahdollistaa reaaliaikaisen suorituskyvyn seurannan, loukkaantumisten ennaltaehkäisyn ja harjoittelun optimoinnin	Ei kohdistu vain jalkapalloilijoihin, mutta on otoksessa mukana.
Kılıçarslan G. 2023 Technological advances in football. Innovative developments in basketball Utilization of technology.	Tarkastella jalkapallossa käytettäviä teknologioita ja niiden kehitystä eri osa-alueilla.	Listaa jalkapallossa käytettäviä puettavia teknologioita tuotekohtaisesti ja avaa niistä saatavia hyötyjä.	Sopii tähän aiheeseen hyvin ja on suunnattu suoraan jalkapalloon.