

Jesse Laukkanen

**LIIKUNTATEKNOLOGIAT JÄÄKIEKON KENTTÄPE-
LAAJIEN MITTAAMISEEN JA SEURANTAAN JÄÄ-
HARJOITTELUIDEN SEKÄ OTTELUIDEN AIKANA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2024

TIIVISTELMÄ

Laukkanen, Jesse

Liikuntateknologiat jääkiekon kenttäpelaajien mittaamiseen ja seurantaan jääharjoitteluiden sekä otteluiden aikana

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2024, 57 s.

Tietojärjestelmätiede, pro gradu -tutkielma

Ohjaaja: Halttunen, Veikko

Jääkiekkoilijoita on testattu vuosien saatossa monin eri tavoin niin jäällä kuin jään ulkopuolella. Testauksen tavoitteena on ollut ymmärtää jääkiekkoilijoiden moninaisia ominaisuuksia hyödyntäen erilaisia liikuntateknologisia menetelmiä. Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää, kuinka jääkiekon kenttäpelaajia voidaan mitata ja seurata liikuntateknologian avulla jääharjoitteluiden ja otteluiden aikana. Tutkielmassa pyrittiin myös selvittämään, mitä tietoa nämä liikuntateknologiset menetelmät antavat konkreettisesti jääkiekkoilijoista ja miten tietoa voidaan hyödyntää käytännössä. Tutkimuksen perusteella jääharjoittelun aikana hyödynnetyt liikuntateknologiat voidaan jakaa ajanottoteknologioihin, liikkeen kuvantamisteknologioihin, puettaviin teknologioihin sekä muihin teknologioihin. Otteluiden aikana havaittiin vähemmän hyödynnettyjä liikuntateknologioita kuin jääharjoitteluiden aikana. Otteluiden aikana hyödynnetyt liikuntateknologioita olivat paikalliset paikantamisjärjestelmät, puettavat teknologiat, sisäisen kuormituksen seurantateknologiat sekä analysointiohjelmistot. Liikuntateknologioiden käyttö näyttäisi tarjoavan käyttäjälleen lisätietoa mitatuista ominaisuuksista, kun mittaukset tehdään asiantuntijoiden kanssa yhteistyössä. Lisätietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi valmentajan kanssa yhteistyössä jääkiekkoilijan ominaisuuksien kehittämiseen, joka siten mahdollisesti parantaa pelaajan suoritusta otteluiden aikana, sekä mahdollisesti myös joukkueen suoritusta. Tutkielma toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena.

Asiasanat: liikuntateknologiat, jääkiekko, mittaaminen, seuranta

ABSTRACT

Laukkanen, Jesse

Sports technologies for measuring and monitoring ice hockey players during on-ice practices and matches

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2024, 57 pp.

Information Systems, Master's Thesis

Supervisor: Halttunen, Veikko

Over the years, ice hockey players have been tested in many different ways, both on and off the ice. The aim of this testing has been to understand the versatile characteristics of ice hockey players using a variety of sports technology methods. This thesis aimed to find out how to measure and monitor ice hockey players using sports technology during on-ice practices and matches. In addition, the study aimed to find out what information these sports technology methods provide in concrete terms to ice hockey players and how this information can be used in practice. Based on the study, the sports technologies used during on-ice practices can be divided into timing technologies, motion imaging technologies, wearable technologies, and other technologies. Fewer sports technologies were used during ice hockey matches than during on-ice practices. The sports technologies used during ice hockey matches were local positioning systems, wearable technologies, internal load monitoring technologies, and analysis software. The use of sports technologies appears to offer the user additional information on features when used with experts. This additional information can be used, for example in collaboration with the coach, to develop the features of the ice hockey player, which could potentially improve the player's performance during matches, and possibly also the whole team's performance. The thesis was conducted as a systematic literature review.

Keywords: sports technologies, ice hockey, measurement, monitoring

KUVIOT

KUVIO 1 Jääkiekkomaali ja sen mitat (IIHF, 2024).....	11
KUVIO 2 Jääkiekon kenttäpelaajan varusteet ottelutilanteissa (IIHF, 2024)	12
KUVIO 3 Jääkiekon peliväline (IIHF, 2024).....	13
KUVIO 4 Jääkiekon pelialue (IIHF, 2024)	14
KUVIO 5 Tutkielman hakusanojen käyttö.....	24
KUVIO 6 Kiihtyvyyssanturin kiinnittäminen luistimeen (Stetter ym. 2016).	27
KUVIO 7 Teknologioiden kiinnittäminen tutkittavaan (Buckeridge ym., 2015.)	28
KUVIO 8 Markkereiden kiinnittäminen tutkittavaan (Renaud ym. 2017).....	29
KUVIO 9 Kameroiden asettaminen jäälle (Renaud ym. 2017).....	30
KUVIO 10 Sensorinen jääkiekkomaila (Hardegger ym. 2015).....	32
KUVIO 11 Markkerit asetettuna tutkittavaan (Michaud-Paquette ym., 2011)...	33
KUVIO 12 Tutkimuksen ankkurit (Douglas & Kennedy, 2020).	38
KUVIO 13 Joukkueiden ja pelaajien tunnistamisjärjestelmä (Vats ym. 2023). ...	40

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Tutkielman lähteet jääharjoittelun liikuntateknologioista.	35
TAULUKKO 2 Tutkielman lähteet otteluiden liikuntateknologioista.....	41

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	JÄÄKIEKKO.....	9
2.1	Yleistä	9
2.2	Ottelun kulku	10
2.3	Kenttäpelaajien varusteet	11
2.4	Pelialue	13
2.5	Ottelun kuormittavuus	14
3	LIIKUNTATEKNOLOGIAT URHEILUSSA	15
3.1	Keskeiset käsitteet.....	15
3.1.1	Liikuntateknologia	15
3.1.2	Puettava teknologia	16
3.1.3	GPS	16
3.1.4	Paikallinen paikannusjärjestelmä (LPS).....	17
3.1.5	Magnetometri.....	17
3.1.6	Kiihtyvyyssanturi.....	18
3.1.7	Gyroskooppi	18
3.1.8	Inertiamittausyksikkö.....	19
3.1.9	Sykemittari	19
3.2	Liikuntateknologiat joukkueurheilussa.....	19
4	KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TOTEUTUS.....	21
4.1	Tutkimusongelma.....	21
4.2	Tutkimusmenetelmät	22
5	LIIKUNTATEKNOLOGIAT JÄÄKIEKKOSSA	25
5.1	Liikuntateknologiat jääharjoittelussa	25
5.1.1	Liikkuminen ja ulkoinen kuormitus.....	25
5.1.2	Laukominen	31
5.1.3	Laukominen synteettisellä jäällä	33
5.1.4	Sisäinen kuormitus.....	34
5.2	Yhteenveto liikuntateknologioista jääharjoittelussa.....	34
5.3	Liikuntateknologiat otteluissa	37
5.3.1	Liikkuminen ottelun aikana ja paikallinen paikantamisjärjestelmä	37
5.3.2	Sisäinen kuormitus.....	38
5.3.3	Muut menetelmät jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja seurantaan otteluiden aikana	39
5.4	Yhteenveto liikuntateknologioista jääkiekko-otteluissa	40

6	POHDINTA	42
7	TUTKIELMAN RAJOITTEET JA JATKOTUTKIMUSAIHEET	47

1 JOHDANTO

Vuosien aikana jääkiekon parissa on toteutettu erilaisia laboratoriotestejä sekä muita jään ulkopuolella toteutettuja testauksia, joiden avulla on pyritty arvioimaan ja selvittämään pelaajien ominaisuuksia tai kykyä toimia jäällä jääkiekko-otteluiden kaltaisten tapahtumien aikana (Nightingale, Miller & Turner, 2013). Tutkimukset ovat kuitenkin viitanneet siihen, että jään ulkopuoliset testit eivät korreloi jäällä tapahtuvan suorituksen kanssa (Allisse, Sercia, Comtois, & Leone, 2017; Durocher, Guisfredi, Leetun & Carter, 2010; Peterson ym., 2016). Tämä perustuu todennäköisimmin siihen, että jääkiekkoilijoiden otteluiden aikaiset tärkeät liikesarjat, kuten luistelu ja laukominen ovat testattavissa vain jäällä eikä missään muussa ympäristössä (Bond, Bennett & Noonan, 2018). Jääkiekon parissa on tehty myös arviointeja sekä pohdintaa, voidaanko jääkiekkoilijoiden potentiaalia ja kykyä mitata yhden tai useamman menetelmän avulla sekä siitä kuinka tehokkaita yksittäiset tai yhdistetyt menetelmät loppujen lopuksi ovat (Burr ym., 2008). Grehaigne, Godbout ja Bouthier (1999) toteavat jääkiekon olevan monimutkainen kokonaisuus, jossa suorituskyky koostuu muun muassa fyysisistä vaatimuksista, motorisista taidoista, päätöksentekokyvystä, yhteistyöstä oman joukkueen pelaajien kanssa sekä pelaamisesta kollektiivisesti toista joukkuetta vastaan.

Kirjallisuuden perustella jääkiekkotutkimuksissa on hyödynnetty erilaisia teknologiaan pohjautuvia menetelmiä urheilijoita mitattaessa, kuten aika- ja videoperusteista liikeanalyysia, sykkeenmittausteknologiaa, paikantamisjärjestelmäpohjaista teknologiaa, puettavia teknologioita sekä kiihtyvyyssanturiteknoologiaa. Pääasiassa näillä menetelmillä on pyritty mallintamaan otteluiden aikaisia vaatimuksia, mutta osittain myös harjoittelun vaatimuksia. (Staunton & Björklund, 2023.) Näitä teknologioita kutsutaan usein liikunta- ja urheilututkimuksissa liikuntateknologioiksi. Liikuntateknologioita hyödynnetään laajalaisesti monien joukkuepalloilulajien keskuudessa ja niiden perusteella on pyritty kehittämään urheilijoiden suorituskykyä. Monissa muissa urheilulajeissa hyödynnettävät mittaus- ja seurantamenetelmät eivät kuitenkaan ole olleet suoraan siirrettävissä jääkiekkoon sillä lajin nopeatempoisuus, pieni peliväline (kiekko) ja valkoinen pelialusta ovat tuottaneet teknologian toimivuudelle haas-

teita (Douglas & Kennedy, 2020). Liikuntateknologioista erityisesti puettavien teknologioiden käyttö on levinnyt yhä enenevässä määrin viime vuosien aikana monien urheilulajien, kuten myös jääkiekon pariin. Tällaiset puettavat teknologiat sisältävät usein esimerkiksi GPS:n, gyroskoopin, kiihtyvyyssanturin ja magnetometrin. (Douglas, Rotondi, Baker, Jamnik & Macpherson, 2022.) Puettavien teknologioiden yleisyys urheilijoiden keskuudessa perustuu mahdollisesti niiden pieneen kokoon tai kevyeen rakenteeseen sekä lisäksi ne ovat yleensä vielä helposti puettavia ja keräävät dataa huomaamatta (Halson, Peake & Sullivan, 2016).

Tutkimuspuolella jääkiekko vaikuttaisi olevan vielä tuore urheilulaji, josta tutkimustietoa löytyy melko vähän. Verrattuna suuriin globaaleihin joukkuelajeihin, kuten jalkapalloon tai koripalloon, jääkiekko on saanut huomattavasti vähemmän huomiota urheilutieteellisessä tutkimuksessa. Esimerkiksi PubMedissä hakusanojen "ice hockey" ja "performance" käyttö tuottaa 0 julkaistua tutkimusta vuonna 2000, mutta vuonna 2021 kuitenkin jo 62 julkaistua tutkimusta. (Staunton & Björklund, 2023.) PubMed on yksi suosituimpia ja suurimpia tietokantoja terveys- ja urheilutieteiden joukossa (White, 2020). Nykyään myös jääkiekon parissa ollaan mahdollisesti kiinnostuneempia urheilusuoritusten aikaisesta suorituskyvystä. Lisääntyneistä jääkiekkotutkimuksista huolimatta on havaittu kuitenkin selkeitä epä johdonmukaisuuksia terminologiassa sekä metodologiassa, kun tutkitaan jääkiekkoilijoiden fysiologiaa ja otteluiden aikaista suorituskyyä. (Staunton & Björklund, 2023.) Jääkiekkotutkimusten alkutaipaleeseen viittaa myös se, että kirjallisuuden perusteella esimerkiksi rannelaukausta on tutkittu todella vähän (Robbins, Renaud, MacInnis & Pearsall, 2021a). Rannelaukaus ja yleisesti laukominen ovat kuitenkin keskiössä jääkiekossa, joka tunnetaan maalintekopelinä.

Jääkiekkoon liittyvissä tutkimuksissa on vuosien varrella hyödynnetty erilaisia liikuntateknologisia menetelmiä jääkiekkoilijoiden ominaisuuksien arviointiin. Monet liikuntateknologiset menetelmät voivat kuitenkin olla vieraita tai kokonaan tuntemattomia monelle lajin parissa toimivalle. Tässä tutkielmassa on pyritty koostamaan liikuntateknologiset menetelmät, joita on hyödynnetty jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja arviointiin. Tutkielman aluksi on perehdytty tutkimuskontekstin kuvaamiseen kirjallisuuden avulla jääkiekon ja liikuntateknologioiden osalta, minkä jälkeen on toteutettu varsinainen kirjallisuuskatsaus.

Tutkielman tavoitteena on selvittää, mitä liikuntateknologioita hyödynnetään jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja seurantaan jääharjoitteluiden ja otteluiden aikana. Lisäksi tutkielmassa selvitetään mitä tietoa havaitut liikuntateknologiat keräävät ja miten tietoa voidaan hyödyntää jääkiekon parissa. Tutkielma koostuu seitsemästä pääluvusta. Luvuissa 1-3 kuvataan tutkimuksen tausta ja luodaan pohja kirjallisuuskatsauksen tekemiselle, johon on etsitty vapaasti lähteitä kirjallisuudesta. Tutkielman 4. luvussa esitellään tutkimuskysymykset ja kirjallisuuskatsauksen prosessi. Tutkimuskysymyksiin vastataan luvun 5 aikana. Tutkielman luvussa 6 esitetään aiheeseen liittyvää pohdintaa ja luvussa 7 esitetään tutkimuksen rajoitteet sekä jatkotutkimusaiheet. Tutkielman tekemiseen ei ole hyödynnetty tekoälyä.

2 JÄÄKIEKKO

Tässä luvussa esitellään jääkiekkoa yleisellä tasolla. Ensimmäisen alaluvun aikana jääkiekosta esitellään yleistä tietoa. Toisessa alaluvussa esitellään jääkiekko-ottelun kulkua kuitenkin syventymättä liikaa pelin monivaiheisiin tapahtumiin ja sääntöihin. Kolmannen alaluvun aikana keskitytään jääkiekon kenttäpelaajien varusteisiin, joiden päälle, sisään tai alle liikuntateknologioita voidaan kiinnittää. Neljännen alaluvun aikana esitellään pelialue, jossa jääkiekkoa harjoitellaan ja pelataan sekä viimeisen alaluvun aikana esitellään lyhyesti jääkiekko-ottelun vaatimuksia jääkiekkoilijalle.

2.1 Yleistä

Jääkiekosta puhutaan yhtenä maailman nopeimmista joukkueurheilulajeista, jossa pelaajat suorittavat luistimillaan jäällä lukuisia korkean intensiteetin luitelujaksoja sekä suunnanmuutoksia yhdistettynä lukuisiin kehoon kohdistuviin iskuihin hyökkäys- sekä puolustustoimien aikana (Schulze, Laudner, Delank, Brill, & Schwesig, 2020). Joukkueurheilulajit ovat urheilulajeja, joissa kaksi tai useampi vastakkainen joukkue kilpailevat toisiaan vastaan tiettyjen sääntöjen ja kenttärajoitteiden mukaisesti (Seckin, Ates & Seckin, 2023). Fyysisiltä ominaisuuksiltaan jääkiekon on arveltu vuosien aikana vaativan pelaajilta anaerobista sprinttisuorituskykyä, lihasvoimaa, tehontuottoa sekä korkeaa aerobisen kapasiteetin tilaa (Burr ym., 2008).

Jääkiekossa kuten muissakin joukkueurheilulajeissa suorituskyvyn määrittäminen aiheuttaa haasteita. Yleensä joukkueurheilulajeissa suorituskykyä pidetään monimutkaisena kokonaisuutena, joka koostuu muun muassa fyysisistä vaatimuksista, motorisista taidoista, päätöksentekokyvystä, yhteistyöstä oman joukkueen pelaajien kanssa sekä pelaamisesta kollektiivisesti toista joukkuetta vastaan. (Grehaigne ym., 1999.) Kuten monissa joukkueurheilulajeissa, myös jääkiekon kilpailutilanteessa on tavoitteena tehdä maaleja vastustajan

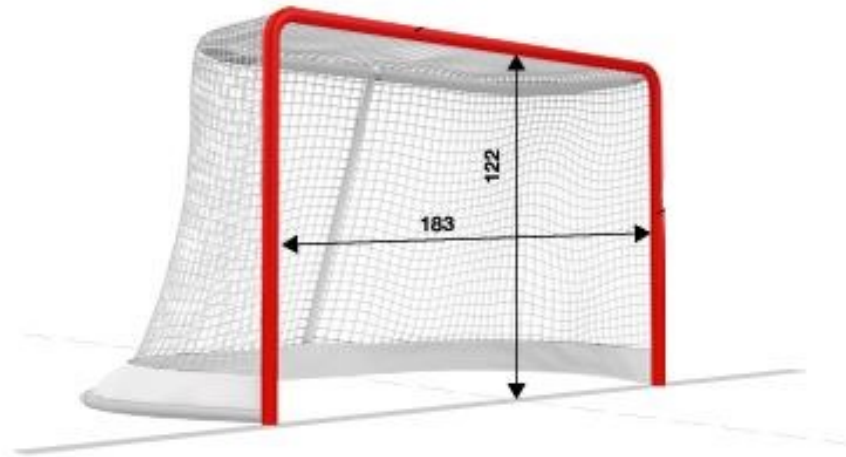
maaliin sekä samalla pyrkiä estämään vastustajaa tekemästä maaleja omaan maaliin (Nadeau, Godbout & Richard, 2008).

Jääkiekon nopeasta vauhdista kertoo muun muassa se, että otteluiden ja harjoitustilanteiden aikana pelaajien nopeus voi nousta jopa yli 40 km/h (Popkin, Schulz, Park, Bottiglieri & Lynch, 2016). Otteluiden aikana pelaajien korkeat nopeudet aiheuttavat merkittävän määrän erilaisia törmäyksiä, jotka voivat olla tahallisia tai tahattomia. Ottelun säännöt mahdollistavat muun muassa tarkoituksenmukaisen kontaktin hakemisen eli taklaamisen. Taklaamisessa pelaaja saa tarkoituksella ottaa kontaktia toiseen pelaajaan omalla vartalollaan hidastaakseen tai estääkseen toisen pelaajan etenemistä jäällä tämän pelaajan haluttuun suuntaan. Erilaisista törmäystilanteista taklauksia esiintyy eniten otteluiden aikana (Flik, Lyman, & Marx, 2005.) Ornon, Ziltener, Fritschy ja Menetrey (2020) tutkimuksen mukaan ammattilaisjääkiekkoilijoilla ilmenee jokaista 1000 tuntia jääkiekon harjoittelua tai ottelun pelaamista kohden keskimäärin 6 loukkaantumista, joita varten jääkiekkoilija tarvitsee lääkärin intervention.

2.2 Ottelun kulku

Jääkiekko-ottelun varsinainen peliaika kestää kolmen 20 minuutin kestoisen erän verran, jolloin ottelun kokonaiskestoksi muodostuu 60 minuuttia (Stanton & Björklund, 2023). Ottelussa molemmilla joukkueilla on kentällä normaalitylanteessa 6 pelaajaa (5 kenttäpelaaja sekä 1 maalivahti) pois lukien erikoistilanteet. Jääkiekko-otteluun ilmoitettava pelaajamäärä on yleensä 2 maalivahtia ja 19 tai 20 kenttäpelaajaa sarjojen sääntöjen mukaisesti. Pelaajat, jotka eivät ole kentällä ottelun aikana asettuvat vaihtopenkille (Kuvio 4) odottamaan omaa vuoroaan jäälle. Vaihtopenkillä oleva pelaaja voi osallistua peliin, kun ainakin yksi pelaaja siirtyy jäältä vaihtopenkille. (IIHF, 2024.)

Jääkiekko-ottelun voittaa kahdesta kilpailevasta joukkueesta se, joka tuottaa ottelun varsinaisen peliajan aikana enemmän maaleja. Jääkiekkomaali (Kuvio 1), johon pelaajat pyrkivät tekemään maaleja, ja jossa maalivahtit pyrkivät estämään kiekon kulkua maaliin on korkeudeltaan 122 cm ja leveydeltään 183 cm. Jos ottelu ei ratkea varsinaisella peliajalla, siirrytään ottelun sääntöjen mukaan jatkoerään ja sitten mahdolliseen rangaistuslaukauskilpailuun, jossa ottelun voittaja viimeistään ratkaistaan. (IIHF, 2024.)



KUVIO 1 Jääkiekkomaali ja sen mitat (korkeus 122 cm ja leveys 183 cm) kansainvälisen jääkiekkoliiton mukaan (IIHF, 2024).

2.3 Kenttäpelaajien varusteet

Jääkiekkoilijoiden mailat, joilla pyritään liikuttamaan jääkiekon pelivälinettä kiekkoa (Kuvio 3) ovat yleensä valmistettu puusta tai muusta kansainvälisen jääkiekkoliiton hyväksymästä materiaalista. Mailoissa ei saa olla niiden perusmuodon lisäksi mitään ulokkeita. Lisäksi jääkiekkomailojen enimmäispituudeksi on määrätty 163 senttimetriä. (IIHF, 2024.) Nykyään jääkiekkomailat ovat yleisimmin valmistettu jostain komposiittiseoksesta (Mendhurwar ym., 2020). Jääkiekon kenttäpelaajien kansainvälisen jääkiekkoliiton mukaiset otteluiden varusteet (Kuvio 2) koostuvat luistimista, mailasta, polvisuojista, housuista, rintapanssarista, kyynärsuojista, kaulasuojasta, hanskoista ja kypärästä. Ottelutapahtumiin pelaajien tulee pukeutua joukkueen mukaiseen yhtenäiseen peliasuun. (IIHF, 2024.)



KUVIO 2 Jääkiekon kenttäpelaajan pakolliset varusteet ottelutilanteissa. Naamasuoja voi vaihdella sarjan mukaan (kuvassa koko naaman suojaava muovista valmistettu visiiri). (IIHF, 2024.)

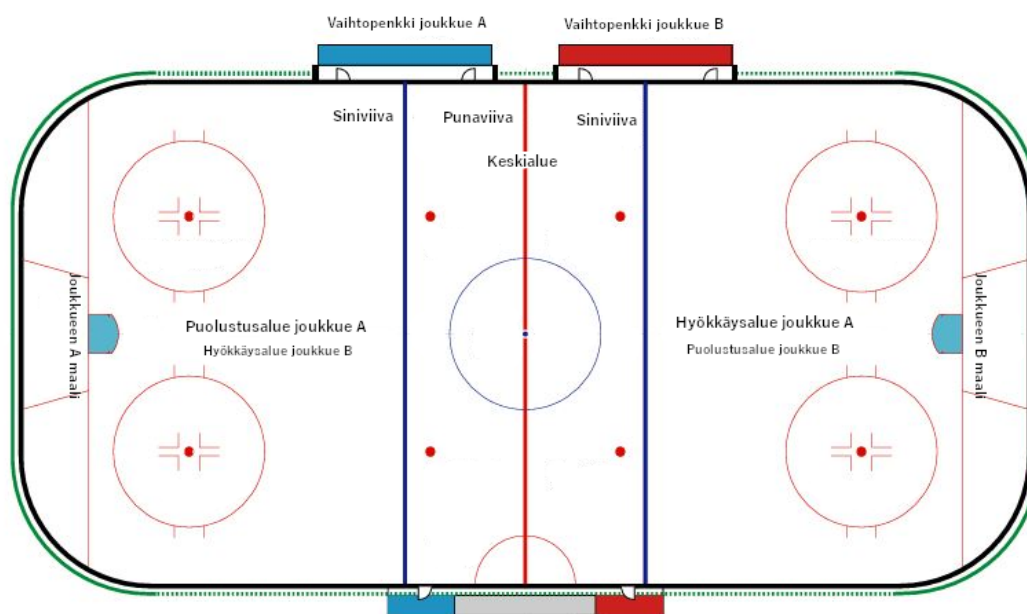
Ottelussa pelaajat liikuttavat mailojen avulla vulkanisoidusta kumista valmistettua pelivälinettä kiekkoa (Flik ym., 2005). Kiekko (Kuvio 3) painaa virallisen kansainvälisen jääkiekkoliiton ohjeistuksen mukaan 156–170 grammaa, on halkaisijaltaan 7,6 cm ja paksuudeltaan 2,5 cm (IIHF, 2024).



KUVIO 3 Jääkiekon kansainvälisen jääkiekkoliiton hyväksymä peliväline (IIHF, 2024).

2.4 Pelialue

Jääkiekon pelialueen koko saattaa vaihdella maasta ja kilpailutapahtumasta riippuen. Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa jääkiekon pelialueen koko on yleisimmin 61 m x 26 m, Suomessa 60 m x 28 m ja Euroopassa 60 m x 30 m, joka saattaa kuitenkin poiketa alueittain. Jääkiekkoa pelataan kiinteällä jääalustalla, jota ympäröivät tukevat pystysuorassa jäähän nähden olevat laidat. (Popkin ym., 2016.) Pelaajien vaihtopenkit (Kuvio 4) ovat jääkiekkokaukalon ulkopuolella jään välittömässä läheisyydessä. Jääkiekossa kenttäalueelle on merkitty myös erilaisia viivoja rajaamaan ja selkeyttämään pelialueita sekä ottelun sääntöjä. (IIHF, 2024.)



KUVIO 4 Jääkiekon pelialue, jota ympäröi yhtenäinen kaukalo. Kuvaan merkittyjen sini- viivojen väliin muodostuu jääkiekko-ottelun keskialue. Myös pelin hyökkäys- sekä puolustusalueet, joukkueiden vaihtopenkit ja joukkueiden maalien paikat kuvattu kuvioon. (IIHF, 2024.)

2.5 Ottelun kuormittavuus

Jääkiekko on nopeatempoinen palloilulaji, jossa pelaajat toistavat otteluiden aikana nopeatempoisia luistelujaksoja jäällä noin 30–80 sekunnin vaihtojen aikana. Otteluissa pelaajat muuttavat useasti nopeutta ja luistelusuuntaa ottelun vaateiden mukaisesti. Yleensä jääkiekon kenttäpelaajat liikkuvat 60 minuutin ottelun aikana jäällä noin 15–25 minuuttia. Lähes 50 prosenttia ottelun aikaisesta liikkumisesta tapahtuu korkean intensiteetin luistelunopeuksilla. Yleensä hyökkääjät hyödyntävät korkeaa intensiteettiä enemmän kuin puolustajat. (Vigh-Larsen & Mohr, 2022.) Korkean intensiteetin jääkiekko-otteluiden vaihtojen aikana pelaajien syke on keskimäärin noin 85 % maksimisykkeestä (Stanula & Rocznik, 2014). Kokonaismatkaa jääkiekko-ottelun aikana kertyy yhteensä noin 4–6 kilometriä riippuen pelaajan peliajasta, pelipaikasta ja joukkueen taktiikasta. Tutkimuksen mukaan noin 4.6 kilometriä otteluiden aikana luistelevat pelaajat liikkuvat yli 2.2 kilometriä vähintään 17 km/h vauhdilla. (Lignell, Fransson, Krustup & Mohr, 2018.)

3 LIIKUNTATEKNOLOGIAT URHEILUSSA

Tässä luvussa keskitytään liikuntateknologioihin urheilussa. Luvun aikana määritellään liikuntateknologian käsite tätä tutkielmaa varten sekä esitellään tutkielman kannalta keskeisimmät käsitteet. Luvun lopussa esitellään liikuntateknologioiden käyttöä joukkueurheilulajeissa.

3.1 Keskeiset käsitteet

Tutkielman keskeisimpien käsitteiden esittelemisen tavoitteena on helpottaa lukijaa hahmottamaan ja jäsentämään tutkielman etenemistä sekä lisäämään tietoutta liikuntateknologian aihepiirissä esiintyvistä yleisimmistä käsitteistä.

3.1.1 Liikuntateknologia

Liikuntateknologian käsite ei ole vakiinnuttanut paikkaansa kansainvälisenä käsitteenä (Moilanen, 2017; Ratten, 2019). Ratten (2019) mukaan liikuntateknologia on vielä kohtalaisen tuore ja vähän tutkittu ala, jonka vuoksi myös käsitteistöä voi olla vaikea määritellä. Moilanen (2017, s. 19) määrittelee väitöskirjassaan liikuntateknologian seuraavanlaisesti:

Tarkoitan liikuntateknologialla tässä työssä kaikkia sellaisia digitaalisia, informaatioteknologiaan perustuvia kokonaisuuksia, joiden avulla voidaan mitata, tallentaa ja analysoida liikuntaan ja muuhun fyysiseen aktiivisuuteen liittyvää dataa sekä jalostaa sitä käyttäjän tarpeiden mukaisesti.

Lisäksi Moilanen (2017) mainitsee, että liikuntateknologia voi tarkoittaa itsessään fyysistä laitetta, jolla mitataan fyysistä aktiivisuutta liikunnan tai urheilun aikana. Liikuntateknologiasta voidaan puhua myös silloin, kun kyseessä on liikuntakontekstiin sidonnainen ohjelmisto tai digitaalinen palvelu (Moilanen, 2017). Omeregje (2016) mukaan liikuntateknologiat ovat ihmisten kehittämiä ja

valmistamia kokonaisuuksia, joiden avulla pyritään saavuttamaan inhimillisiä etuja tai tavoitteita tietyssä urheilulajissa. Liikuntateknologioiden avulla pyritään kehittämään urheilijan kokonaisvaltaista suorituskykyä niin harjoittelu- kuin kilpailuympäristössä (Omoregie, 2016).

Tässä tutkimuksessa liikuntateknologian käsite rajataan tarkoittamaan kaikkia niitä informaatioteknologian kokonaisuuksia, joiden avulla tutkittavista voidaan kerätä jotain dataa, jonka perusteella urheilusuoritusta voidaan lopulta arvioida.

3.1.2 Puettava teknologia

Puettavalla teknologialla tarkoitetaan laitetta, joka on kiinnitetty suoraan henkilöön tai on henkilön kannettavissa helposti esimerkiksi vaatteisiin kiinnitettynä (Godfrey ym., 2018). Nykyisiin älypuhelimiin ja tabletteihin verrattuna puettavien teknologioiden lisäarvona voidaan pitää sitä, että ne voivat tarjota erilaisia seurantaominaisuuksia, kuten fysiologisten ominaisuuksien seuranta (Khan, Parkinson, Grant, Liu & Mcguire, 2020).

3.1.3 GPS

GPS (eng. Global Positioning System) eli maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä on satelliittipohjainen järjestelmä, joka tarjoaa ensisijaisesti tietoa henkilön sijainnista ja kulkunopeudesta (Butte, Ekelund & Westerterp, 2012). GPS:n toiminta perustuu radiosignaalin kulkemiseen satelliitin ja maan päällä olevan GPS-vastaanottimen yhteistoimintaan, jotka havaitsevat vastaanottimen liikumisen sijainnin ja mahdollisen liikkumisnopeuden. Kun vastaanottimen hetkellinen sijainti on saatavilla ja sitä aletaan liikuttamaan, pystytään sen jälkeen laskemaan vastaanottimen nopeus. Nopeutta laskiessa tulee huomioida radiosignaalin lähetysnopeus. (Aughey, 2011.)

GPS-teknologian käytössä on havaittu useita tekijöitä, jotka vaikuttavat mittauksen luotettavuuteen. Esimerkiksi laitteen näytteenottotaajuus, GPS-vastaanottimen sijainti, laitteen toimintaympäristö, satelliittisignaali sekä datan suodatusmenetelmät ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustarkkuuteen. (Malone, Lovell, Varley & Coutts, 2017). Yhtenä GPS:n korkean tarkkuuden puutteena pidetään yleensä sitä, että järjestelmä toimii vain avoimella alueella, jossa on kohtalainen määrä käytettävissä olevia satelliitteja ja niiden välillä on sopiva geometrinen jakautuminen (Alt, Baumgart, Ueberschär, Freiwald & Hoppe, 2020; Wu & Casciati, 2014).

GPS:n käytön hyödyt on havaittu myös urheilun parissa, mutta myös sen tarkkuuteen on kiinnitetty vuosien aikana huomiota erityisesti joukkueurheilulajeissa, joissa keskeisessä osassa on usein toistuvat pelaajien nopeat suunnanmuutokset sekä pelaajien nopeuksien vaihtelut. Tarkkuuden parantamiseksi GPS-teknologiaan on usein integroitu kiihtyvyyssanturi, joka reagoi herkemmin nopeisiin muutoksiin joukkueurheilun otteluiden aikana. (Camomilla, Bergamini, Fantozzi & Vannozzi, 2018.) Erityisesti joukkueurheilussa hyödynnetään

valmennuksen tukena GPS:n tuottamaa sijaintitietoa. GPS:n on kuitenkin todettu soveltuvan joukkueurheilulajeissa tehokkaasti havaitsemaan muun muassa pelaajien väsymystä otteluiden aikana, otteluiden intensiivisimmät jaksot, erilaisia aktiivisuusprofiileja pelipaikkojen perusteella sekä myös määrittämään kokonaisvaltaisesti kilpailun tasoa. (Aughey, 2011.)

3.1.4 Paikallinen paikannusjärjestelmä (LPS)

Paikallinen paikannusjärjestelmä (LPS, *eng. Local Positioning System*) on tekniikka, jota käytetään rakennuksen sisällä olevien ihmisten tai esineiden sijainnin selvittämiseen (Hasan, Hussein, Saad & Dzahir, 2018). Langattomat seuranta-tekniikat ja paikannusjärjestelmät sisältävät käytännössä useita langattomia vertailusolmuja (maamerkkejä), jotka on kiinnitetty kiinteisiin paikkoihin sekä yhteen päätelaitteeseen (kohde), jota niin sanotut vertailusolmut seuraavat (Dardari, Closas & Djurić, 2015). Toisin sanoen LPS on seurantatekniikka, josta GPS on yksi esimerkki ulkona toimivasta seurantatekniikasta. GPS:ssä vertailusolmuina toimivat satelliitit sekä päätelaitteena puhelin tai jokin muu päätelaite (vastaanotin), jonka liikkumista satelliitit seuraavat. (Khoury & Kamat, 2009.)

Sisällä toimivia LPS-seurantateknologioita ovat muun muassa langattomat lähiverkot, ultra-wideband radioteknologia sekä sisäinen GPS. (Khoury & Kamat, 2009.) LPS:ssä on hyödynnetty myös useita muita teknologioita, kuten infrapunaa, audiotaajuustunnistusta, Bluetoothia, ultraäänijärjestelmiä sekä videopohjaisia järjestelmiä. Monilla aloilla LPS:n käytöstä on tullut todellinen välttämättömyys ja teknologioiden avulla on pyritty varmistamaan sijainnin arvioiminen erinomaisella tarkkuudella. (Hasan ym., 2018.) Paikallinen paikannusjärjestelmä sisältää ainakin vähintään kaksi laitteiston komponenttia: mittaava laitteiston osa sekä signaalin lähetin (Vossiek, Wiebking, Gulden, Weighardt & Hoffmann, 2003.)

3.1.5 Magnetometri

Magnetometriä käytetään yleisesti ulkoisen magneettikentän suuruuden mittaamiseen. Magnetimetrin avulla voidaan johtaa paikallinen pohjoiseen osoittava suunta, joka muuttuessaan aiheuttaa muutosta myös magnetometrissa. Yleensä magnetometri kiinnitetään inertiamittausyksikköön, jossa se esimerkiksi urheilun aikana antaa tietoa vartalonasennon muutoksista ja muita suuntatietoja rajoitetuilla virheillä. (Kok & Schön, 2016; Wu & Shi, 2015.) Inertiamittausyksikössä magnetometri toimii yleensä yhdessä kiihtyvyyssanturin sekä gyroskoopin kanssa (Ahmad, Ghazilla, Khairi & Kasi, 2013).

3.1.6 Kiihtyvyyssanturi

Kiihtyvyyssanturit ovat pieniä, kevyitä ja kannettavia laitteita, jotka tallentavat liiketietoja yhdessä tai useammassa tasossa samalla keräämällä tietoa fyysisen toiminnan toistuvuudesta, kestosta ja intensiteetistä (Chen & Bassett, 2005). Nykyiset kiihtyvyyssanturit pystyvät tallentamaan tietoa fyysisestä aktiivisuudesta pitkiäkin aikoja. Laitteen tuottama data kalibroidaan yleensä siten merkitykselliseksi fyysisen aktiivisuuden tai energiankulutuksen indikaattoriksi. (Butte ym., 2012.)

Ensimmäiset tutkijoiden hyväksymät kiihtyvyyssanturipohjaiset ratkaisut hyväksyttiin testattavaksi tutkimuskäyttöön 1980-luvun aikana, jonka jälkeen niiden kehitysprosessi jatkui, kunnes lopulta kiihtyvyyssanturit vakiinnuttivat paikkansa tutkimuskäytössä 1990-luvulla (Troiano, McClain, Brychta & Chen, 2014). Merkittävät tekniset edistysaskeleet kiihtyvyyssantureissa ja muussa mikroelektronikassa on otettu erityisesti vuoden 2004 jälkeen. Kannettavat kiihtyvyyssanturipohjaiset laitteet fyysisen aktiivisuuden mittaamiseen on voitu sittemmin rakentaa paljon suuremmalla muisti- ja akkukapasiteetilla, laajemmalla kiihtyvyyssalueella sekä pienemmällä koolla ja useimmissa tapauksissa myös merkittävästi halvemmalla kuin useita vuosia aiemmin (Troiano ym., 2014). Tyypillisesti kiihtyvyyssantureita asennetaan urheilussa ranteeseen, sääreen tai lantioon kiinnittämällä ne jonkinlaisen nauhan avulla tai kiinnittämällä kiihtyvyyssanturit suoraan kannettavaan vyöhön.

Kiihtyvyyssanturien keräämä data ei suoranaisesti anna tietoa fyysisestä aktiivisuudesta eikä sitä yleensä käytetä siten. Monissa tapauksissa raaka kiihtyvyyssanturien tuottama data muutetaan tai kalibroidaan johonkin mittareihin, jotka voidaan yhdistää johonkin biologiseen muuttujaan, kuten sykkeeseen tai energiankulutukseen. (Freedson, Pober & Janz, 2005.)

3.1.7 Gyroskooppi

Gyroskooppi voidaan määritellä yleisesti johonkin runkoon asennettuna laitteena, jonka avulla pystytään havaitsemaan kulmanopeus rungon pyöriessä (Passaro, Cuccovillo, Vaiani, Carlo & Campanella, 2017; Scarborough, 1958). Tarkemmin määriteltynä gyroskooppi tarkoittaa mekaanista laitetta, jonka olennainen osa on vauhtipyörä. Vauhtipyörä koostuu painavasta reunasta, joka on asennettu siten, että pyöriessään suurella nopeudella sen pyörimisakseli voi kääntyä mihin tahansa suuntaan kiinteän pisteen ympäri sillä kyseisellä akselilla. Nopeasti pyörivä vauhtipyörä, joka on asennettu edellä kuvatulla tavalla, vastustaa kaikkia yrityksiä muuttaa pyörimisakselinsa suuntaa. Toisin sanoen vauhtipyörä jatkaa pyörimistasonsa säilyttämistä. (Scarborough, 1958.)

Urheilussa gyroskooppien hyödyntäminen perustuu kulmanopeuden mittaamiseen, josta on myös mahdollista laskea kulmakiihtyvyyttä saavutettujen kulmanopeuksien perusteella. Kirjallisuuden perusteella gyroskooppien käytössä on kuitenkin havaittu jonkin verran enemmän mittausvirheitä kuin esimerkiksi kiihtyvyyssanturien käytössä, jotka ovat myös urheilussa yleisessä mit-

tauskäytössä. Siitä huolimatta gyroskooppeja hyödynnetään mittauksissa kiihtyvyyssantureiden tukena erityisesti dynaamisissa olosuhteissa, sillä niiden avulla on mahdollista poistaa painovoiman osuus kiihtyvyystiedoista. (Cammilla ym., 2018.)

3.1.8 Inertiamittausyksikkö

Inertiamittausyksiköt koostuvat pääasiassa erilaisista laitteista, jotka mittaavat nopeutta, suuntaa ja painovoimaa. Aikaisemmat inertiamittausyksiköt koostuivat kahden tyyppisistä antureista: kiihtyvyyssantureista sekä gyroskoopeista. Myöhemmin inertiamittausteknologiaan on integroitu myös magnetometri lisäämään mittausten luotettavuutta. (Ahmad ym., 2013.) Kiihtyvyyssanturin sekä gyroskoopin sisältävät inertiamittausyksiköt mahdollistavat lyhytaikaisten muutoksien seurannan nopeudessa sekä sijainnissa. Magnetometrin integroiminen laitteeseen mahdollistaa vielä tarkemman tiedon keräämistä mitattavan suunnasta sekä asennoista. (Tan, Wilson & Lowe, 2008.)

3.1.9 Sykemittari

Sykemittari on kehittynyt vuosien varrella yhdeksi laajalti käytetyimmäksi harjoittelun mittausvälineeksi monien urheilulajien parissa. Sykemittareita käytetään pääsääntöisesti harjoittelu- tai kilpailutilanteen intensiteetin määrittämiseen. Verrattuna muihin harjoittelun intensiteetin mittausmenetelmiin sykemittarin avulla sykettä on helppo seurata, laite on suhteellisen halpa ja se soveltuu monenlaisiin tilanteisiin. (Achten & Jeukendrup, 2003.) Ensimmäinen langaton sykemittari esiteltiin vuonna 1982 Polar Electron toimesta, joka koostui rintaan kytkettävästä lähettimestä sekä ranteeseen kytkettävästä vastaanottimesta. Ideana oli tarjota urheilijoille reaaliaikaista palautetta urheilusuorituksesta. (Laukkanen & Virtanen, 1998.)

3.2 Liikuntateknologiat joukkueurheilussa

Viimeisen vuosikymmenen aikana uudet teknologiset innovaatiot ovat kiihdyttäneet joukkueurheilulajien kehitystä, mikä on vaikuttanut välittömästi myös joukkueiden toimintaan (Pino-Ortega, Oliva-Lozano, Gantois, Nakamura & Rico-Gonzalez, 2022). Akenhead ja Nassis (2016) mukaan teknologian kehityksen myötä joukkueurheilussa pelaajien seurantateknologiasta on tullut yksi tärkeimmistä kuormituksen arvioinnin menetelmistä. Seurantamenetelmät perustuvat yleensä liikkuvan kohteen sijaintiin ja nopeuteen (Bajaj, Ranaweera & Agrawal, 2002). Urheilussa seurantateknologiat nähdään mahdollisesti kilpailuetuna, joka säästää aikaa ja mahdollistaa tehokkaamman päätöksentekoprosessin (Vanrenterghem, Nedergaard, Robinson & Drust, 2017).

Pino-Ortega ym. (2022) tekivät seurantateknologioista havainnon, jossa paikalliset paikantamisjärjestelmät vaikuttaisivat olevan tarkempi seurantateknologia joukkueurheilussa urheilijoiden seuraamiseen kuin GPS tai videoteknologia. Seurantateknologioiden keräämän datan avulla arvioidaan esimerkiksi urheilijoiden ulkoista kuormitusta (Torres-Ronda, Beanland, Whitehead, Sweeting & Clubb, 2022). Seurantatietoja voidaan yhdistää myös muilla menetelmillä kerättyihin tietovirtoihin, kuten kuormituksen ja suorituskyvyn suhteen analysoimiseksi, asianmukaisen harjoittelun ja kilpailukuormituksen suunnittelun tukemiseksi sekä loukkaantumis-, sairaus- ja ei-toiminnallisen ylikuormituksen riskin minimoimiseksi (Halson, 2014). Monissa joukkuelajeissa ulkoisen kuormituksen monitorointi antaa tärkeää tietoa harjoittelu- ja kilpailuominaisuuksien syvällisempään ymmärtämiseen (Torres-Ronda ym., 2022).

Pino-Ortega ja Rico-González (2021) jaottelevat kirjassaan joukkueurheilun datan keräysteknologioiksi: seurantateknologiat, puoliautomaattiset usean kameran järjestelmät, GPS-teknologiat, paikalliset paikannusjärjestelmät, mikroelektromekaaniset järjestelmät sekä puettavat teknologiat. Dellaserra, Gao ja Ransdell (2014) tutkimuksessa tutkittiin joukkuelajien kenttätestauksessa hyödynnettäviä teknologioita, jotka tutkimuksen perusteella jaettiin neljään kategoriaan: liikemallien määrittäminen, harjoittelu- ja kilpailutilanteen vaativuuseron määrittäminen, fysiologisten vasteiden mittaaminen sekä sprinttien ja nopeuksien määrittäminen.

4 KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TOTEUTUS

Tässä luvussa esitellään tutkielman toteutus. Luvun aikana esitellään tutkimusongelma, tutkimusmenetelmät sekä tutkimuskysymykset.

4.1 Tutkimusongelma

Tutkin tietojärjestelmätieteiden kandidaatin tutkielmassa aihetta ”liikuntateknologian lisäarvo huippu-urheilussa”, joka antoi kosketuspintaa liikuntateknologian käsitteeseen liikunnan ja urheilun parissa. Kandidaatin tutkielman jälkeen suoritin liikuntateknologian maisteriohjelman, joka avarsi liikuntateknologian näkökulmaa eri lajien parissa ja aloin silloin jo pohtimaan liikuntateknologioiden käyttöä syvällisemmin eri lajien parissa. Oma kokemus jääkiekon parissa valmentajana lisäsi omaa pohdintaa liikuntateknologioiden käytöstä jääkiekon parissa. Samalla pohdin, että päivittäisvalmennuksessa liikuntateknologiat voivat olla erittäin vieras käsite valmentajien keskuudessa.

Liikuntateknologian maisteriohjelman gradutyössäni selvitin, kuinka jääkiekkoilijoiden kynnysyökkeet eroavat, kun työtä tehdään juosten, luistellen ja pyöräillen. Lukiessani kirjallisuutta tutkielmaani varten huomasin nopeasti, että pyörittelen samoja jääkiekon aihepiirin artikkeleita, jotka olivat vasta tulleet vastaan hakukoneista. Uudet hakusanamuotoilut jääkiekon aihealueen ympärillä päättyivät nopeasti samoihin lopputuloksiin. Pohdin ensimmäisen pro gradu-tutkielmani jälkeen jääkiekon tutkimuskenttää ja kahlasin uudelleen läpi artikkeleita eri hakukoneista ja nopeasti selvisi, että aiheesta löytyy jo jonkin verran tutkimustietoa, mutta ei kuitenkaan vielä paljoa. Lisäksi havaitsin myös, että jääkiekkoilijoiden tarkempaa ja yksityiskohtaista analysointia on tehty vasta vähän. Edellä mainittujen pohdintojen jälkeen alustavaksi tutkimuskysymykseksi valikoitui:

- Kuinka jääkiekkoilijoita voidaan analysoida?

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen jälkeen havaitsin, että tutkimuskysymys ei ole riittävän tarkka. Uuteen rajaukseen vaikutti muun muassa se, että halutaanko jääkiekkoilijoita tutkia pelkästään jäällä vai myös jään ulkopuolella. Tässä vaiheessa rajausta tehtiin siten, että tutkitaan jääkiekkoilijoita jäällä, koska siellä jääkiekkoilijoiden ominaisuuksia lopullisesti mitataan, kun peliä pelataan ja kilpaillaan toisia joukkueita vastaan. Toinen tärkeä rajausta tuli tehdä tässä vaiheessa liittyen analysointikäsitteeseen. Tietojärjestelmätiede alana tutkii tietojärjestelmien kehittämistä, käyttöä ja sen sovelluksia. Analysointikäsite voi itsessään viitata myös erilaisiin matemaattisiin menetelmiin, joiden avulla jääkiekkoilijoita voidaan myös tutkia ja arvioida. Pohdintojen ja rajausten jälkeen lopputulemana tutkielman tavoitteena oli selvittää, millaisia liikuntateknologioita hyödynnetään jääkiekon parissa jääkiekon kenttäpelaajien mittaamiseen ja seurantaan jääharjoitteluiden sekä otteluiden aikana. Lopulliseksi tutkimuskysymyksiksi muodostui:

- Mitä liikuntateknologioita hyödynnetään jääkiekon kenttäpelaajien mittaamiseen ja seurantaan jääharjoitteluiden aikana?
- Mitä liikuntateknologioita hyödynnetään jääkiekon kenttäpelaajien mittaamiseen ja seurantaan jääkiekko-otteluiden aikana?
- Mitä tietoja havaituilla liikuntateknologioilla voidaan kerätä jääkiekon kenttäpelaajista?
- Miten kerättyä tietoa voidaan hyödyntää jääkiekossa?

4.2 Tutkimusmenetelmät

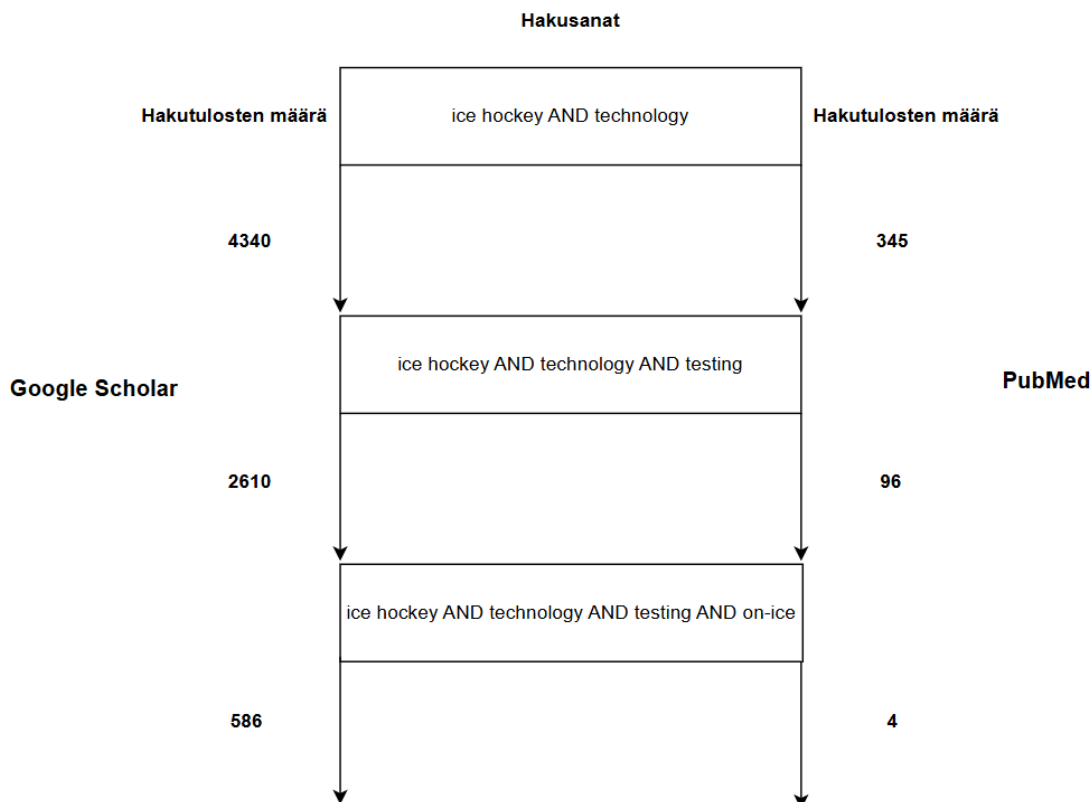
Tämä pro gradu -tutkielma toteutettiin hyödyntäen systemaattisen kirjallisuuskatsauksen piirteitä. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen piirteiden hyödyntäminen kirjallisuuskatsauksessa lisää tarkkuutta kirjallisuuden hakuun sekä kirjallisuuden valintaprosesseihin (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015). Tutkielman teossa hyödynnettiin Brereton, Kitchenham, Budgen, Turner ja Khalil (2007) ohjeita mukailien seuraavien kohtien mukaisesti:

1. Määrittele tutkimuskysymykset
2. Määrittele tutkimuksen säännöt
3. Arvioi tutkimusten sääntöjä
4. Etsi aiheeseen sopivat tutkimukset
5. Valitse sopivimmat tutkimukset
6. Arvioi tutkimusten laatu
7. Poimi oleellinen tieto
8. Yhdistä ja vertaile poimittua tietoa
9. Kirjoita tutkimusraportti
10. Arvioi ja työstä tutkimusraporttia

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa määriteltiin tutkimuskysymykset, jonka prosessi kuvattu luvun 4.1. aikana. Tutkimuksen toisessa vaiheessa määriteltiin tutkimuksen teon kannalta oleelliset säännöt: valittiin tietokannat, joista kirjallisuutta etsittiin, määritettiin hakusanat sekä artikkelien sisäänotto- ja poissulkukriteerit. Tietokannoiksi valikoitui aiemmissa tutkielmien teoissa hyödynnetyt Google Scholar sekä PubMed, joista ensisijaisena hyödynnettiin Google Scholaria. Google Scholar valikoitui tietokannaksi, sillä se näyttää kattavasti kaiken tasoiset artikkelit ja muut lähteet, jotka liittyvät hakusanoihin. PubMed vastavasti valikoitui sen vuoksi, sillä se on yksi suosituimpia tietokantoja terveystieteiden ja urheilututkimusten joukossa. PubMed tarjoaa näistä kahdesta tietokannasta aihealueen kannalta osuvimpia tieteellisiä julkaisuja. Näitä hakukoneita hyödynnettiin tutkimuksen aikana rinnakkain eri hakusanoja käyttämällä. Tutkimuksen aikana havaittiin, että osa artikkeleista oli osittain tai kokonaan piilotettu näissä kahdessa tietokannassa, joten kolmantena tietokantana artikkelien lukemiseen hyödynnettiin JYKDOKin kansainvälisten artikkelien hakua. JYKDOKin avulla pyrittiin vain etsimään pääsy koko artikkelin sisältöön eikä sitä tietokantaa hyödynnetty muulla tavoin. Tutkimuksen kirjallisuudeksi etsittiin ensisijaisesti tieteellisiä vertaisarvioituja julkaisuja alan lehdistä. Hakusanoja käytettiin tutkimuksen aikana vain englanniksi, koska alan lehdet julkaistaan pääasiassa englanninkielisissä lehdissä. Tutkimuksen kirjallisuuden läpikäyminen suoritettiin kolmen eri hakukerran avulla (Kuvio 5) hyödyntäen seuraavia hakusanoja:

- 1) ice hockey AND technology
- 2) ice hockey AND technology AND testing
- 3) ice hockey AND technology AND testing AND on-ice

PubMedissä sekä Google Scholarissa hakusanojen tuli löytyä tutkimuksen mistä tahansa tekstinosasta. Ensimmäinen hakukerta tuotti PubMedissä 345 hakutulosta ja Google Scholarista löytyi 2990 hakutulosta. Näistä hakutuloksista huomioitiin Google Scholarissa ensimmäiset 100 ja PubMedissä ensimmäiset 200 hakutulosta, koska sen jälkeen huomattiin, että artikkelien aiheet muuttuivat tämän tutkielman kannalta epärelevantteiksi. Ensimmäisen hakukerran aikana löysin lähteen, jossa mainittiin, että PubMedin hakusanojen "jäähkiekko" ja "suorituskyky" käyttö tuottaa 0 julkaistua tutkimusta vuonna 2000, mutta vuonna 2021 jo 62 julkaistua tutkimusta (Staunton & Björklund, 2023). Tästä syystä hakutulokset rajattiin koskemaan 2000-lukua, jolla myös varmistettiin artikkelin ajankohtaisuus.



KUVIO 5 Tutkielman hakusanojen käyttö ja hakutulosten määrät Google Scholarissa ja PubMedissä.

Hakusanojen toinen haku tuotti PubMedissä 96 tulosta ja kolmas tarkempi haku 4 tulosta. Näitä hakusanoja vastaavat haut tehtiin myös Google Scholarissa, jossa toinen haku tuotti 2610 hakutulosta ja kolmas haku 586 hakutulosta. Toisen ja kolmannen haun tuloksista vain ensimmäiset 100 hakutulosta huomioitiin tutkimukseen, kuten myös ensimmäisessä haussa. Hakutuloksien artikkeleista tutkimukseen valikoitui artikkelit, joissa käsiteltiin informaatioteknologian kokonaisuuksia jääkiekon kenttäpelaajien keskuudessa jäällä. Näiden informaatioteknologioiden tuli kerätä tutkittavista jotain dataa, jonka perusteella urheilu suoritusta voidaan lopulta arvioida. Hyväksytyjen artikkelien tuli täyttää vähintään Julkaisuforumin luokitus 1. Tutkielmaan ei hyväksyty artikkeleita, joissa käsiteltiin jääkiekossa hyödynnettyjä teknologioita, jotka eivät kerää ja tarjoa tietoa jääkiekkoilijan urheilu suorituksesta. Tutkielmassa seurattiin myös valittavien artikkelien viittausmäärää. Viittausmäärän tarkastelu perustui hakukoneen Google Scholarin ilmoittamaan lukuarvoon. Vähäisten aihealueen tutkimusten vuoksi viittausmäärä ei vaikuttanut kuin yksittäisten artikkelien karsimiseen.

5 LIIKUNTATEKNOLOGIAT JÄÄKIEKOSSA

Tämän luvun aikana käsitellään liikuntateknologioita, joiden avulla jääkiekon pelaajia voidaan mitata ja seurata jääharjoitteluiden sekä otteluiden aikana. Tämän luvun alku käsittelee jääharjoitteluiden aikaisia liikuntateknologioita, joita on hyödynnetty tieteellisen kirjallisuuden perusteella jääkiekkoilijoiden mittaamiseen. Jääharjoitteluiden aikana hyödynnetyt liikuntateknologiat kootaan yhteen luvun ensimmäisen yhteenvedon aikana. Tämän jälkeen luvun aikana käsitellään liikuntateknologioita, joita hyödynnetään otteluiden aikaiseen jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja seurantaan. Otteluiden aikana hyödynnetyt liikuntateknologiat esitellään luvun lopussa.

5.1 Liikuntateknologiat jääharjoitteluissa

Ensimmäisessä alaluvussa esitellään liikuntateknologiat, joita hyödynnetään jääharjoittelun aikana jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja seurantaan.

5.1.1 Liikkuminen ja ulkoinen kuormitus

Luistelu on jääkiekon liikkumismuoto, jonka biomekaniikan tutkimista on kuitenkin toteutettu vielä kohtalaisen vähän jäällä vaikeiden datankeruu olosuhteiden vuoksi (Buckeridge, LeVangie, Stetter, Nigg & Nigg, 2015). Jääkiekon luisteluun liittyvissä tutkimuksissa kirjallisuudessa usein esiin nousee ajanottoon liittyviä teknologioita (Bond, Willaert, Rudningen & Noonan, 2017; Bracko & George, 2001; Dæhlin ym., 2017). Bond ym. (2017) tutkimus vertaili yhden valokennon, mikroprosessorilla varustetun laserin sekä digitaalisen videokameran ajanottotarkkuuden luotettavuutta 9.15 metrin luistelumatkan aikana. Digitaalisen videokameran avulla mitatut ajat olivat keskiarvollisesti noin 0.05–0.07 sekuntia nopeampia aikoja kuin kahdella muulla mittaamenetelmällä mitatut (Bond ym., 2017). Luistelun tutkimisessa on käytetty myös tutkaa, jolla on mitattu muun muassa maksiminopeuksia (Perez, Guilhem & Brocherie, 2022).

Ajanottoteknologioilla on pyritty selvittämään jääkiekkoilijoiden erilaisia nopeus- ja kestävyysominaisuuksia monia eri testiprotokolla hyödyntäen. Rocznik ym. (2016) tutkivat valokennojen avulla jääkiekkoilijoiden suoraluistelunopeutta 30 metrin matkalla sekä myös samaa matkaa takaperinluistelun avulla. Lisäksi tutkimuksessa toteutettiin 6 x 9 metrin luistelutestit käännöksillä ja pysähdyksillä sekä 6 x 30 metrin kestävyysluistelutesti (Rocznik ym., 2016). Bracko ja George (2001) tutkivat luistelunopeutta 6.10 metrin sprinttimatkalla, 47.85 metrin ketteryysluistelutestillä sekä 6 x 91.44 metrin kestävyysluistelutestillä, jossa tutkittavat luistelivat matkan 3 minuutin välein. Kestävyystestinä on hyödynnetty myös 48.8 metrin mittaista rataa jatkuvana luisteluna, jossa aloitusnopeutta 11.7 km/h kasvatettiin 0.8 km/h jokaisen kolmen 48.8 metrin kuormitusjakson jälkeen (Petrella, Montelpare, Nystrom, Plyley & Faught, 2007). Alle 18-vuotiailla jääkiekkoilijoilla kestävyyttä on testattu esimerkiksi 30–15 jäätetillä, jossa tutkittavien kuormitusjakso oli 30 sekuntia ja palautusjakso 15 sekuntia. Testin alussa tutkittavat aloittivat luistelun 10.8 km/h nopeudella ja nopeutta kasvatettiin 0.63 km/h jokaisen kuormitusjakson jälkeen. Tutkittavat luistelivat testissä 40 metrin päähän kartion luokse, johon vauhti pysäytettiin ja vaihdettiin suuntaa takaisin päin. Testissä tutkittaville annettiin äänimerkki 40 metrin matkan puolessa välin. (Buchheit, Lefebvre, Laursen & Ahmadi, 2011.)

Ajanottoteknologioiden lisäksi myös muilla menetelmillä on pyritty selvittämään pelaajien liikkumisnopeutta jäällä. Conners, Whitehead, Dodds, Schott & Quick (2022) tutkimuksessa vertailtiin infrapunavalokennojen sekä GPS:ää hyödyntävän pelaajienseurantajärjestelmän tarkkuutta jääkiekkoilijoiden luistelunopeuden sekä kiihtyvyyden määrittämiseen. Kyseinen pelaajienseurantajärjestelmä hyödyntää ulkotilassa GPS:ää, mutta sisätiloissa GPS:n ollessa saavuttamattomissa se aktivoi käyttöön liikkeiden tunnistamiseen inertiamittausyksikön, joka sisältää triaksiaalisen kiihtyvyyssanturin, gyroskoopin, magnetometrin sekä digitaalisen kompassin. Tutkimuksen mukaan pelaajienseurantajärjestelmä ei ollut validi teknologia 15.24 m sekä 35.05 m matkojen suoranopeuksien mittaamiseen sisätiloissa luistelun aikana (Conners ym., 2022).

Jääkiekkoilijoiden ulkoisen kuormituksen mittaamiseen on tutkimuksissa hyödynnetty puettavaa teknologiaa. Douglas ym. (2022) tutkimuksessa puettava inertiayksikkö kiinnitettiin keskivartaloon, johon integroitu triaksiaalinen kiihtyvyyssanturi, gyroskooppi ja magnetometri. Triaksiaalisen kiihtyvyyssanturin avulla tutkimuksen aikana mitattiin tutkittavan lineaarista liikettä kaikkiin eri suuntiin huomioiden myös kiihdytykset sekä liikkeen hidastumiset. Laitteen gyroskoopin ja magnetometrin avulla mitattiin vartalon kulmaliikkuvuutta ja -kääntymistä sekä vartalonasennon suunnan muutoksia. Tutkimuksen menetelmän avulla kyettiin erottelemaan eri tasoiset luistelijat luistelun intensiteetin sekä työkuorman perusteella. (Douglas ym., 2022.) Samanlaista inertiamittausyksikköä on käytetty myös muissa tutkimuksissa, joissa mittausyksikkö kiinnitettiin selän puolelle lapaluiden väliin. Inertiamittausyksikköä hyödyntämällä pystytään luotettavasti tunnistamaan jääkiekon aikaisia eteen- ja taaksepäin suuntautuvia liikkeitä sekä staattista liukuvaihetta. Lisäksi menetelmän avulla voidaan tunnistaa korkean-, keski- tai matalantason intensiteettejä. Näiden tie-

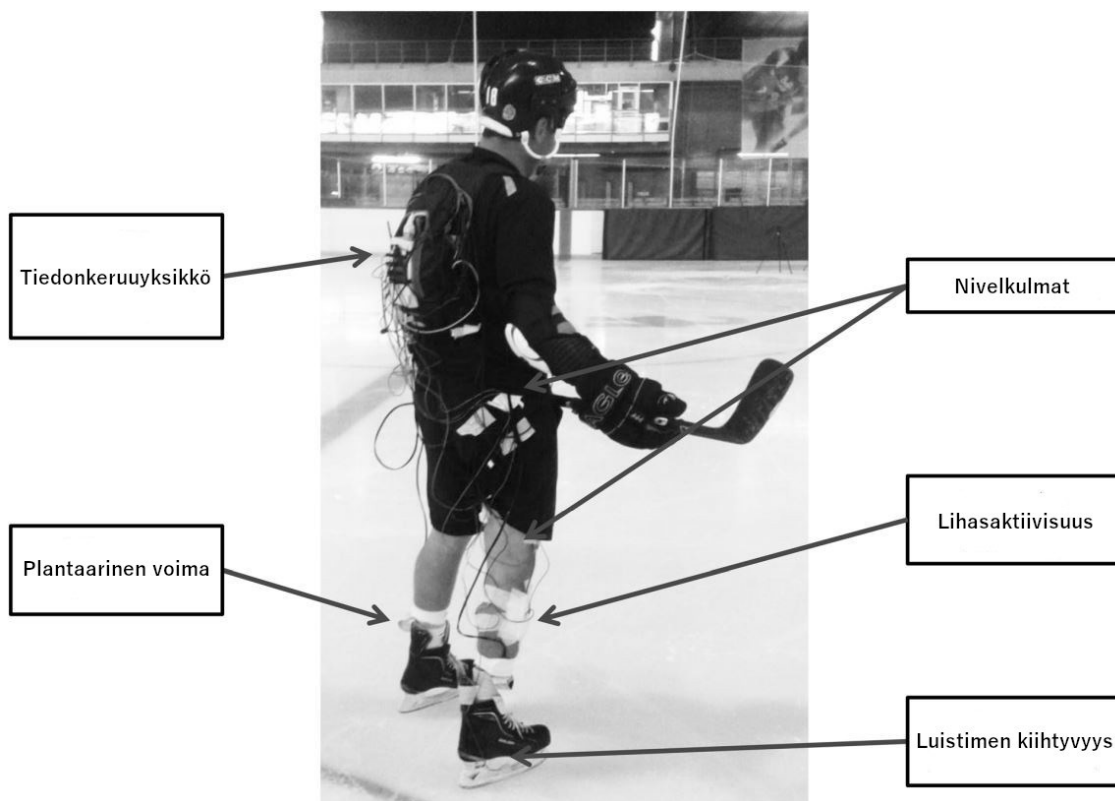
tojen avulla voidaan löytää jääkiekkoilijoiden heikkouksia ja vahvuuksia eri intensiteettien luisteluiden aikana, joita voidaan kehittää jääharjoitteluiden tai fysiikkaharjoitteiden aikana. (Van Iterson, Fitzgerald, Dietz, Snyder & Peterson, 2017.) Perez ym. (2022) tutkimuksessa pelaajille puettiin inertiamittausyksikkö harjoitusottelun ajaksi mittaamaan pelaajien liikkumisen intensiteettiä.

Puettavista teknologioista triaksiaalista kiihtyvyyssanturia on hyödynnetty omana inertiamittausyksikkönä ilman gyroskooppia ja magnetometriä. Kiihtyvyyssanturin avulla on tutkittu jääkiekkoilijoiden luistelun aikaista potkuvaihetta, jääkontaktia sekä palautusvaihetta. Kuviossa 5 on esitetty triaksiaalisen kiihtyvyyssanturin kiinnittäminen luistimeen. (Stetter, Buckeridge, von Tscherner, Nigg & Nigg, 2016.) Stetter, Buckeridge, Nigg, Sell ja Stein (2019) hyödynsivät myöhemmässä tutkimuksessaan samaa luistimen kiinnityskohtaa, jonka lisäksi tutkimuksessa tutkittaville kiinnitettiin triaksiaalinen kiihtyvyyssanturi myös alaselkään vyötärön kohdalle. Tutkimuksen perusteella kiihtyvyyssanturi antaa tietoa luistelutekniikan osatekijöistä, kuten potkuvaiheen kokonaisajasta, luistimen jääkontaktiajasta sekä massakeskipisteen kiihtyvyydestä. Kiihtyvyyssanturia hyödyntäen voidaan mahdollisesti tutkia jääkiekkoilijoiden luistelun kehittymistä esimerkiksi tekniikkamuutosten seurauksena. (Stetter ym., 2019.) Myös Rago, Mohr ja Vigh-Larsen (2023) tutkimuksessa hyödynnettiin selän puolelle kiinnitettyä kiihtyvyyssanturia, kun jääkiekkoilijoiden liikkumista ja kuormitusta tutkittiin harjoitteluolosuhteissa.



KUVIO 6 Triaksiaalisen kiihtyvyyssanturin kiinnittäminen luistimeen (musta ovaali) teipin avulla (Stetter ym. 2016).

Buckeridge ym. (2015) tutkivat sprinttiluistelua hyödyntäen triaksiaalisen kiihtyvyyssanturin ja valokennojen lisäksi myös lihasaktiivisuutta mittaavaa elektromyografiatekniologiaa, elektrogoniometriä sekä jalanpohjan paineenmittausjärjestelmää. Kuviossa 6 esitetty eri mittausteknologioiden kiinnittäminen tutkittavaan. Teknologiat painoivat yhteensä noin 4 kiloa. Jalanpohjan paineenmittausjärjestelmän avulla selvitettiin epäsuorasti plantaarista voimantuottoa hyödyntäen tietoa jalanpohjan paineiden muutoksista, elektromyografian avulla lihaksien aktiivisuutta ja elektrogoniometrian avulla nivelkulmien muutoksia lonkassa. Tutkimuksen menetelmän avulla on mahdollista selvittää esimerkiksi, kuinka lantiota tulisi käyttää potkuvaiheen yhteydessä, jotta luistelu olisi mahdollisimman tehokasta, samalla saaden tietoa jalkojen työskentelystä (Buckeridge ym., 2015.) Elektromyografiatekniologiaa on hyödynnetty sprinttiluistelun aikana jäähalliolosuhteissa muissakin tutkimuksissa. Tiedon avulla voidaan havaita lihakset, joita luistelija käyttää eniten luistelun aikana. Tätä tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi lihasvoimaharjoittelussa, jonka tavoitteena on kasvattaa lihasten voimantuottoa luistelun aikana. (Kaartinen ym., 2021; Stenroth, Vartiainen & Karjalainen, 2023.)



KUVIO 7 Tutkimuksessa esitettyjen teknologioiden kiinnityskohdat. Tutkittavalle asetettiin EMG-elektrodit, elektrogoniometrit, kiihtyvyyssanturit, jalkapohjan painetta mittaavat pohjalliset sekä tiedonkeruuyksikkö. Kuvaan merkitty teknologioiden mittaustarkoitukset sekä tiedonkeruuyksikkö. (mukailtu Buckeridge ym., 2015.)

Luistelun tutkimuksissa on hyödynnetty myös venymämittariantureita (Fortier, Turcotte & Pearsall, 2014; Stidwill, Turcotte, Dixon & Pearsall, 2009). Stidwill

ym. (2009) tutkivat vertikaalista ja horisontaalista voimantuottoa hyödyntämällä venymämittariantureita. Tutkimuksessa anturit kiinnitettiin luistimen terän pidikkeeseen. Vastaavasti Fortier ym. (2014) tutkimuksessa hyödynnettiin venymämittariantureita vertailtaessa kahden eri tavoin nilkkaa tukevan luistimen vaikutusta luistelun aikaiseen voimantuottoon. Venymämittarianturien avulla on mahdollista kerätä tietoa esimerkiksi jääkiekkoilijan kyvystä muuttaa luisteluun pysähtymisten ja erilaisten kääntymisten aikana, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi valmennuksen apuna luistelun kokonaisvaltaiseen kehittämiseen. (Fortier ym., 2014.)

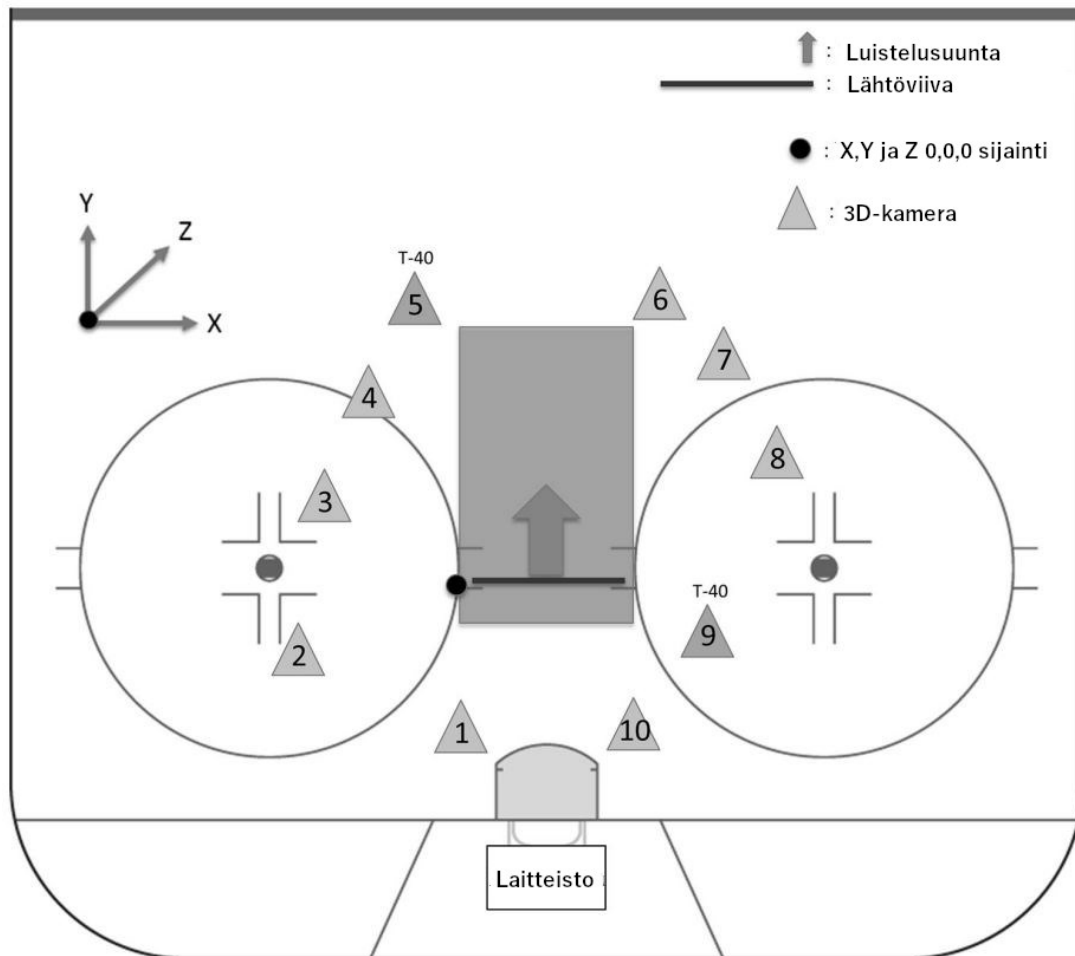
Aiemmin mainittujen teknologioiden lisäksi myös erilaiset videokuvaus-tekniikat ja liikkeenkaappausjärjestelmät ovat olleet käytössä myös jääkiekossa tapahtuvan luistelun tutkimuksissa viime vuosikymmenten aikana. Renaud ym. (2017) tutkivat luistelulähdön tekniikkaa ja alavartalon liikehdintää lähdön aikana hyödyntäen kymmentä infrapunakameraa. Tutkittaville kiinnitettiin liikkeenkaappausjärjestelmään kuuluvat markkerit alavartaloon (Kuvio 7) (Renaud ym., 2017).



KUVIO 8 Markkereiden asettelukohdat ennen tutkimuksen jäättestien aloittamista (Renaud ym., 2017).

Infrapunakameroiden ja puettujen 24 heijastavan markkerin avulla tutkittavien liikettä oli mahdollista mallintaa kolmiulotteiseksi malliksi. Alkuperäinen liikkeen kuvaus tapahtui jääolosuhteissa jäähallin testiprotokollan mukaisella radalla (Kuvio 8). Liikkeenkaappausjärjestelmän avulla tallennettu liike muutettiin ulkoisella ohjelmistolla analysoitavaksi kolmiulotteiseksi malliksi. Analysoitavan mallin avulla voidaan saada lisätietoa jääkiekkoilijan luistelutekniikas-

ta ja mahdollisesti löytää tekijöitä, joita parantamalla kokonaisvaltainen luistelu kehittyi. (Renaud ym., 2017.)

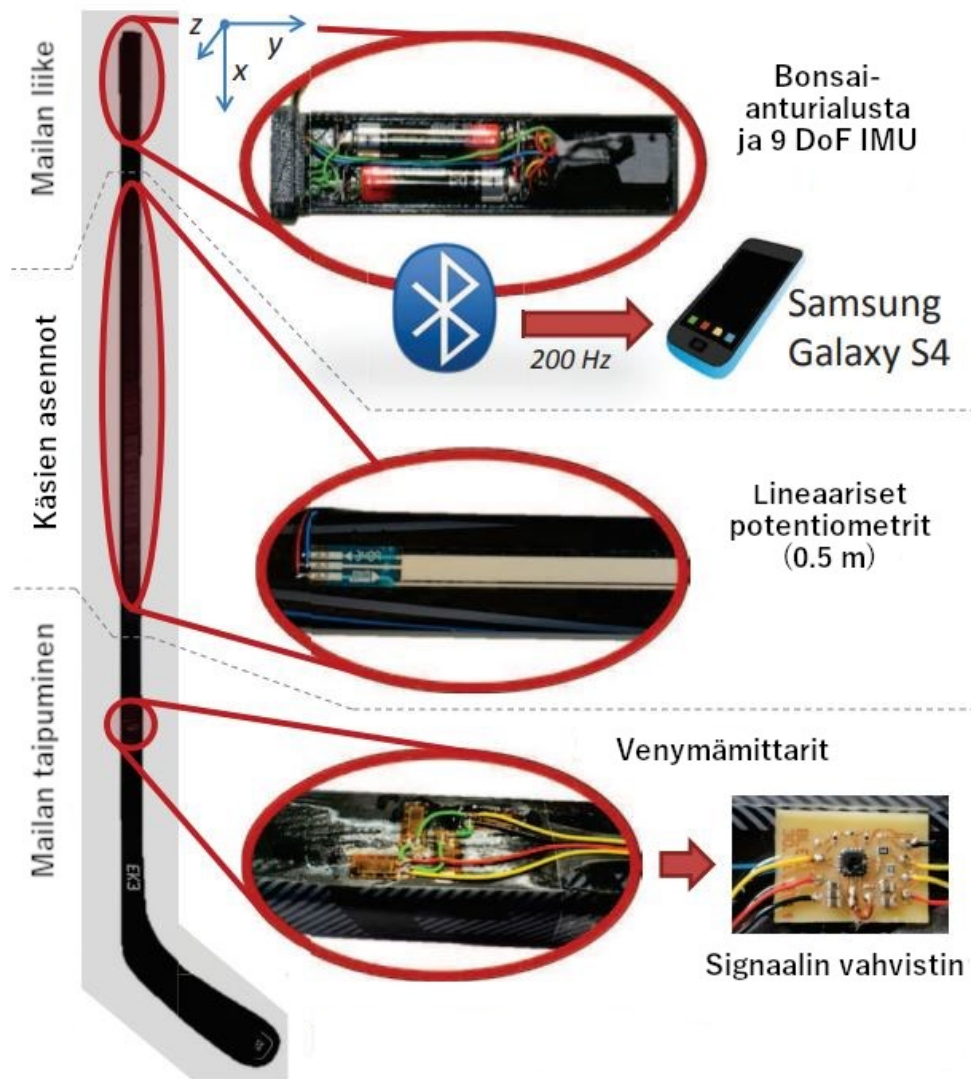


KUVIO 9 Tutkimuksen mukaisten kameroiden asettelu jäälle testiprotokollan mukaisesti (Renaud ym., 2017).

Myös Budarick ym. (2020) hyödynsivät kolmiulotteista liikkeenkaappausjärjestelmää jääkiekkoilijoiden luistelun biomekaniikan tutkimiseen paikaltaan lähdön sekä maksimaalisen vauhdin aikana. Menetelmä mahdollistaa luistelutekniikan arviointia luistelun kiihdytyksen eri vaiheissa, jonka perusteella voidaan havaita pelaajien kehityskohteita (Budarick ym., 2020). Samaa liikkeenkaappausjärjestelmää ovat hyödyntäneet muutkin tutkimusryhmät. Esimerkiksi Robbins, Renaud ja Pearsall (2021b) tutkivat eri tasoisten luistelijoiden eroavaisuuksia luistelutekniikassa, kun taas Shell ym. (2017) tutkimuksessa vertailtiin naisten ja miesten eroavaisuuksia luistelutekniikassa. Muuta videokuvausteknologiaa ovat hyödyntäneet Allisse ym. (2021), joiden tutkimuksessa laajakulmakameralla selvitettiin jääkiekkoilijoiden luistelutestin aikaisia aikoja sekä luistelupotkujen määriä. Luistelupotkujen määrät ja luisteluajat määritettiin videolta manuaalisesti jälkepäin (Allisse ym., 2021).

5.1.2 Laukominen

Jääkiekon laukomista jäällä on tutkittu kirjallisuuden perusteella vain vähän. Robbins ym. (2021a) toimesta on toteutettu laukomiseen liittyvä tutkimus, jossa hyödynnettiin kolmiulotteista liikkeenkaappausjärjestelmää. Liikkeenkaappausjärjestelmän avulla tutkittiin keskivartalon käytön yhteyttä laukaisun nopeuteen. Tutkimuksessa markkerit kiinnitettiin lantion sekä keskivartalon alueelle, jääkiekkomailan molempiin päihin sekä keskelle mailaa, ja myös kiekon päälle. (Robbins ym., 2021a.) Samalla tutkimusryhmällä toteutetussa laukaisu-tutkimuksessa keskityttiin lyöntilaukaukseen ja hyödynnettiin samanlaista liikkeenkaappausjärjestelmää. Tutkimuksessa tutkittiin olkapään ja vartalon välistä käyttäytymistä lyöntilaukauksen aikana eri tasoisten pelaajien välillä. (Robbins, Renaud, MacInnis & Pearsall, 2023.) Hardegger ym. (2015) laukomisen tutkimuksessa kehiteltiin sensorinen jääkiekkomaila (Kuvio 9), jonka avulla tutkittiin muun muassa suurinta mailan pyörimisnopeutta X, Y ja Z suunnissa, mailan ja jään välistä kontaktaa, maksimaalista mailan taipumista sekä käsien asentoa laukauksen aikana. Sensorinen maila yhdistettiin tutkimustiedon keräämiseksi Bluetoothin avulla älypuhelimien (Hardegger ym., 2015). Kolmiulotteista mallia sekä sensorista jääkiekkomailaa hyödyntämällä voidaan kerätä tietoa esimerkiksi pelaajan käsien ja keskivartalon käytöstä laukaisun aikana. Hyödyntäen kyseisiä menetelmiä jääkiekkoilijan tekniikkamuutoksiin voidaan tutkia esimerkiksi, mitä laukaisuteknisiä tekijöitä muuttamalla laukaisua voidaan tehostaa esimerkiksi nopeuttamalla laukaisuhetkeä ja lisäämällä laukaisuun voimantuottoa (Hardegger ym., 2015; Robbins ym., 2023).

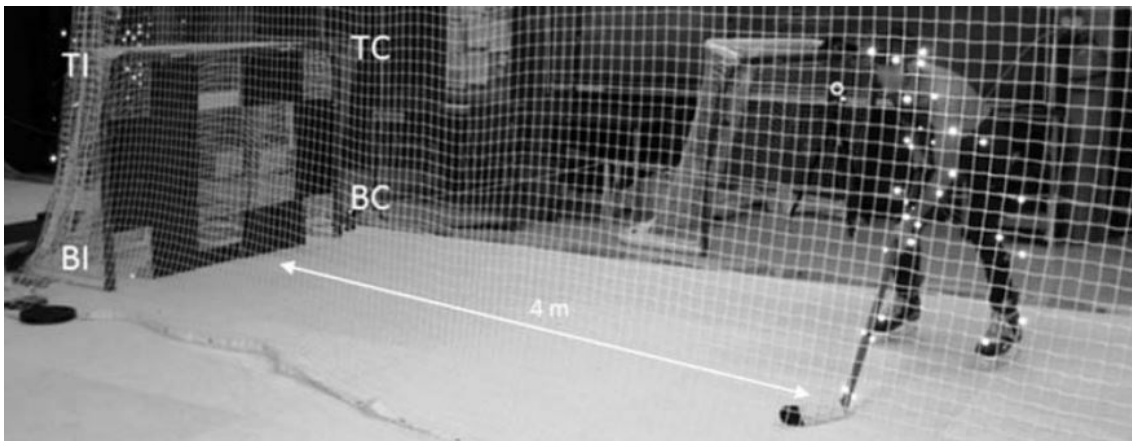


KUVIO 10 Sensorinen jääkiekkomaila ja sen anturikomponentit, jotka ovat piilotettu mailan varren sisään tai peitetty teipillä (Hardegger ym., 2015).

Vleugels, Van Herbruggen, Fontaine ja De Poorter (2021) tutkimuksessa kehitettiin niin ikään sensorinen jääkiekkomaila. Tutkimuksessa inertiamittausyksikkö kiinnitettiin jääkiekkoilijan alakäteen sekä mailan sisään. Inertiamittausyksiköiden tehtävänä oli tunnistaa jääkiekkoilijan lyöntilaukaus, vetolaukaus, rannelaukaus, rystylaukaus, harhauttaminen sekä jääkiekkoilijan asento. Tutkimus tunnisti tuntemattoman jääkiekkoilijan suorittamat aktiviteetit 76 % tarkkuudella. Vastaavasti tunnetun pelaajan syötetyt pelaajatiedot ohjelmaan mahdollistivat 99 % tarkkuuden. Tutkimuksen toisessa vaiheessa hyödynnettiin inertiamittausyksikön lisäksi myös paikallista paikantamisjärjestelmää. Yhdistämällä kerätyt tiedot pelaajasta hyödyntäen inertiamittausyksikköä ja paikantamisjärjestelmää, voitiin pelaajan liikkumisesta ja laukausten tyypeistä sekä niiden suoritetuista paikoista mallintaa visuaalista seurantadataa. (Vleugels ym., 2021.)

5.1.3 Laukominen synteettisellä jäällä

Vähäisen jäällä toteutetun laukomistutkimuksen vuoksi tässä luvussa käsitellään laukomistutkimusta jääkiekossa myös synteettisellä jäällä. Michaud-Paquette, Magee ja Turcotte (2011) tutkivat nivelten kulmakinematiikkaa ranne-laukauksen aikana ja kuinka se vaikuttaa laukaisutarkkuuteen hyödyntämällä kolmiulotteista liikkeenkaappausjärjestelmää. Tutkimuksessa markkerit kiinnitettiin mailaan kolmeen eri kohtaan sekä myös vartaloon (Kuvio 10). Laukaisualustana tässä tutkimuksessa hyödynnettiin keinotekoisia jäätä, jonka päälle levitettiin silikonipohjaista voiteluainetta vähentääkseen alustan kitkaa ja luomalla mahdollisimman aitoa jääalustaa vastaava tutkimusympäristö. (Michaud-Paquette ym., 2011.) Kolmiulotteisen liikkeenkaappausjärjestelmän avulla on tutkittu myös jääkiekkomailassa yläkäden puolella käytettävän mailaharson hyötyä laukomisen aikana. Tutkimuksessa markkerit kiinnitettiin jääkiekkomailaan, kiekkoon sekä kyseiseen kohteeseen, jonka suuntaan tutkimuksessa lauottiin. (Frayne, Dean & Jenkyn, 2014.)



KUVIO 11 Markkerit kiinnitetty tutkittavalle eri puolille vartaloon sekä mailan yläkäden kohdalle, alavarteen sekä varren ja lavan yhdistymiskohtaan (Michaud-Paquette ym., 2011).

Laukomisen tutkimiseen synteettisellä jäällä on käytetty myös tavanomaisempaa videokuvausteknologiaa, jonka avulla on pyritty mallintamaan liikesuoritusta kolmiulotteiseen malliin. Tutkimuksessa videokameroiden ja mailan lavan kiinnitettyjen markkereiden avulla tutkittiin mailan lavan käyttäytymistä paikallaan suoritettuna lyöntilaukauksen aikana. Laukaisualustan alle oli myös asennettu voimalevy tunnistamaan lyöntilaukasta ennen tapahtuvan mailan ja alustan välisen kontaktin voimakkuutta. (Lomond, Turcotte & Pearsall, 2007.) Synteettisellä jäällä suoritettavat laukaisututkimukset tarjoavat myös tietoa jääkiekkoilijan laukaisuteknisistä tekijöistä. Kolmiulotteinen menetelmä mahdollistaa pelaajan mallintamisen kolmiulotteiseen ympäristöön, jolloin laukaisusta voidaan löytää enemmän yksityiskohtia, joita ei silmällä havaita reaaliajassa. Edellä mainittuja menetelmiä voidaan hyödyntää laukaisutarkkuuden ja tehokkuuden lisäämiseen. (Frayne ym., 2014; Lomond ym., 2007; Michaud-Paquette ym., 2011.)

5.1.4 Sisäinen kuormitus

Jääkiekkoilijoiden sisäisen kuormituksen mittaamiseen on hyödynnetty laktaattianalysaattoria, joka antaa tietoa tutkittavien aineenvaihdunnasta, kun tutkittavista otetaan pieniä verinäytteitä kuormituksen aikana. Jääkiekkoilijoiden harjoitusotteluiden aikana laktaattianalysaattoria varten kerättäviä verinäytteitä on otettu pelaajista ottelun vaihtopenkillä kentällä oloajan jälkeen. Verinäytteet syötettiin myöhemmin laktaattianalysaattoriin analyysia varten. Laktaattinäytteiden lisäksi tutkimuksessa mitattiin sykettä koko ottelun ajan sykemittausteknologialla. Laktaattianalyysit ja sykkeenmittaus yhdessä antavat tietoa pelaajan kuormituksesta harjoittelun aikana. Näiden tietojen hyödyntäminen harjoittelun suunnittelun tukena voivat auttaa valmentajia löytämään pelaajille sopivan harjoittelun kuormittavuuden tason ja siten parantaa suorituskykyä jääkiekkootteluita varten kauden aikana. (Lögdal, Laaksonen & Andersson, 2022.) Myös Rago ym. (2023) tutkimuksessa hyödynnettiin sykemittausteknologiaa harjoitteluosuhteissa. Jääharjoittelun aikana jääkiekkoilijoilta on mitattu hengityskasuanalysaattorin avulla hapenkulutusta luistelun aikana. Tutkimuksen tulokset voivat auttaa ymmärtämään paremmin aerobisen kapasiteetin merkitystä jääkiekossa sekä hyödyttää jääkiekkoilijoiden kanssa toimivia valmentajia, jotka pyrkivät optimoimaan aerobisen kapasiteetin tason, jota tarvitaan kyseisellä tasolla kilpailemiseen. (Allisse ym., 2021; Ferland ym., 2021).

5.2 Yhteenveto liikuntateknologioista jääharjoittelussa

Luvun 5.1 aikana käsitellyt lähteet esitelty taulukossa 1. Nämä lähteet käsittelivät jääharjoitteluiden aikana hyödynnettyjä liikuntateknologioita. Yhteensä luvun aikana käytettyjä lähteitä oli 32 kappaletta. Rago ym. (2023) lähde on käytetty alaluvuissa 5.1.1 sekä 5.1.4.

TAULUKKO 1 Tutkielman lähteet, jotka käsittelevät jääharjoitteluiden aikana hyödynnettyjä liikuntateknologioita.

Luku 5.1.1 Liikkuminen ja ulkoinen kuormitus (22 lähdetä)	
Assessment of on-ice oxygen cost of skating performance in elite youth ice hockey players	Allisse ym. (2021)
Reliability, usefulness, and validity of the 30-15 intermittent ice test in young elite ice hockey players	Buchheit ym. (2011)
Reliability of three timing systems used to time short on-ice skating sprints in ice hockey players	Bond ym. (2017)
Prediction of ice skating performance with office testing in women's ice hockey players	Bracko & George (2001)
An on-ice measurement approach to analyse the biomechanics of ice hockey skating	Buckeridge ym. (2015)
Ice hockey skating sprints: Run to glide mechanics of high calibre male and female athletes	Budarick ym. (2020)
Validation of the polar team pro system for sprint speed with ice hockey players	Conners ym. (2022)
Improvement of ice hockey players' on-ice sprint with combined plyometric and strength training	Dehlin ym. (2017)
A comparison of on-ice external load measures between subelite and elite female ice hockey players	Douglas ym. (2022)
Skating mechanics of change-of-direction manoeuvres in ice hockey players	Fortier ym. (2014)
Lower limb muscle activation patterns in ice-hockey skating and associations with skating speed	Kaartinen ym. (2021)
Reliability of the force-velocity-power variables during ice hockey sprint acceleration	Perez ym. (2022)
Validation of the FAST skating protocol to predict aerobic power in ice hockey players	Petrella ym. (2007)
Quantifying training load and intensity in elite male ice hockey according to game-related contextual variables	Rago ym. (2023)
Ice hockey skate starts: a comparison of high and low calibre skaters	Renaud ym. (2017)
Principal component analysis identifies differences in ice hockey skating stride between high-and low-calibre players	Robbins ym. (2021b)
Physiological, physical and on-ice performance criteria for selection of elite ice hockey teams	Roczniok ym. (2016)
Skating start propulsion: Three-dimensional kinematic analysis of elite male and female ice hockey players	Shell ym. (2016)
Towards a wearable monitoring tool for in-field ice hockey skating performance analysis	Stetter ym. (2019)
A novel approach to determine strides, ice contact, and swing phases during ice hockey skating using a single accelerometer	Stetter ym. (2016)
Force transducer system for measurement of ice hockey skating force	Stidwill ym. (2009)
Reliability of triaxial accelerometry for measuring load in men's collegiate ice hockey	Van Iterson ym. (2017)
Luku 5.1.2 Laukominen (4 lähdetä)	
Sensor technology for ice hockey and skating	Hardegger ym. (2015)
The relationship between trunk rotation and shot speed when performing ice hockey wrist shots	Robbins ym. (2021a)
Differences in trunk-shoulder inter-joint coordination and sequencing between elite and recreational ice hockey players during slap shots	Robbins ym. (2023)
Ultra-wideband indoor positioning and IMU-based activity recognition for ice hockey analytics	Vleugles ym. (2021)
Luku 5.1.3 Laukominen synteettisellä jäällä (3 lähdetä)	
Improving ice hockey slap shot analysis using three-dimensional optical motion capture: A pilot study determining the effects...	Frayne ym. (2015)
Three-dimensional analysis of blade contact in an ice hockey slap shot, in relation to player skill	Lomond ym. (2007)
Whole-body predictors of wrist shot accuracy in ice hockey: a kinematic analysis	Michaud-Paquette ym. (2011)
Luku 5.1.4 Sisäinen kuormitus (4 lähdetä)	
Assessment of on-ice oxygen cost of skating performance in elite youth ice hockey players	Allisse ym. (2021)
Maximal oxygen consumption requirements in professional North American ice hockey	Ferland ym. (2021)
Individual fluctuations in blood lactate concentration during an ice hockey game; differences between player positions	Løgdal ym. (2022)
Quantifying training load and intensity in elite male ice hockey according to game-related contextual variables	Rago ym. (2023)

Liikkumisen ja ulkoisen kuormituksen seurantaan tutkimuksissa on hyödynnetty ajanottoteknologioita, kuten valokennoja, mikroprosessorilla varustettua laseria sekä digitaalista videokameraa. Liikkeen tarkempaa seuranta varten on hyödynnetty puettavaa teknologiaa, kuten inertiamittausyksiköjä, jotka sisältävät kiihtyvyyssanturin, magnetometrini sekä gyroskoopin. Lisäksi tutkimuksissa on hyödynnetty jalanpohjan paineenmittausjärjestelmää, venymämittareita sekä teknologioita, joiden avulla on mahdollista tutkia elektromyografiaa sekä goniometriä. Myös kolmiulotteista liikkeenkaappausjärjestelmää on hyödynnetty liikkumisen tutkimiseen erityisesti luistelutekniikan tutkimiseen. Laukomisen tutkimuksissa on pääasiassa hyödynnetty kolmiulotteista liikkeenkaappausjärjestelmää, jonka avulla on selvitetty käsien, mailan ja vartalon yhteistoimintaa laukomisen aikana. Laukomisen tutkimisessa on pilotoitu myös sensorista jääkiekkomailaa, johon on kiinnitetty potentiometrit sekä venymämittarit. Sisäisen kuormituksen seurantaan on hyödynnetty laktaattianalysointoreita, sykemittaus teknologiaa sekä hengityskaasuanalysointoreita.

Ajanottoteknologioiden keräämien tietojen avulla voidaan saada tietoa pelaajien luistelun nopeus- ja kestävyysominaisuuksista. Eri mittauskertojen tuloksia vertailemalla voidaan havaita ominaisuuksien muutoksia jääkiekkoilijalla. Gyroskoopin, kiihtyvyyssanturin ja magnetometrini sisältävät inertiamittausyksiköt tarjoavat käyttäjälleen tarkempaa tietoa eri tasoisten luistelijoiden eroa-

vaisuuksista ulkoisen kuormituksen näkökulmasta. Inertiamittaussyksikön avulla on mahdollista selvittää jääkiekkoilijan työkuormaa ja intensiteettiä jäällä liikuttaessa eri suuntiin esimerkiksi korkean -, keskitason - ja matalantason intensiteeteillä. Näiden tietojen avulla voidaan löytää jääkiekkoilijoiden heikkouksia ja vahvuuksia luistelun eri intensiteettien aikana. Tiedon avulla esimerkiksi harjoittelua voidaan muokata sopivaksi yksittäisen jääkiekkoilijan tarpeiden mukaisesti. Puettavista teknologioista kiihtyvyyssanturin avulla on selvitetty luistelupotkuvaiheen kokonaisaikaa, luistimen jääkontaktiaikaa sekä massakeskipisteen kiihtyvyyttä. Kiihtyvyyssanturin hyödyntäminen luisteluteknikkaharjoittelun yhteydessä antaa käyttäjälleen tietoa mahdollisista onnistuneista muutoksista luisteluteknikassa. Lisäksi menetelmä tarjoaa tietoa ulkoisesta kuormituksesta ja yleisesti jäällä liikkumisesta harjoittelun yhteydessä. Goniometrian käyttäminen yhdessä kiihtyvyyssanturin kanssa tarjoaa käyttäjälleen tietoa lantion asennon muutoksista luistelun aikana. Myös elektromyografiateknologia näyttäisi antavan käyttäjälleen apuja luistelun kehittämiseen. Elektromyografia mittaa lihasaktiivisuutta mitattavasta lihaksesta. Mahdollisesti menetelmää oikein käyttämällä voidaan havaita mitkä lihakset aktivoituvat eniten luistelun aikana. Tämän tiedon avulla on mahdollista suunnitella ja kohdentaa harjoittelua kyseisille lihaksille ja täten lisätä voimantuottoa luisteluun. Myös alavartalon voimantuottoa on mitattu kirjallisuuden perusteella epäsuorasti luistelun aikana luistimeen asennettavan sensorisen jalanpohjallisen avulla. Sensorinen jalanpohjallinen reagoi jalanpohjan paineen muutoksiin.

Tutkimuksissa hyödynnettyjen venymämittareiden avulla voidaan havaita luistelijoiden vahvuuksia esimerkiksi suunnanmuutoksissa käännoksien ja pysähtymisten seurauksena. Kerättyjen tietojen perusteella on mahdollista löytää kehityskohteita suunnanmuutoksiin yksilöllisesti jääkiekkoilijalle. Liikkeenkaappausjärjestelmät näyttäisivät olevan myös yksi keino kehittää luistelutekniikkaa. Erityisesti kolmiulotteinen liikkeenkaappausjärjestelmä mahdollistaa luistelun mallintamisen kolmiulotteiseen ympäristöön, jossa luistelua voidaan tutkia tarkemmin ja löytää uusia kehityskohteita luisteluteknikkaan. Luisteluteknikan muutoksia on tutkittu edellä mainitun menetelmän avulla luistelulähtöjen ja maksimivauhtisen luistelun aikana.

Liikuntateknologioiden käyttö vaikuttaisi tarjoavan lisätietoa myös jääkiekkoilijoiden laukomisesta. Esimerkiksi kolmiulotteisen liikkeenkaappausmenetelmän ja sensorisen jääkiekkomailan avulla voidaan tutkia jääkiekkoilijoiden käsien ja keskivartalon käyttöä laukomisen aikana. Menetelmien avulla voidaan mahdollisesti löytää keinoja, joilla laukaisuteknisten muutosten jälkeen laukaisunopeus sekä -tarkkuus voisi parantua. Menetelmiä on hyödynnetty myös synteettisellä jäällä, jossa ympäristö ei kuitenkaan ole samanlainen kuin tavallisella jäällä. Sensorisen jääkiekkomailan ja paikallisen paikantamisjärjestelmän yhdistäminen näyttäisi tuottavan tietoa jääkiekkoilijoiden suorittamista laukomisista kentän eri alueilla. Tietojen avulla voidaan kerätä jääkiekkoilijasta visuaalista seurantadataa, jonka perusteella voidaan arvioida, mistä pelaaja suorittaa esimerkiksi erilaisia laukauksia.

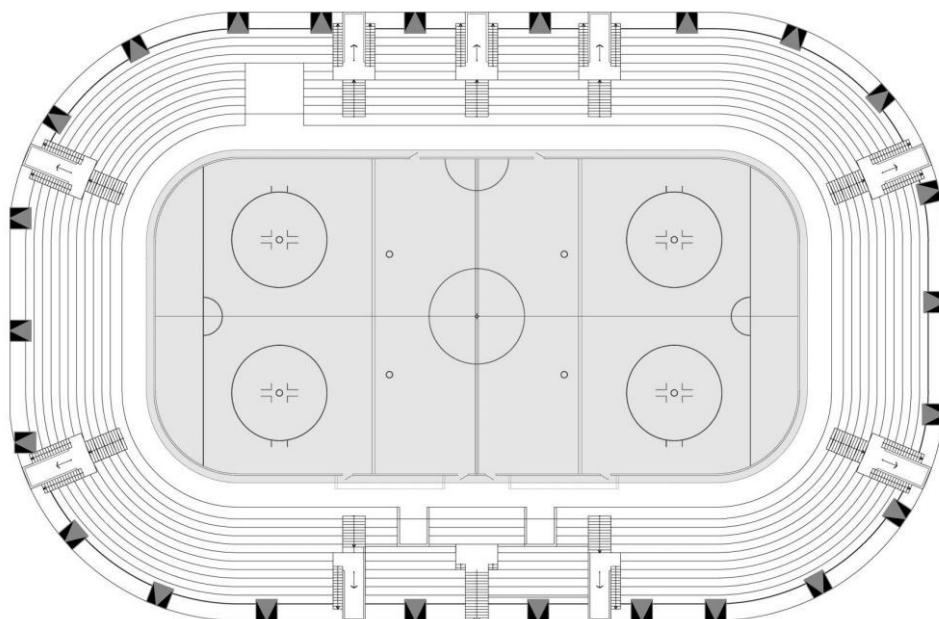
Myös sisäisen kuormituksen menetelmät näyttäisivät antavan lisätietoa jääkiekkoilijoista jääharjoitteluiden aikana. Sykkeenmittausteknologian ja laktaattianalysointimenetelmän yhdistäminen antaa lisätietoa pelaajien kuormittavuuden tasosta harjoittelun aikana. Tietojen hyödyntäminen harjoittelun suunnittelussa voivat auttaa jääkiekkoilijoita optimoimaan sopivaa harjoittelukuormaa kauden aikana ja sitä kautta löytämään oikeasuuntaista suorituskykyä otteluita varten. Lisäksi hengitysanalysointimenetelmän käyttö luistelututkimuksissa vaikuttaisi olevan yksi keino saada lisätietoa pelaajan aerobisen kapasiteetin arviointiin. Mahdollisesti tiedon avulla voidaan optimoida aerobinen kapasiteetti riittävälle tasolle.

5.3 Liikuntateknologiat otteluissa

Tässä alaluvussa esitellään liikuntateknologiat, joita hyödynnetään jääkiekkootteluiden aikana jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja seurantaan. Jääkiekon ottelutapahtumien aikana pelaajien mittaaminen ja seuranta on kuitenkin erilaista kuin jääharjoitteluolosuhteissa. Otteluiden ollessa käynnissä, jäällä ei saa olla muita henkilöitä kuin otteluun kuuluvat pelaajat ja tuomaristo. Myös ylimääräisen teknologian käyttöä on rajoitettu otteluiden sääntöjen mukaisesti. Tämän luvun lopussa käsitellään yhteenvedon aikana otteluiden aikana hyödynnetyt liikuntateknologiat.

5.3.1 Liikkuminen ottelun aikana ja paikallinen paikantamisjärjestelmä

Jääkiekkoilijoiden ottelutapahtumien tutkimista varten on kehitetty ja rakennettu kaukalon ympärille paikallisia paikantamisjärjestelmiä, jotka ovat antaneet tietoa pelaajien liikkumisnopeudesta sekä liikutun matkan määrästä ottelun aikana. Datan keräämistä varten tutkittavat pukivat vyön, jossa oli tutkimuksen seurantamonitori. Jäähallin ympäristöön asennetut 24 ankkuria (Kuvio 11) keräsivät ottelun ajan tietoa pelaajien liikkumisesta. Menetelmä näyttäisi antavan lisätietoa pelaajien arviointiin esimerkiksi erilaisiin luisteluvaatimuksiin hyökkäävien ja puolustavien pelaajien keskuudessa. Lisäksi menetelmä tarjoaa lisätietoa yksittäisen pelaajan suorittamista luistelunopeuksista, -matkoista sekä pelaajan väsymisen tasosta ottelun eri vaiheissa. Tietoa hyödyntämällä esimerkiksi valmentajat voivat kehittää erilaisia strategioita kollektiivisesti joukkueelle ja yksilöllisesti pelaajilleen. (Douglas & Kennedy, 2020.)



KUVIO 12 Tutkimuksen ankkurit (harmaat kolmiot) merkitty jäähalliympäristöön (Douglas & Kennedy, 2020).

Gamble, Bigg, Nyman ja Spriet (2022) hyödynsivät tutkimuksessaan ultralaajakaistaista paikantamisjärjestelmää tutkiessaan naisten ja miesten otteluita. Paikantamisjärjestelmän avulla seurattiin pelaajien luistelumatkaa, luistelun huippunopeutta, huippukiihtyvyyttä, huippuhidastumista, kiihtyvyyksien ja hidastumisten määrää, teräviä käännöksiä (kääntymissäde < 2 m), leveitä käännöksiä (kääntymissäde > 2 m), käntymisiä etuperin luistelusta takaperin luisteluun ja toisin päin, suunnanmuutosten lukumäärää sekä törmäysten lukumäärää jäähän, laitaan tai toisen pelaajan kanssa (Gamble ym., 2022). Myöhemmin tehdyn tutkimuksen mukaan ultralaajakaistainen paikantamisjärjestelmä näyttäisi olevan luotettava ja tarkka jääkiekkoilijoiden ulkoisen kuormituksen mittaamiseen, kun anturit kiinnitetään pelaajien olkapäiden takaosaan (Gamble ym., 2023). Paikallisten paikantamisjärjestelmien lisäksi ottelun aikaista liikkumista on tutkittu Rago ym. (2023) toimesta kiihtyvyyssanturien kanssa. Tutkimuksessa selvitettiin pelaajien kiihdytyksien ja hidastumisten määrää ottelun aikana. Menetelmän avulla käyttäjä saa lisätietoa luistelustaan ottelun aikana. Eri otteluiden välillä voidaan kiihtyvyyssanturien tietoja hyödyntäen selvittää yksittäisen pelaajan liikkumisen muutoksia eri otteluiden aikana. (Rago ym., 2023.)

5.3.2 Sisäinen kuormitus

Jääkiekkoilijoiden sisäisen kuormituksen seuranta on toteutettu otteluiden aikana muun muassa sykkeen seurantana sekä laktaattimittausten avulla. Noonan (2010) tutki jääkiekkoilijoiden laktaattipitoisuuksien vaihtelua ottelun jokaisen vaihdon jälkeen. Tutkimuksessa kuudelta jääkiekkoilijalta otettiin pieni verinäyte sormenpäältä laktaattianalyysia varten vaihtopenkillä. Näytteet ana-

lysoitiin myöhemmin laktaattianalysointia avulla. (Noonan, 2010.) Nuorten U18-ikäisten jääkiekkoilijoiden MM-kisoissa sykkeenmittausteknologian avulla on mitattu ja tutkittu sykkeitä otteluiden aikana (Stanula & Rocznik, 2014). Myös U20-ikäisten kisoissa on tutkimusten perusteella käytetty samaa menetelmää, jossa sykevyö kiinnitettiin rintalastan alapuolelle otteluiden ajaksi (Stanula ym., 2016). Lisäksi Rago ym. (2023) tutkimuksessa hyödynnettiin sykemit-tausteknologiaa pelaajien kuormituksen seurantaan. Sykemittaus ja laktaatti-analysointi otteluiden aikana näyttäisi tarjoavan käyttäjälleen tietoa pelaajan kuormituksesta otteluiden aikana samalla tapaa kuin harjoitteluympäristössä. Menetelmien avulla voidaan ottelun aikaista kuormitusta analysoida ottelun jälkeen ja sen tiedon avulla suunnitella oikeansuuntaista harjoittelua. (Noonan, 2010.)

5.3.3 Muut menetelmät jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja seurantaan otte-luiden aikana

Otteluiden aikana jääkiekkoilijoihin kohdistuu useita erilaisia ulkoisia vaikutuksia tai tapahtumia, jotka voivat olla seurausta esimerkiksi törmäyksestä, kaatumisesta, toisen pelaajan toiminnasta tai pelaajan itseaiheuttamasta toiminnasta. Näitä tapahtumia ottelun aikana on tutkittu hyödyntäen puettavaa teknologiaa. Tutkimuksessa pelaajille puettiin keskivartalon päälle triakksiaalinen kiih-tyvyysanturi, jonka avulla jääkiekkoilijaan kohdistuneita vaikutuksia havaittiin. Tutkimuksessa pelaajiin vaikuttavia tekijöitä oli kategorisoitu seuraavanlaisesti: laitakontakti, taklaus laittaa kohden, avojäätaklaus, pelaajan kaatuminen, toisen pelaajan aiheuttama kontakti, nopea pysähdys, lyöntilaukaus, sekä muut tunnistettavissa olevat vaikutukset. Vaikuttavan tekijän kategorisoinnin lisäksi tut-kimuksen anturit havaitsivat vaikutuksen suuruuden sekä keston. Kiih-tyvyysantureiden toimivuutta vertaisarvioitiin videoteknologian avulla jälke-npäin. Tutkimuksessa kiihtyvyyssanturit tunnistivat 80–93.6 % tarkkuudella otte-lun aikaiset jääkiekkoilijoihin kohdistuneet vaikutukset. Mitä suuremmasta vaikutuksesta oli kyse, sitä todennäköisemmin laite havaitsi vaikutuksen. Me-netelmän käyttö mahdollistaa kokonaisvaltaisemman käsityksen jääkiekkoilijan kehoon kohdistuvista vaikutuksista. (Pilotti-Riley, Stojanov, Sohaib Arif & McGregor, 2019.)

Tutkimusten perusteella jääkiekkoilijoiden arviointiin on hyödynnetty myös analysointiohjelmaa, joiden avulla videoteknologialla kuvatut jääkiekko-ottelut on voitu analysoida ottelun aikana tai ottelun jälkeen. Ottelun jälkeen analysoitu video voidaan kyseisen ohjelman avulla tarkastella yksi kuva kerral-laan. (Brocherie, Girard & Millet, 2018.) Videoanalysointiohjelman keskeisenä ominaisuutena koko ottelutapahtuman kestoiseen videotallenteeseen voidaan merkitä kohtia, joissa esimerkiksi merkataan pelaajan suorittama laukaus maa-lia kohden tai jokin muu ottelutapahtuma. Myöhempiä analyysia varten analy-sointiohjelman avulla videolta voidaan nopeasti löytää edellä mainittu yksittäi-nen ottelutapahtuma. Tähän ottelutapahtumaan voidaan myöhemmin palata esimerkiksi yksittäisen pelaajan tai joukkueen kanssa ja kehittää kokonaisval-

taisesti pelaamista. Videoanalysointiohjelmat mahdollistavat myös ottelun aikaisen reaaliaikaisen merkitsemisen manuaalisesti, jolloin tietoa voidaan välittää myös esimerkiksi valmennuksen päätöksenteon tueksi otteluiden aikana. (Kolstad ym., 2023.)

Myös automatisoituja ratkaisuja jääkiekkoilijoiden tunnistamiseen otteluiden aikana on pyritty tutkimusten perusteella kehittämään. Vats ym. (2023) loivat osana tutkimustaan automatisoidun järjestelmän (Kuvio 12), jossa järjestelmään voidaan syöttää videoteknologian avulla kuvattu jääkiekko-ottelu. Järjestelmän ideana on tunnistaa joukkueet ja pelaajat ruudulta sekä myös pelaajien liikeradat. Tutkimusryhmä nosti keskeiseksi ongelmaksi järjestelmässä tilanteet, joissa pelaajan paidan numero häviää kuvasta, jolloin järjestelmä ei pysty tunnistamaan ja siten seuraamaan kyseistä pelaajaa. Menetelmä tunnistasi testauksessa 83 % tarkkuudella jäällä olevat pelaajat. (Vats ym., 2023.)



KUVIO 13 Esimerkki automatisoidun järjestelmän toiminnasta joukkueiden sekä pelaajien tunnistamiseen jääkiekko-ottelun aikana. (Vats ym., 2023).

5.4 Yhteenveto liikuntateknologioista jääkiekko-otteluissa

Luvun 5.3 käsitellyt lähteet esitetty taulukossa 2. Nämä lähteet käsitelivät otteluiden aikana hyödynnettyjä liikuntateknologioita. Yhteensä luvun aikana käytettyjä lähteitä oli 10 kappaletta. Rago ym. (2023) lähde on käytetty alaluvuissa 5.3.1 sekä 5.3.2.

TAULUKKO 2 Tutkielman lähteet, jotka käsittelevät jääkiekko-otteluiden aikana hyödynnettyjä liikuntateknologioita.

Luku 5.3.1 Liikkuminen ottelun aikana ja paikallinen paikantamisjärjestelmä (4 lähdetä)	
Tracking in-match movement demands using local positioning system in world-class men's ice hockey	Douglas & Kennedy (2020)
Local positioning system-derived external load of female and male varsity ice hockey players during regular season games	Gamble ym. (2022)
Reliability and validity of an indoor local positioning system for measuring external load in ice hockey players	Gamble ym. (2023)
Quantifying training load and intensity in elite male ice hockey according to game-related contextual variables	Rago ym. (2023)
Luku 5.3.2 Sisäinen kuormitus (3 lähdetä)	
Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols	Noonan ym. (2010)
Quantifying training load and intensity in elite male ice hockey according to game-related contextual variables	Rago ym. (2023)
Quantification of the demands during an ice-hockey game based on intensity zones determined from the incremental test outcomes	Stanula & Rocznio (2014)
Luku 5.3.3 Muut menetelmät jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja seurantaan otteluiden (4 lähdetä)	
Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game	Brocherie ym. (2018)
Does disallowing body-checking impact offensive performance in non-elite under-15 and under-18 youth ice hockey leagues?	Kolstad ym. (2023)
Video corroboration of player incurred impacts using trunk worn sensors among national ice-hockey team members	Pilotti-Riley ym. (2019)
Player tracking and identification in ice hockey	Vats ym. (2023)

Kirjallisuuden perusteella jääkiekon ottelutilanteissa havaittiin vähemmän erilaisten liikuntateknologisten menetelmien käyttöä kuin jääharjoitteluiden aikana. Otteluiden aikana kuitenkin paikalliset paikantamisjärjestelmät näyttäisivät olevan yksi käytetty menetelmä jääkiekkoilijoiden mittaamiseen ja seurantaan. Otteluiden aikana on kerätty pelaajista tietoa myös sykemittausteknologialla, laktaattianalysointilla sekä kiihtyvyyssanturin avulla. Lisäksi erilaisia analysointiohjelmistoja hyödynnetään pelaajien seurantaan.

Ottelun aikaisista hyödynnetyistä liikuntateknologioista paikallinen paikantamisjärjestelmä tarjoaa lisätietoja esimerkiksi hyökkäävien ja puolustavien pelaajien liikkumisesta ottelun aikana. Lisäksi menetelmää voidaan hyödyntää yksittäisen pelaajan arviointiin ottelun aikana. Tietoja voidaan hyödyntää valmentajien keskuudessa esimerkiksi ottelun strategiseen suunnitteluun joukkueen sekä yksittäisen pelaajan näkökulmista. Sisäisen kuormituksen seurantaan tutkimuksissa on hyödynnetty jääharjoittelun tapaan sykemittausteknologiaa sekä laktaattianalysointimenetelmää. Menetelmien avulla saadaan lisätieto ottelun sisäisestä kuormituksesta jääkiekkoilijalle. Tiedon avulla voidaan havaita kehityskohteita harjoitteluun. Myös kiihtyvyyssanturia on hyödynnetty otteluiden aikana. Kiihtyvyyssanturi näyttäisi antavan lisätietoja pelaajan liikkumisesta eri otteluiden välillä. Lisäksi kiihtyvyyssanturia on hyödynnetty kuvaamaan kokonaisvaltaisemman jääkiekkoilijan kehoon kohdistuvista erilaisista vaikutuksista.

Edellä mainittujen menetelmien lisäksi myös videoanalysointia on hyödynnetty jääkiekkoilijoiden arviointiin. Videoanalysointiohjelman avulla on mahdollista merkitä erilaisia ottelutapahtumia yksittäisen ottelun aikana tallenteelta tai reaaliaikaisesti. Merkintöjen avulla voidaan analysointiohjelmassa tarkastella yksittäisiä ottelutilanteita uudelleen pelaajan tai joukkueen kehityksen tueksi. Reaaliaikaisten ottelutapahtumien merkitseminen mahdollistaa lisätietoja valmennuksen päätöksenteon tueksi eri ottelutapahtumien näkökulmista. Myös automatisoituja pelaajien ja joukkueiden tunnistamismenetelmiä on pyritty kehittämään. Menetelmän perusteella pyrittiin tunnistamaan ja erottelemaan videolta joukkueet ja yksittäiset pelaajat. Menetelmä ei kuitenkaan tunnista pelaajia tilanteissa, jossa pelaajan pelipaidassa oleva numero katoaa kuvasta.

6 POHDINTA

Tässä tutkielmassa selvitettiin mitä liikuntateknologioita hyödynnetään jääkiekon kenttäpelaajien mittaamiseen ja seurantaan jääharjoitteluiden ja otteluiden aikana. Lisäksi tutkielmassa selvitettiin mitä tietoja havaituilla liikuntateknologioilla voidaan kerätä jääkiekon pelaajista ja miten tietoa voidaan hyödyntää. Tutkimuksen keskeinen käsite liikuntateknologia ei ole kirjallisuuden perusteella vakiinnuttanut paikkaansa yksiselitteisenä käsitteenä, vaikka eri tutkimuksissa käsitettä hyödynnetäänkin. Tämän tutkielman liikuntateknologian määrittelyn perusteella liikuntateknologia näyttäisi tarjoavan käyttäjilleen lisätietoa jääkiekkoilijan ominaisuuksista. Kirjallisuuden perusteella monissa muissa joukkuepaloilulajeissa eri liikuntateknologioiden käyttö on vakiinnuttanut paikkaansa osana tieteellistä tutkimusta, kuten jalkapallon ja koripallon parissa. Liikuntateknologian näkökulmasta jääkiekossa on mahdollisesti käynnissä osittainen murros, jossa tutkimustietoa kerätään yhä enemmän lajista erilaisten liikuntateknologisten menetelmien avulla. Mahdollisesti liikuntateknologioita hyödynnetään nykypäivän jääkiekon päivittäisvalmennuksen parissa yhä enenevässä määrin. Yleisesti liikuntateknologioiden käyttö tuottaa paljon dataa, jolloin systemaattiseen käyttöön jääkiekkoilijoiden tulisi hyödyntää kyseistä dataa asiantuntijoiden, kuten valmentajien kanssa yhteistyössä, jotta dataa osataan hyödyntää oikein ja suunnitella sitä kautta harjoittelua ja pelaamista.

Jääharjoitusten aikana esiin nousseet liikuntateknologiat voidaan jakaa ajanottoteknologioihin, liikkeen kuvantamisteknologioihin, puettaviin teknologioihin sekä muihin menetelmiin, jotka eivät kategorioitu aiempien kohtien mukaisesti. Kirjallisuuden perusteella ajanottoteknologioiden käyttö liittyy usein luistelun tutkimiseen. Keskeisenä tutkimuksen aiheena tutkimuksissa on hyödynnetty tietyn matkan ajallista mittaamista. Ajanottoteknologioiden avulla on mahdollista tutkia esimerkiksi sekä luistelusprinttien kuten myös pitempien kestävyysmatkojen ajallista kestoa ja täten mahdollisesti pohtia aikojen perusteella jääkiekkoilijan luisteluun liittyviä kestävyys- ja nopeusominaisuuksia. Vertailu eri mittauskertojen välillä antaa tietoa mahdollisista ominaisuuksien kehityksistä tai heikkenemisistä. Puettavat teknologiat näyttäisivät kirjallisuuden perusteella olevan yleisimmin käytettynä jääkiekkoilijoiden mittaami-

nessa. Erityisesti puettavien teknologioiden avulla on tutkittu jääkiekkoilijoiden luistelua. Esimerkiksi puettavia inertiamittausyksiköitä ja kiihtyvyyssantureita hyödyntäen on kerätty tietoa jääkiekkoilijoiden luistelun potkuvaiheesta, luistimen jääkontaktiajasta sekä pelaajan massakeskipisteen kiihtyvyydestä (Stetter ym., 2019). Lisäksi menetelmät tarjoavat tietoa jääkiekkoilijan ulkoisesta kuormituksesta sekä yleisesti tietoa jääkiekkoilijan liikkumisesta jäällä eri intensiteetin tasoilla (Douglas ym., 2022). Näitä menetelmiä hyödyntäen voidaan löytää tietoa jääkiekkoilijan luistelun erilaisista kehityskohteista ja vahvuuksista. Mittausmenetelmien avulla jääkiekkoilijat voivat yhdessä esimerkiksi yhdessä valmentajan ohjeistuksella kokeilla erilaisia peliasentoja tai liikkumistekniikoita, joilla voidaan kokonaisvaltaisesti kehittää luistelua ja täten mahdollisesti parantaa suorituskyykyä lajin parissa. Lisäksi menetelmien käyttö ja jatkuva seuranta voivat antaa tietoa jonkin luisteluun liittyvän osatekijän kehittymisestä tai heikkenemisestä.

Puettavana teknologiana on hyödynnetty tutkimuksissa myös goniometriä sekä elektromyografiaa. Goniometrian käytön seurauksena tutkimuksissa selvitettiin lantion käyttöä luistelun aikana (Buckeridge ym., 2015). Goniometria reagoi lantion muutoksiin luistelun aikana ja voi siten antaa tietoa optimaalisesta luisteluasennosta yksilöllisesti. Lantion toimintaan luistelun aikana voidaan jää- sekä oheisharjoittelun aikana keskittyä kehittämään luistelua. Elektromyografia mittaa lihasten aktivoitumista lihaskuormituksen aikana. Jääkiekon luistelun aikana mitattujen lihasaktiivisuuksien perusteella voidaan havaita lihakset, jotka jääkiekkoilijalla aktivoituvat eniten luistelun aikana. Tämän tiedon perusteella voidaan esimerkiksi suositella jääkiekkoilijalle luistelutekniikan muutosta, jolloin kuorma jakautuu tasaisemmin eri lihasten välille tai sitten painottaa esimerkiksi voimaharjoittelua kyseisille lihaksille, jotta lisääntynyt voimantuotto siirtyisi luisteluun tehokkuutena. Tutkimuksissa esiin nousi myös epäsuorasti voimantuottoa mittaava sensorinen jalanpohjallinen, joka mittaa jalanpohjan paineiden muutoksia luistelun aikana (Buckeridge ym., 2015). Menetelmä antaa myös täten epäsuorasti tietoa luistelun aikaisista hyödynnettävistä alavartalon lihaksista sekä jalanpohjan paineen muutoksista luistelun aikana. Tutkimuksissa esiintyneet venymämittarit näyttäisivät antavan tietoa jääkiekkoilijoiden luistelun suunnanmuutoksista käänöksien ja pysähtymisten aikana (Fortier ym., 2014; Stidwill ym., 2009). Tämän tiedon avulla on mahdollista löytää uusia keinoja jääkiekkoilijalle suoriutua paremmin ottelutilanteissa. Esimerkiksi menetelmän avulla voidaan havaita erilaisia puolieroja kääntymisissä ja siten kehittää luistelua paremmaksi. Muita tutkimusten perusteella hyödynnettyjä puettavia teknologioita olivat sykemittausteknologiat ja hengityskaasuanalyysaattorit. Menetelmien avulla on mahdollista saada tietoa jääkiekkoilijoiden sisäisestä kuormituksesta. Sykkeenmittaus antaa tietoa sydämen lyöntimäärästä minuutissa, mikä antaa tietoa urheilu suorituksen kuormittavuudesta. Hengityskaasuanalyysaattorin avulla on mahdollista arvioida urheilijan aerobisen kapasiteetin tilaa. Menetelmien tarjoamien tietojen avulla on mahdollista esimerkiksi suunnitella harjoittelua, jotta harjoittelun kuormittavuus olisi jääkiekkoilijan näkökulmasta riittävällä tasolla.

Jääharjoittelussa liikkeen kuvantamisteknologiat näyttäisivät olevan hyödynnettyjä menetelmiä jääkiekkoilijoiden luistelun ja laukomisen tutkimuksissa. Erityisesti kolmiulotteinen liikkeenkaappausmenetelmä mahdollistaa liikkeen kuvantamisen ja sen jälkeen liikkeen mallintamisen kolmiulotteiseen ympäristöön, jossa luistelua ja laukomista voidaan tarkemmin tutkia esimerkiksi suoritusteknisesti. Menetelmän avulla voidaan tutkia luistelutekniikkaa esimerkiksi sprinttisuoraluisteluiden ja maksimivauhtisten luisteluiden aikana tai laukomisessa keskivartalon, käsien ja mailan asentoa. Tiedon avulla voidaan mahdollisesti muuttaa sekä tarkentaa suoritustekniikkaa tehostaakseen luistelua tai lisäämällä laukomiseen nopeutta tai tarkkuutta. Kirjallisuudessa esiintyneet sensoriset jääkiekkomailat voivat omalta osaltaan tuottaa lisätietoa jääkiekkoilijan suorituksesta (Hardegger ym., 2015). Laukomisen tutkimista on tämän tutkielman perusteella kuitenkin tutkittu vähemmän kuin luistelua.

Aiemmin mainitun sykemittausteknologian lisäksi myös laktaattianalysaattorin avulla on selvitetty jääkiekkoilijoiden kuormittavuutta jääharjoittelun aikana (Lögdal ym., 2022). Menetelmä kategorioituu muihin menetelmiin. Menetelmä tarjoaa lisätietoa jääkiekkoilijan kuormittavuudesta harjoituksen aikana, kun jääkiekkoilijalta otetaan pieni verinäyte yleensä sormenpästä kerättynä ja verinäyte analysoidaan myöhemmin laktaattianalysaattorissa.

Kirjallisuuden perusteella jääkiekko-otteluiden aikana hyödynnettyjä liikuntateknologian menetelmiä oli hyödynnetty vähemmän kuin jääharjoittelun aikana. Jääkiekko-otteluiden säännöt ovat mahdollisesti yksi tekijä, jonka vuoksi pelaajat eivät voi käyttää liikuntateknologioita yhtä monipuolisesti kuin harjoittelun aikana. Lisäksi jääkiekko-otteluissa pelaajiin kohdistuu erilaisia iskuja ja kontakteja, jotka voivat aiheuttaa laitteen särkymisen otteluiden aikana, jossa pelaajien turvallisuus on keskiössä. Laitteen hajoaminen voi aiheuttaa pelaajalle esimerkiksi terveydellistä haittaa. Jääharjoitteluympäristössä kontakteja on kuitenkin mahdollista välttää. Lisäksi puettava teknologia voi häiritä ottelun aikana tai laitteen arvo on sen verran suuri, jolloin sitä hyödynnetään vain ympäristössä, jossa se ei todennäköisemmin hajoa.

Paikalliset paikantamisjärjestelmät ovat kirjallisuuden perusteella yksi menetelmä, jota hyödynnetään otteluiden aikana. Järjestelmä koostuu jääkiekkokaukalon ulkopuolelle kiinnitettävistä ankkureista ja pelaajaan kiinnitettävästä seurantamonitorista, jolla yksittäinen pelaaja tunnistetaan. Järjestelmän avulla on mahdollista kerätä tietoa eri pelipaikkojen pelaajien liikkumisesta ottelun aikana, kuten esimerkiksi vertailla hyökkääjien ja puolustajien liikkumista. Menetelmän tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi joukkueen tai yksilön peli-strategian suunnitteluun sekä pelaajien vertailuun. Tämä voi olla joukkueen valmennukselle yksi työkalu, jolla pelaajista saadaan lisätietoa. Järjestelmän avulla voidaan myös havaita pelaajan väsymistä ottelun aikana. Otteluiden aikana on myös hyödynnetty kiihtyvyysanturia, joka antaa lisätietoa pelaajan liikkumisesta (Rago ym., 2023). Datan avulla voidaan esimerkiksi vertailla pelaajan liikkumista, kun pelataan eri tasoisia joukkueita vastaan. Kiihtyvyysanturin avulla on kerätty myös dataa pelaajiin kohdistuneista vaikutuksista (Pilotti-Riley ym., 2019). Kiihtyvyysanturin avulla havaitaan esimerkiksi pelaajiin

kohdistuneet taklaukset ja kaatumiset. Myös sisäisen kuormituksen liikunta-teknologisia menetelmiä on hyödynnetty jääkiekko-otteluiden aikana. Sykkeenmittausteknologioiden ja laktaattianalysointimenetelmän avulla on selvitetty pelaajien kuormitusta otteluiden aikana. Menetelmien avulla käyttäjät saavat tietoa kuormituksen tasosta eri ottelun tilanteista. Tiedon avulla voidaan havaita esimerkiksi jokin tietty vaihe ottelussa, kun pelaaja on kuormittunut normaalia enemmän. Analysointia varten on mahdollisesti kannattavaa tutkia mitkä ottelun aikaiset tekijät ovat johtaneet kuormittuneeseen tilanteeseen. Mahdollisesti yksittäinen pitkä ottelun vaihto voi nostaa kuormituksen tasoa merkittävästi ja siitä palautuminen tarvitsee esimerkiksi pidemmän palautumisjakson. Tieto ottelun kuormittavuudesta voi auttaa löytämään uusia kehityskohteita pelaajalle, jotta suorituskyky otteluiden aikana olisi tulevaisuudessa parempi.

Aiempien menetelmien lisäksi myös videoanalysointiohjelmia on hyödynnetty jääkiekkoilijoiden seurannassa otteluiden aikana. Videoanalysointiohjelmat mahdollistavat erilaisten ottelutapahtumien merkitsemisen erilaisiin luokkiin videotallenteelta tai reaaliaikaisesti ottelun ollessa käynnissä. Näitä luokiteltuja tapahtumia voidaan myöhemmin analysoida. (Brocherie ym., 2018.) Ottelutapahtumien merkinnät tehdään manuaalisesti ja luokat voivat olla jaoteltu esimerkiksi erilaisiin hyökkäys- tai puolustustilanteisiin, joita otteluiden aikana syntyy. Erilaisten tilanteiden analysoinnin avulla voidaan löytää esimerkiksi tilanteita, joissa joukkue tai yksilö voisi mahdollisesti kehittyä seuraavaa ottelutapahtumaa varten. Kirjallisuudesta löydettiin myös menetelmä, jolla pyritään automaattisesti tunnistamaan ja erottelemaan kentällä olevat joukkueet sekä yksittäiset pelaajat. Kyseisen tutkimuksen mukaan menetelmässä on kuitenkin vielä puutteita eikä tunnista kaikkia pelaajia ottelutapahtumien jokaisessa hetkessä. Mahdollisesti tällainen automatisoitu menetelmä tuottaa tulevaisuudessa yhä enemmän dataa joukkueista ja pelaajista.

Tutkielman perusteella mahdollisesti liikuntateknologioiden hyödyntäminen jääkiekon parissa ei ole vielä jalkautunut laajasti tutkimuskäyttöön. Lisäksi jääkiekko on urheilulajina harrastajamäärältään kohtalaisen pieni verrattuna esimerkiksi suuriin joukkuepallolajeihin jalkapalloon ja koripalloon, jonka vuoksi mahdollisesti tutkimusresursseja ei ole allokoitu yhtä paljoa jääkiekkoon. Tämän vuosituhatosen aikana jääkiekkotutkimuksia on toteutettu aiempaa enemmän, jonka vuoksi mahdollisesti hyödynnettävän tutkimustiedon määrä on kasvanut. Tulevaisuudessa jääkiekon tutkimuksissa sekä valmennuskäytössä hyödynnetään mahdollisesti yhä enenevässä määrin erilaisia uusia liikuntateknologian menetelmiä jääkiekkoilijoiden mittaamiseen, seurantaan ja arviointiin. Mahdollisesti usean liikuntateknologisen menetelmän yhdistely voi löytää pelaajasta uutta tietoa, jota ei vielä ole tähän mennessä löydetty. Esimerkiksi Buckeridge ym. (2015) tutkimuksessa tiedonkeruuyksikkö keräsi tietoa samaan aikaan luistelun aikaisesta lonkkien nivelkulmien muutoksista, lihasten aktiivisuudesta, luistimen kiihtyvyydestä sekä jalanpohjan paineiden muutoksista. Tässä tapauksessa usean menetelmän yhdistely mahdollistaa yksityiskohtaisemman tarkastelun luistelutekniikassa ja mahdollisuuden uuden tiedon löy-

tämiseen. Jalanpohjan paineenmittausteknologia yksinään ei välttämättä anna tietoa siitä, mitkä lihakset tarkalleen aktivoituvat luistelun aikana. Yhdistäessä siihen elektromyografiaa mittaavat teknologiat, saadaan tarkempaa tietoa siitä, mitkä lihakset aktivoituvat suhteessa toisiin lihaksiin.

7 TUTKIELMAN RAJOITTEET JA JATKOTUTKIMUSAIHEET

Tämän tutkielman tavoitteena oli toimia yhtenä ennakkotutkimuksena liikuntateknologioiden käyttöön jääkiekon parissa. Tutkielmalla on kuitenkin rajoitteita. Tutkielman hakusanojen käyttöä olisi voinut toteuttaa eri tavalla. Erilaisten hakusanamuotoilujen avulla tutkielmalle olisi voitu löytää useampia aihepiirin lähteitä, joita ei löydetty tähän tutkielmaan. Hakusanojen lisäksi myös tutkielman tulososio olisi voinut olla kattavampi. Tutkielman tulososio koostaa kohtalaisesti liikuntateknologioiden hyötyjä käyttäjälleen, mutta tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa tarkastelua ei kuitenkaan ole toteutettu. Kattavamman tulososion seurauksena myös pohdintaosiossa voitaisiin löytää uusia näkökulmia liikuntateknologioiden hyödyntämiseen jääkiekon parissa.

Tutkielman rajoitteiden lisäksi havaittiin myös uusia jatkotutkimusaiheita. Yhtenä jatkotutkimusaiheena jääkiekkovalmentajille voitaisiin suorittaa kvalitatiivinen kyselytutkimus, jonka tavoitteena on selvittää heidän tietouttansa liikuntateknologisiin menetelmiin jääkiekon parissa. Mahdollisesti tämän tapainen tutkimus voisi lisätä tietoutta lajipiireissä sekä kyselytutkimuksella voisi saada lisätietoa siitä, minkä verran liikuntateknologiat ovat jalkautuneet valmennuksen apuvälineiksi. Jääkiekon parissa myös laukomisen tutkimus näyttäisi olevan vielä tässä vaiheessa vähäistä, jonka lisääminen voisi tuoda lisätietoa hyvistä käytänteistä laukomisen aikana. Yhtenä laukomisen jatkotutkimusaiheena voitaisiin mahdollisesti tutkia laukaisun voimakkuuden yhteyttä eri lihaksien lihasaktiivisuuteen. Tätä menetelmää voitaisiin tutkia hyödyntämällä yhdessä kolmiulotteista liikkeenkaappausmenetelmää sekä elektromyografiaa, jolloin laukaisun suoritustekniikkaa voitaisiin analysoida samaan aikaan lihasaktiivisuuden kanssa.

Jääkiekko-otteluiden analysoinnissa kehityksen suuntana on mahdollisesti automatisoidut analysointimenetelmät, joiden avulla jääkiekkovalmentajien työtä on mahdollista keventää (Vats ym., 2023). Myös mahdolliset kehittyvät analysointiohjelmistot tarjoavat tulevaisuudessa lisätietoa ottelutapahtumista. Lisäksi nykypäivänä on käytössä liikuntateknologisia menetelmiä, joita ei vielä ole jääkiekon jääharjoittelun aikana kirjallisuuden perusteella testattu. Esimer-

kiksi sykevälivaihtelun mittaaminen ja tutkiminen jääharjoittelun tai otteluiden aikana voisi antaa lisätietoa siitä, kuinka jääkiekkoilijan sympaattinen ja parasympaattinen hermosto aktivoituu eri tilanteiden aikana. Erityisesti menetelmän avulla voitaisiin tutkia, kuinka hermosto käyttäytyy tilanteiden aikana ja löydetäänkö jotain selitystä hermoston näkökulmasta, minkä vuoksi joku jääkiekkoilija suoriutuu yksittäisessä ottelussa paremmin kuin toisessa.

Ottelun aikaista kuormittavuutta on mahdollista jatkotutkia hyödyntämällä erilaisia liikuntateknologisiamenetelmiä ristiin. Esimerkiksi ottelun aikana voitaisiin hyödyntää sykkeenmittausta, laktaattianalysaattoria, paikallista paikantamisjärjestelmää ja kiihtyvyyssanturia yhdessä. Näiden menetelmien avulla voitaisiin päästä käsiksi tarkemmin tietoon, miten pelaaja kuormittuu yksittäisen vaihdon aikana sekä siihen, mitkä tekijät siihen kuormittavuuden tasoon liittyvät. Tämän avulla jääkiekkovalmentajat voisivat mahdollisesti optimoida urheilijoiden fysiologista suorittamista otteluiden aikana vielä paremmin.

LÄHTEET

- Achten, J. & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports medicine*, 33, 517-538.
- Ahmad, N., Ghazilla, R. A. R., Khairi, N. M. & Kasi, V. (2013). Reviews on various inertial measurement unit (IMU) sensor applications. *International Journal of Signal Processing Systems*, 1(2), 256-262.
- Akenhead, R. & Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: current practice and perceptions. *International journal of sports physiology and performance*, 11(5), 587-593.
- Allisse, M., Bui, H. T., Desjardins, P., Léger, L., Comtois, A. S. & Leone, M. (2021). Assessment of on-ice oxygen cost of skating performance in elite youth ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(12), 3466-3473.
- Allisse, M., Sercia, P., Comtois, A. S. & Leone, M. (2017). Morphological, physiological and skating performance profiles of male age-group elite ice hockey players. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 87-97.
- Alt, P. S., Baumgart, C., Ueberschär, O., Freiwald, J. & Hoppe, M. W. (2020). Validity of a local positioning system during outdoor and indoor conditions for team sports. *Sensors*, 20(20), 5733.
- Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International journal of sports physiology and performance*, 6(3), 295-310.
- Bajaj, R., Ranaweera, S. L. & Agrawal, D. P. (2002). GPS: location-tracking technology. *Computer*, 35(4), 92-94.
- Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M. & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of systems and software*, 80(4), 571-583.
- Boell, S. K. & Cecez-Kecmanovic, D. (2015). On being 'systematic' in literature reviews in IS. *Journal of information technology*, 30(2), 161-173.
- Bond, C. W., Bennett, T. W. & Noonan, B. C. (2018). Evaluation of skating top speed, acceleration, and multiple repeated sprint speed ice hockey performance tests. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(8), 2273-2283.

- Bond, C. W., Willaert, E. M., Rudningen, K. E. & Noonan, B. C. (2017). Reliability of three timing systems used to time short on ice-skating sprints in ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12), 3279-3286.
- Buchheit, M., Lefebvre, B., Laursen, P. B. & Ahmaidi, S. (2011). Reliability, usefulness, and validity of the 30-15 intermittent ice test in young elite ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(5), 1457-1464.
- Buckeridge, E., LeVangie, M. C., Stetter, B., Nigg, S. R. & Nigg, B. M. (2015). An on-ice measurement approach to analyse the biomechanics of ice hockey skating. *PLoS One*, 10(5), e0127324.
- Budarick, A. R., Shell, J. R., Robbins, S. M., Wu, T., Renaud, P. J. & Pearsall, D. J. (2020). Ice hockey skating sprints: Run to glide mechanics of high calibre male and female athletes. *Sports Biomechanics*, 19(5), 601-617.
- Burr, J. F., Jamnik, R. K., Baker, J., Macpherson, A., Gledhill, N. & McGuire, E. J. (2008). Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1535-1543.
- Butte, N. F., Ekelund, U. & Westerterp, K. R. (2012). Assessing physical activity using wearable monitors: measures of physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(1), 5-12.
- Bracko, M. R. & George, J. D. (2001). Prediction of ice skating performance with office testing in women's ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 116-122.
- Brocherie, F., Girard, O. & Millet, G. P. (2018). Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biology of sport*, 35(3), 261-267.
- Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S. & Vannozzi, G. (2018). Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: A systematic review. *Sensors*, 18(3), 873.
- Chen, K. Y., & David R Bassett, J. R. (2005). The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(11), 490-500.
- Connors, R. T., Whitehead, P. N., Dodds, F. T., Schott, K. D. & Quick, M. C. (2022). Validation of the polar team pro system for sprint speed with ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(12), 3468-3472.

- Dæhlin, T. E., Haugen, O. C., Haugerud, S., Hollan, I., Raastad, T. & Rønnestad, B. R. (2017). Improvement of ice hockey players' on-ice sprint with combined plyometric and strength training. *International journal of sports physiology and performance*, 12(7), 893-900.
- Dardari, D., Closas, P. & Djurić, P. M. (2015). Indoor tracking: Theory, methods, and technologies. *IEEE transactions on vehicular technology*, 64(4), 1263-1278.
- Dellaserra, C. L., Gao, Y. & Ransdell, L. (2014). Use of integrated technology in team sports: a review of opportunities, challenges, and future directions for athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 556-573.
- Douglas, A. S. & Kennedy, C. R. (2020). Tracking in-match movement demands using local positioning system in world-class men's ice hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(3), 639-646.
- Douglas, A. S., Rotondi, M. A., Baker, J., Jamnik, V. K., & Macpherson, A. K. (2022). A comparison of on-ice external load measures between subelite and elite female ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(7), 1978-1983.
- Durocher, J. J., Guisfredi, A. J., Leetun, D. T. & Carter, J. R. (2010). Comparison of on-ice and off-ice graded exercise testing in collegiate hockey players. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 35(1), 35-39.
- Ferland, P. M., Marcotte-L'Heureux, V., Roy, P., Carey, V. D., Charron, J., Lagrange, S. & Comtois, A. S. (2021). Maximal oxygen consumption requirements in professional North American ice hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(6), 1586-1592.
- Flik, K., Lyman, S. & Marx, R. G. (2005). American collegiate men's ice hockey: an analysis of injuries. *The American journal of sports medicine*, 33(2), 183-189.
- Fortier, A., Turcotte, R. A. & Pearsall, D. J. (2014). Skating mechanics of change-of-direction manoeuvres in ice hockey players. *Sports Biomechanics*, 13(4), 341-350.
- Frayne, R. J., Dean, R. B. & Jenkyn, T. R. (2015). Improving ice hockey slap shot analysis using three-dimensional optical motion capture: A pilot study determining the effects of a novel grip tape on slap shot performance. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, 229(2), 136-144.
- Freedson, P., Pober, D. & Janz, K. F. (2005). Calibration of accelerometer output for children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(11), 523-530.

- Gamble, A. S., Bigg, J. L., Nyman, D. L. & Spriet, L. L. (2022). Local positioning system-derived external load of female and male varsity ice hockey players during regular season games. *Frontiers in Physiology*, 13, 831723.
- Gamble, A. S., Bigg, J. L., Pignanelli, C., Nyman, D. L., Burr, J. F. & Spriet, L. L. (2023). Reliability and validity of an indoor local positioning system for measuring external load in ice hockey players. *European journal of sport science*, 23(3), 311-318.
- Godfrey, A., Hetherington, V., Shum, H., Bonato, P., Lovell, N. H. & Stuart, S. (2018). From A to Z: Wearable technology explained. *Maturitas*, 113, 40-47.
- Grehaigne, J.-F., Godbout, P. & Bouthier, D. (1999). The foundations of tactics and strategy in team sports. *Journal of Teaching in Physical Education*, 18, 159-174.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*, 44(2), 139-147.
- Halson, S., Peake, J. & Sullivan, J. (2016). Wearable technology for athletes: information overload and pseudoscience?. *International journal of sports physiology and performance*, 11(6), 705-706.
- Hardegger, M., Ledergerber, B., Mutter, S., Vogt, C., Seiter, J., Calatroni, A. & Tröster, G. (2015). Sensor technology for ice hockey and skating. In *2015 IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN) (1-6)*. IEEE, June, 2015.
- Hasan, H. S., Hussein, M., Saad, S. M. & Dzahir, M. A. M. (2018). An overview of local positioning system: Technologies, techniques and applications. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3), 1-5.
- IIHF (International Ice Hockey Federation). (2024). IIHF Official Rulebook 2024/25. Haettu 20.6.2024 osoitteesta <https://www.iihf.com/en/statichub/4719/rules-and-regulations>
- Kaartinen, S., Venojärvi, M., Lesch, K. J., Tikkanen, H., Vartiainen, P. & Stenroth, L. (2021). Lower limb muscle activation patterns in ice-hockey skating and associations with skating speed. *Sports Biomechanics*, 1-16.
- Khan, S., Parkinson, S., Grant, L., Liu, N. & Mcguire, S. (2020). Biometric systems utilising health data from wearable devices: applications and future challenges in computer security. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53(4), 1-29.
- Khoury, H. M. & Kamat, V. R. (2009). Evaluation of position tracking technologies for user localization in indoor construction environments. *Automation in construction*, 18(4), 444-457.

- Kok, M. & Schön, T. B. (2016). Magnetometer calibration using inertial sensors. *IEEE Sensors Journal*, 16(14), 5679-5689.
- Kolstad, A. T., Nadeau, L., Eliason, P. H., Goulet, C., Hagel, B. E. & Emery, C. A. (2023). Does disallowing body-checking impact offensive performance in non-elite under-15 and under-18 youth ice hockey leagues? A video-analysis study. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18(5), 1521-1529.
- Laukkanen, R. M. & Virtanen, P. K. (1998). Heart rate monitors: state of the art. *Journal of sports sciences*, 16(1), 3-7.
- Lignell, E., Fransson, D., Krustrup, P. & Mohr, M. (2018). Analysis of high-intensity skating in top-class ice hockey match-play in relation to training status and muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1303-1310.
- Lomond, K. V., Turcotte, R. A. & Pearsall, D. J. (2007). Three-dimensional analysis of blade contact in an ice hockey slap shot, in relation to player skill. *Sports Engineering*, 10, 87-100.
- Lögdal, N., Laaksonen, M. S. & Andersson, E. P. (2022). Individual fluctuations in blood lactate concentration during an ice hockey game; differences between player positions. *International Journal of Exercise Science*, 15(6), 985.
- Malone, J. J., Lovell, R., Varley, M. C., & Coutts, A. J. (2017). Unpacking the black box: applications and considerations for using GPS devices in sport. *International journal of sports physiology and performance*, 12(2), 2-18.
- Mendhurwar, K., Handa, G., Zhu, L., Mudur, S., Beauchesne, E., LeVangie, M. & Popa, T. (2020). A system for acquisition and modelling of ice-hockey stick shape deformation from player shot videos. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (890-891).
- Michaud-Paquette, Y., Magee, P. & Turcotte, D. P. R. (2011). Whole-body predictors of wrist shot accuracy in ice hockey: a kinematic analysis. In *The Biomechanics of Batting, Swinging, and Hitting*, 91-100.
- Moilanen, P. (2017). Kannustin, koriste ja liikkujan kaveri: tutkimus liikuntateknologian käyttäjyydestä. *Jyväskylä studies in computing*, (267).
- Nadeau, L., Godbout, P. & Richard, J. F. (2008). Assessment of ice hockey performance in real - game conditions. *European Journal of Sport Science*, 8(6), 379-388.

- Nightingale, S. C., Miller, S. & Turner, A. (2013). The usefulness and reliability of fitness testing protocols for ice hockey players: A literature review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1742-1748.
- Noonan, B. C. (2010). Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(9), 2290-2295.
- Omoregie, P. O. (2016). The impact of technology on sport performance. In *Proceedings of INCEDI 2016 Conference*, August 29-31, 2016.
- Ornon, G., Ziltener, J. L., Fritschy, D. & Menetrey, J. (2020). Epidemiology of injuries in professional ice hockey: a prospective study over seven years. *Journal of experimental orthopaedics*, 7, 1-8.
- Passaro, V. M., Cuccovillo, A., Vaiani, L., De Carlo, M., & Campanella, C. E. (2017). Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective. *Sensors*, 17(10), 2284.
- Perez, J., Guilhem, G. & Brocherie, F. (2022). Reliability of the force-velocity-power variables during ice hockey sprint acceleration. *Sports Biomechanics*, 21(1), 56-70.
- Peterson, B. J., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Ziegler, K. S., Baker, S. E. & Snyder, E. M. (2016). Off-ice anaerobic power does not predict on-ice repeated shift performance in hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(9), 2375-2381.
- Petrella, N. J., Montelpare, W. J., Nystrom, M., Plyley, M. & Faught, B. E. (2007). Validation of the FAST skating protocol to predict aerobic power in ice hockey players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(4), 693-700.
- Pilotti-Riley, A., Stojanov, D., Sohaib Arif, M. & McGregor, S. J. (2019). Video corroboration of player incurred impacts using trunk worn sensors among national ice-hockey team members. *PLoS one*, 14(6), e0218235.
- Pino-Ortega, J., Oliva-Lozano, J. M., Gantois, P., Nakamura, F. Y. & Rico-Gonzalez, M. (2022). Comparison of the validity and reliability of local positioning systems against other tracking technologies in team sport: A systematic review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 236(2), 73-82.
- Pino-Ortega, J. & Rico-González, M. (2021). *The use of applied technology in team sport*. Taylor & Francis.
- Popkin, C. A., Schulz, B. M., Park, C. N., Bottiglieri, T. S. & Lynch, T. S. (2016). Evaluation, management and prevention of lower extremity youth ice hockey injuries. *Journal of Sports Medicine*, 167-176.

- Rago, V., Mohr, M. & Vigh-Larsen, J. (2023). Quantifying training load and intensity in elite male ice hockey according to game-related contextual variables. *Biology of sport*, 40(1), 283–289.
- Ratten, V. (2019). *Sports technology and innovation*. Cham: Springer Books, 95-111.
- Renaud, P. J., Robbins, S. M., Dixon, P. C., Shell, J. R., Turcotte, R. A. & Pearsall, D. J. (2017). Ice hockey skate starts: a comparison of high and low calibre skaters. *Sports Engineering*, 20, 255-266.
- Robbins, S. M., Renaud, P. J., MacInnis, N. & Pearsall, D. J. (2021a). The relationship between trunk rotation and shot speed when performing ice hockey wrist shots. *Journal of Sports Sciences*, 39(9), 1001-1009.
- Robbins, S. M., Renaud, P. J., MacInnis, N. & Pearsall, D. J. (2023). Differences in trunk-shoulder inter-joint coordination and sequencing between elite and recreational ice hockey players during slap shots. *Sports Engineering*, 26(1), 46.
- Robbins, S. M., Renaud, P. J. & Pearsall, D. J. (2021b). Principal component analysis identifies differences in ice hockey skating stride between high- and low-calibre players. *Sports biomechanics*, 20(2), 131-149.
- Roczniok, R., Stanula, A., Maszczyk, A., Mostowik, A., Kowalczyk, M., Fidos-Czuba, O. & Zajac, A. (2016). Physiological, physical and on-ice performance criteria for selection of elite ice hockey teams. *Biology of sport*, 33(1), 43-48.
- Scarborough, J. B. (1958). *The gyroscope*. Interscience Publ.
- Schulze, S., Laudner, K. G., Delank, K. S., Brill, R. & Schwesig, R. (2020). Reference data by player position for an ice hockey-specific complex test. *Applied Sciences*, 11(1), 280.
- Seckin, A. C., Ates, B., & Seckin, M. (2023). Review on Wearable Technology in sports: Concepts, Challenges and opportunities. *Applied Sciences*, 13(18), 10399.
- Shell, J. R., Robbins, S. M., Dixon, P. C., Renaud, P. J., Turcotte, R. A., Wu, T. & Pearsall, D. J. (2017). Skating start propulsion: Three-dimensional kinematic analysis of elite male and female ice hockey players. *Sports Biomechanics*, 16(3), 313-324.
- Stanula, A. J., Gabrys, T. T., Roczniok, R. K., Szmatlan-Gabrys, U. B., Ozimek, M. J. & Mostowik, A. J. (2016). Quantification of the demands during an ice-hockey game based on intensity zones determined from the incremental test outcomes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(1), 176-183.

- Stanula, A. & Roczniok, R. (2014). Game intensity analysis of elite adolescent ice hockey players. *Journal of Human Kinetics*, 44(1), 211-221.
- Staunton, C. A. & Björklund, G. (2023). A framework for the standardization of game analysis in ice hockey. *International journal of sports physiology and performance*, 18(5), 458-464.
- Stenroth, L., Vartiainen, P. & Karjalainen, P. A. (2023). Force-velocity profiling in ice hockey skating: Reliability and validity of a simple, low-cost field method. *Sports biomechanics*, 22(7), 874-889.
- Stetter, B. J., Buckeridge, E., Nigg, S. R., Sell, S. & Stein, T. (2019). Towards a wearable monitoring tool for in-field ice hockey skating performance analysis. *European journal of sport science*, 19(7), 893-901.
- Stetter, B. J., Buckeridge, E., von Tscharnner, V., Nigg, S. R. & Nigg, B. M. (2016). A novel approach to determine strides, ice contact, and swing phases during ice hockey skating using a single accelerometer. *Journal of applied biomechanics*, 32(1), 101-106.
- Stidwill, T. J., Turcotte, R. A., Dixon, P. & Pearsall, D. J. (2009). Force transducer system for measurement of ice hockey skating force. *Sports Engineering*, 12, 63-68.
- Tan, H., Wilson, A. M. & Lowe, J. (2008). Measurement of stride parameters using a wearable GPS and inertial measurement unit. *Journal of biomechanics*, 41(7), 1398-1406.
- Torres-Ronda, L., Beanland, E., Whitehead, S., Sweeting, A. & Clubb, J. (2022). Tracking systems in team sports: a narrative review of applications of the data and sport specific analysis. *Sports Medicine*, 8(1), 15.
- Troiano, R. P., McClain, J. J., Brychta, R. J. & Chen, K. Y. (2014). Evolution of accelerometer methods for physical activity research. *British journal of sports medicine*, 48(13), 1019-1023.
- Van Iterson, E. H., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Snyder, E. M. & Peterson, B. J. (2017). Reliability of triaxial accelerometry for measuring load in men's collegiate ice hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(5), 1305-1312.
- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A. & Drust, B. (2017). Training load monitoring in team sports: a novel framework separating physiological and biomechanical load-adaptation pathways. *Sports medicine*, 47, 2135-2142.

- Vats, K., Walters, P., Fani, M., Clausi, D. A. & Zelek, J. S. (2023). Player tracking and identification in ice hockey. *Expert Systems with Applications*, 213, 119250.
- Vigh-Larsen, J. F. & Mohr, M. (2024). The physiology of ice hockey performance: an update. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(1), e14284.
- Vleugels, R., Van Herbruggen, B., Fontaine, J. & De Poorter, E. (2021). Ultra-wideband indoor positioning and IMU-based activity recognition for ice hockey analytics. *Sensors*, 21(14), 4650.
- Vossiek, M., Wiebking, L., Gulden, P., Weighardt, J. & Hoffmann, C. (2003). Wireless local positioning-concepts, solutions, applications. In *Radio and Wireless Conference, 2003. RAWCON'03. Proceedings*, 219-224.
- White, J. (2020). PubMed 2.0. *Medical reference services quarterly*, 39(4), 382-387.
- Wu, L. & Casciati, F. (2014). Local positioning systems versus structural monitoring: a review. *Structural Control and Health Monitoring*, 21(9), 1209-1221.
- Wu, Y. & Shi, W. (2015). On calibration of three-axis magnetometer. *IEEE Sensors Journal*, 15(11), 6424-6431.