

**JÄÄKIEKON RANNE- JA LYÖNTILAUKAUKSEEN VAIKUTTAVAT
BIOMEKAANISET TEKIJÄT**

Santeri Valli

Biomekaniikan pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2019

Työn ohjaaja: Janne Avela

TIIVISTELMÄ

Valli, S. 2019. Jääkiekon ranne- ja lyöntilaukaukseen vaikuttavat biomekaaniset tekijät. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, biomekaniikan pro gradu -tutkielma, 74s. 3 liitettä.

Jääkiekko-ottelun voittaa eniten maaleja tehnyt joukkue. Maali tehdään useimmiten laukomalla kiekko maaliin, joten käytetyimpien laukaisutekniikoiden, ranne- ja lyöntilaukauksen, hallitseminen on tärkeää jääkiekkoilijalle. Jääkiekon laukausta on tutkittu vain vähän, ja tämän tutkimuksen tarkoituksena olikin selvittää kiekon nopeuteen vaikuttavia biomekaanisia tekijöitä sekä pelaajan voimaominaisuuksien vaikutusta kiekon nopeuteen.

Tutkimukseen osallistui 17 pelaajaa, joista puolet oli ollut Hockey Base Oy:n laukaisuvalmennuksessa. Pelaajien taso vaihteli ammattilaisista harrastajiin. Tutkittavat suorittivat tarkkuuslaukauksia, maksimaalisia rannelaukauksia kahdella eri painonsiirrolla (alakäden puoleiselta jalalta yläkäden puoleisella = AY ja yläkäden puoleiselta jalalta alakäden puoleiselle = YA) sekä maksimaalisia lyöntilaukauksia (L) kaikkia 10 kappaletta. Kaikki käyttivät samaa mailamallia, mutta mailan jäykkyys määrettiin tutkittavan painon mukaan ($< 87 \text{ kg} = 77 \text{ flex}$, $> 87 \text{ kg} = 87 \text{ flex}$). Laukausten jälkeen suoritettiin voimatestit koko kehon eri lihasryhmille. Tässä työssä käsiteltiin vain maksimilaukauksia. Tutkimuksessa käytettiin 10 kameran liikkeenkaappausjärjestelmää (Vicon, Oxford, Iso-Britannia) 250 Hz kuvausnopeudella. Tutkimuksessa tarkastellut päämuuttujat olivat nivelkulmia ja kulmanopeuksia.

Mailan taipuma (AY: $r = .659^{**}$, $p = .004$, $n = 17$; YA: $r = .688^{**}$, $p = .007$, $n = 14$; L: $r = .525^*$, $p = .044$, $n = 15$) ja tutkittavien koko korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen kaikissa laukaisutekniikoissa. Tutkittavan sarjataso korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen rannelaukauksessa YA- ja lyöntilaukauksessa. Matala ja etukumara asento oli tärkeä molemmissa rannelaukauksissa (esimerkiksi lantion etukallistus voimantuoton alkaessa, AY: $r = .627^{**}$, $p = .007$, $n = 17$; YA: $r = .736^{**}$, $p = .003$, $n = 14$). Lyöntilaukauksessa asento oli vielä matalampi ja etukumarampi, mutta korrelaatiota kiekon nopeuteen ei löytynyt. Ylävartalon kääntö sivulta eteen oli tärkeä molemmissa rannelaukauksissa (AY: $r = .645^{**}$, $p = .005$, $n = 17$; YA: $r = .723^{**}$, $p = .003$, $n = 14$). Vartalon linjausten kohdistuminen maalia kohti oli tärkeää YA-laukauksessa (esimerkiksi tukijalan ja laboratorion Y-akselin välinen kulma voimantuoton alkaessa, kun sisäkierto on positiivinen suunta: $r = .874^{***}$, $p < .001$, $n = 14$). Yläkäden olkanivelen useat asentoon, liikenopeuksiin ja liikelaajuuksiin liittyvät muuttujat korreloivat kiekon nopeuteen rannelaukauksissa. YA-laukauksessa oli runsaasti variaatiota laukaisutyyleissä. Parhaana voidaan pitää askeleella laukomista. Lyöntilaukauksessa suurempi käsien korkeus suhteessa olkapäihin oli yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen (alakäsi: $r = -.629^*$, $p = .012$, $n = 15$; yläkäsi: $r = -.546^*$, $p = .035$, $n = 15$). Yläraajojen voimantuotto oli tärkeää kiekon nopeuden kannalta. Leuanvedon teho vaikuttaisi olevan tärkeämpi ominaisuus rannelaukauksissa (AY: $r = .611^*$, $p = .016$, $n = 15$; YA: $r = .749^{**}$, $p = .002$, $n = 14$) ja penkki-punnerrustestit lyöntilaukauksessa. Vasemman käden puristusvoima korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen kaikissa laukaisutekniikoissa (AY: $r = .613^{**}$, $p = .009$, $n = 17$; YA: $r = .565^*$, $p = .035$, $n = 14$; L: $r = .596^*$, $p = .019$, $n = 15$).

Maksimaalisen kiekon nopeuden saavuttamiseksi maila piti saada taipumaan paljon. Matala ja etukumara asento oli yhteydessä kiekon nopeuteen rannelaukauksissa. Tämä johtunee siitä, että tällaisessa asennossa paino saadaan paremmin mailalle taipuman aikaansaamiseksi. Yläkäden olkanivelen liikenopeudet- ja laajuudet olivat useammassa liikesuunnissa tärkeitä suuren kiekon nopeuden saavuttamiseksi rannelaukauksissa. Yläkäden liike tehostaa mailan taipumista ja vipumekanismia. Yläkäden olkanivelen tulokset viittaisivat siihen, että paremmat laukojat hyödynsivät venymis-lyhenemissykliä paremmin. Myös vartalon voimantuottoa tulee hyödyntää rannelaukauksissa. Tämä tapahtui kääntämällä lantiota ja ylävartaloa sivulta eteen, eikä niinkään kiertämällä niitä. Lyöntilaukauksesta löytyi vain vähän korrelaatioita ja kaikkia muuttujia ei voitu tarkastella. Lyöntilaukauksen kannalta tärkeät tekijät lienevät silti osin samoja kuin rannelaukauksissa. Ylävartalon voimaominaisuudet ovat tärkeät laukauksen kannalta.

Avainsanat: jääkiekko, rannelaukaus, lyöntilaukaus, maila, voima, liikeanalyysi

KÄYTETYT LYHENTEET

AY	painon siirto alakäden puoleiselta jalalta yläkäden puoleiselle jalalle. Käytetään tarkoittamaan rannelaukausta, jossa kyseinen painonsiirto tapahtuu (AY tai AY-laukaus)
KEA	kiekon esi-irrotuksen alku, tulkitaan rannelaukauksessa voimantuoton alkamishetkeksi
L	lyöntilaukaus
LJA	lavan jääkontaktin alku, tulkitaan lyöntilaukauksessa voimantuoton alkamishetkeksi
LKL	lavan kiekkokontaktin loppu
PA	potkun alku, laukauksen alkuhetki
STA	soft tissue artifact, pehmytkudos artefakti
TA	taipuman alku, tulkitaan rannelaukauksessa voimantuoton alkamishetkeksi, jos esi-irrotusta ei tapahdu
YA	painon siirto yläkäden puoleiselta jalalta alakäden puoleiselle jalalle. Käytetään tarkoittamaan rannelaukausta, jossa kyseinen painonsiirto tapahtuu (YA tai YA-laukaus)
1RM	one repetition maximum, suurin kuorma, joka voidaan nostaa kerran

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 JÄÄKIEKKOLAUKAUS	2
2.1 Mailan ominaisuudet ja mailan käyttö.....	2
2.2 Laukaisutekniikka.....	3
2.2.1 Jääkiekon laukaisutekniikka	4
2.2.2 Jääkiekkolaukauksen kaltaiset suoritukset	5
2.3 Voimaominaisuudet.....	8
3 KOLMIULOTTEISEN LIIKEANALYYSIN PERUSTEET JÄÄKIEKKO- TUTKIMUKSESSA.....	10
3.1 Segmenttianalyysi.....	10
3.2 DLT-parametrit ja kalibrointi	11
3.3 Kulmalaskenta ja markkeriasettelu.....	12
3.4 Kamera-asettelu ja kuvaustilavuus	15
3.5 Keräystaajuus.....	17
3.6 Suodatus	18
3.7 Järjestelmien tarkkuus	19
4 TUTKIMUSKYSYMYKSET	21
5 MENETELMÄT.....	22
5.1 Tutkittavat.....	22
5.2 Protokolla	22
5.3 Tutkimusasetelma.....	24
5.4 Mittaukset	27
5.5 Datan käsittely	30

5.6	Muuttujat	31
5.7	Tilastolliset analyysit	35
6	TULOKSET	36
6.1	Rannelaukauksen tekniikka alakäsi-yläkäsi -painonsiirrolla.....	36
6.2	Rannelaukauksen tekniikka yläkäsi-alakäsi -painonsiirrolla.....	37
6.3	Lyöntilaukauksen tekniikka.....	38
6.4	Biomekaanisten muuttujien korrelaatiot.....	39
6.5	Voimatestit	41
7	POHDINTA.....	43
7.1	Rannelaukaus alakäsi-yläkäsi -painonsiirrolla	44
7.2	Rannelaukaus yläkäsi-alakäsi -painonsiirrolla	50
7.3	Lyöntilaukaus	58
7.4	Voimaominaisuudet.....	62
7.5	Ei-korreloineet muuttujat.....	64
7.6	Virhelähteet	65
8	YHTEENVETO	69
	LÄHTEET	70
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Jääkiekko on jäällä pelattava peli, jossa tavoitteena on saada peliväline, kiekko, vastustajan maaliin. Maali tehdään lyömällä tai työntämällä kiekkoa mailalla, joka koostuu varresta ja lavasta. Eniten maaleja ottelun aikana tehnyt joukkue voittaa ottelun. Käytetyimmät laukaisutekniikat ovat ranne- ja lyöntilaukaus. Laadukasta laukausta voidaan pitää yhtenä tärkeimmistä jääkiekkoilijan taidoista. Laukaus koostuu kiekon nopeudesta sekä tarkkuudesta.

Viime vuosikymmenten aikana ei ole tutkittu kiekon nopeuteen vaikuttavia kehon kinemaattisia muuttujia jääkiekon ranne- ja lyöntilaukauksessa. Mailan ominaisuuksien ja käyttäytymisen vaikutuksia on tutkittu molemmissa tekniikoissa. Lisäksi kehon kinemaattisia muuttujia on tutkittu tarkkuuslaukauksissa. Näitäkään tutkimuksia ei ole runsaasti.

Voimaominaisuuksien vaikutusta kiekon nopeuteen on tutkittu vain vähän. Vähäisetkin tutkimukset ovat suppeita ja osin heikosti toteutettuja. Jääkiekon ja muiden lajien kirjallisuuden perusteella on selvää, että voimaominaisuuksilla on vaikutusta pelivälineen maksimaaliseen nopeuteen.

On siis ilmeistä, että jääkiekon laukaukseen vaikuttavia biomekaanisia tekijöitä ja pelaajan voimaominaisuuksia tulee tutkia. Näitä tekijöitä selvittämällä voidaan kehittää jääkiekon tärkeimmän lajitaidon, laukomisen, valmennusta. Laukaukseen vaikuttavat tekijät tulee huomioida sekä tekniikka- että fysiikkaharjoittelussa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena olikin selvittää tärkeimpiä kiekon nopeuteen vaikuttavia biomekaanisia muuttujia ja pelaajan voimaominaisuuksia jääkiekon ranne- ja lyöntilaukauksissa.

2 JÄÄKIEKKOLAUKAUS

Jääkiekossa yleisimmin käytetyt laukaisutekniikat ovat ranne- ja lyöntilaukaus. Rannelaukaus on tarkempi ja pystytään suorittamaan lyhyemmässä ajassa, kun taas lyöntilaukauksella voidaan saavuttaa suurempi kiekon nopeus. Tässä luvussa keskitytään näihin kahteen tekniikkaan sekä niitä vastaaviin suorituksiin muissa lajeissa.

2.1 Mailan ominaisuudet ja mailan käyttö

Mailan jäykkyyden vaikutuksesta laukaukseen on ristiriitaisia tutkimustuloksia. Pearsall, Montgomery, Rothsching ja Turcotte (1999) havaitsivat, että lyöntilaukauksessa mailan pienempi jäykkyys ja suurempi taipuma ovat yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen (keskiarvot eri mailoilla välillä $105,9 \pm 5,4 - 108,2 \pm 4,6$ km/h). Myös Kays & Smith (2017) havaitsivat pienemmän jäykkyyden lisäävän kiekon nopeutta lyöntilaukauksessa (mailakohtaisen keskiarvon vaihteluväli $82,8 - 90,7$ km/h, arvot kuvaajasta), mutta rannelaukauksissa mailan suurempi jäykkyys lisäsi kiekon nopeutta (mailakohtaisen keskiarvon vaihteluväli $68,4 - 78,5$ km/h, arvot kuvaajasta). He selittivät tätä ilmiöllä, jonka mukaan pelaaja laukoisi joko muuttumattomalla voimalla tai muuttumattomalla liikkeellä. Tämän perusteella rannelaukauksissa liike olisi muuttumaton, jolloin maila taipuu yhtä paljon jäykkyydestä riippumatta ja näin jäykempi maila varastoi enemmän energiaa. Muuttumattomalla voimalla jäykempi maila ei taivu yhtä paljoa ja vähemmän jäykkä olisikin parempi. (Kays & Smith 2017.)

Myös Worobets, Fairbairn ja Stefanyshyn (2006) käsittelivät samaa teoriaa havaittuaan, että rannelaukauksissa mailan jäykkyyden kasvu vähensi kiekon nopeutta (rannelaukausten keskinopeus $96,5 \pm 2,9$ km/h). Jäykemmät mailat taipuivat vähemmän ja niihin saatiin varastoitua vähemmän elastista energiaa. Tutkimuksessa oli viitteitä voimakontrolloituun laukaukseen eli maksimaalinen voima vaihteli vain vähän mailan jäykkyyksien mukaan. Tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu mailalla olevan merkitsevää vaikutusta kiekon nopeuteen lyöntilaukauksissa (lyöntilaukausten keskinopeus $124,9 \pm 3,2$ km/h). Mailan jäykkyys ja siihen varastoitu elastinen energia eivät olleet yhteydessä toisiinsa. (Worobets ym. 2006.)

Gilenstam, Henriksson-Larsén ja Thorsen (2009) eivät löytäneet merkitsevää eroa kiekon nopeudessa, kun naisjäykkiekkoolijat suorittivat lyöntilaukauksia kahdella mailalla, joissa oli selkeästi eri jäykkyysominaisuudet. He tutkivat myös kiekon painon vaikutusta, jolla ei yksinään ollut myöskään merkitsevää vaikutusta. Kun mailan jäykkyys ja kiekon paino olivat molemmat pienemmät, kiekon nopeus oli merkitsevästi suurempi. ANOVA:lla testattuna sekä kiekon paino että mailan jäykkyys olivat selittäviä tekijöitä kiekon nopeuteen (eri kiekkojen ja mailojen yhdistelmien keskinopeudet olivat vaihteluvälillä $70,9 \pm 11,9 - 73,8 \pm 12,6$ km/h). (Gilenstam ym. 2009.)

Lisäksi on tutkimuksia, joissa ei ole havaittu yhteyttä kiekon nopeuden ja mailan jäykkyyden välillä kummassakaan laukaisutyypissä (ranne- ja lyöntilaukaus) (Hannon, Michaud-Paquette, Pearsall & Turcotte 2011; Wu ym. 2003). Näissä tutkimuksissa kuitenkin havaittiin, että korkeammalla tasolla pelaavat pelaajat sekä saavuttivat suuremman kiekon nopeuden (rannelaukaus: matala taso $73,4 \pm 10,4$ km/h, korkea taso $87,1 \pm 8,3$ km/h, Hannon ym. 2011; $52,2 \pm 15,8$ km/h, Wu ym. 2003; lyöntilaukaus: matala taso $80,6 \pm 23,8$ km/h, korkea taso $97,9 \pm 15,1$ km/h, Hannon ym. 2011; $76,3 \pm 24,5$ km/h, Wu ym. 2003) että taivuttivat mailaa enemmän molemmissa laukaisutyypeissä. Mailan jäykkyyden vaihtelusta aiheutuvat muutokset saattavat siis olla niin pieniä, että tilastollista merkittävyyttä ei löydy, mutta on ilmeistä, että maila pitää saada taipumaan enemmän paremman laukauksen saavuttamiseksi. (Hannon ym. 2011; Wu ym. 2003.)

Mailan ominaisuuksien vaikutukseen liittyvä ristiriitainen tutkimusnäyttö viittaa siihen, että pelaajan kyky käyttää mailaa hyväkseen on merkittävä tekijä kiekon nopeuteen. Saman ajatuksen esittivät Worobets ym. (2006) pohdinnassaan. Toisaalta on ilmeistä, että pelaajan taso vaikuttaa kiekon nopeuteen mailaa enemmän (Gilenstam ym. 2009; Hannon ym. 2011; Wu ym. 2003), joten laukauksen kannalta tärkeitä biomekaanisia tekijöitä tulisi selvittää.

2.2 Laukaisutekniikka

Jääkiekon laukauksen tekniikasta on hyvin vähän julkaistua tutkimustietoa. Toisaalta monissa lajeissa on suorituksia, jotka vastaavat liikemalliltaan jääkiekon laukausta. Tässä luvussa käsitellään sekä jääkiekon laukausta että vastaavia suorituksia muista lajeista.

2.2.1 Jääkiekon laukaisutekniikka

Rannelaukaus. Rannelaukauksien kestossa ei ollut eroja eri tasolla pelaavien pelaajien välillä lauottaessa maksimilaukauksia (Hannon ym. 2011). Tarkkuuslaukauksia tarkasteltaessa kiekon lähtönopeus oli yksi selittävimpiä tekijöitä osumatarkkuuteen (Michaud-Paquette, Pearsall & Turcotte 2009). Toisaalta tämä voi selittyä sillä, että korkeammalla tasolla pelaavat pelaajat laukovat sekä kovempaa että tarkemmin. Korkeammalla tasolla pelaavat pelaajat saivat myös mailan taipumaan enemmän, mikä osittain selitti osumatarkkuutta (Michaud-Paquette ym. 2009). Tämä lienee yhteydessä myös suurempaan kiekon lähtönopeuteen.

Rannelaukauksissa laukauksen lopussa tuleva pyyhkäisy vaatii nopeaa lavan kallistuskulman (pitch angle) ja kääntökulman (yaw angle) muutosta. Näiden kulmamuutosten nopeus saattaa-kin olla yhteydessä rannelaukausten osumatarkkuuteen. (Michaud-Paquette ym. 2009.) Lopun voimakas pyyhkäisy lisää myös kiekon nopeutta, joten rannenivelten nopeat kulmamuutokset saattavat olla yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen.

Michaud-Paquette, Magee, Pearsall ja Turcotte (2011) tutkivat vartalon toimintaa tarkkuuslaukauksissa. Tärkeitä selittäviä tekijöitä tarkkaan rannelaukaukseen oli potkaiseva jalka – tässä erityisesti lonkan ojennus, yläkäden toiminta – tässä varsinkin ranteen rotaatio sekä lantion ja ylävartalon kierto. Tarkemmilla laukojilla oli keskivartalossa vähemmän vaihtelua verrattuna epätarkempiin laukojiin ja yläkäden olkanivelessä vähemmän vaihtelua verrattuna ranneniveleen. (Michaud-Paquette ym. 2011.)

Rannelaukauksissa kehon kinematiikkaa ei ole tutkittu maksimilaukauksissa. Korkeammalla tasolla pelaavat pelaajat ovat tutkimuksissa laukoneet sekä tarkemmin että suuremmalla kiekon nopeudella. Voidaankin olettaa, että suurempaa kiekon nopeutta selittävät tekijät ovat osin samoja kuin suurempaa tarkkuutta selittävät tekijät.

Lyöntilaukaus. Samalla mailalla lauotuissa lyöntilaukauksissa paremmat laukojat ovat saaneet mailan taipumaan enemmän. Kiekon kiihtyvyyden perusteella pelaajien käyttämä voima on ollut sama, mutta paremmilla laukojilla lavan ja kiekon kontakti on kestänyt pidempään. Voimantuottoaika kiekkoon on siis ollut pidempi. Lisäksi paremmilla laukojilla mailan taipuminen

on alkanut aiemmin ja kestänyt pidempään suhteessa lavan kiekkokontaktin keston. (Villasenor, Turcotte, & Pearsall 2006.)

Hannon ym. (2011) havaitsivat, että korkeammalla tasolla pelaavat pelaajat laukoivat lyöntilaukauksen noin kolme kertaa lyhyemmässä ajassa kuin alemmalla tasolla pelaavat. Lomond, Turcotte ja Pearsall (2007) tutkivat vain lavan jääkontaktia ja havaitsivat, että eliittiryhmän pelaajilla aika lavan jääkontaktin alusta kiekkokontaktin alkuun on harrastajaryhmää lyhyempi, mutta jääkontaktin kokonaiskesto on eliittiryhmällä pidempi. Hannonin ym. (2011) tutkimuksessa korkeammalla tasolla pelaavilla lavan kiekkokontakti kesti huomattavasti kauemmin suhteessa laukauksen keston.

Eri tutkimusten tulokset ovat hieman ristiriitaisia, mutta vaikuttaisi siltä, että pidemmällä lavan jääkontaktin ja/tai kiekkokontaktin kestolla voidaan lisätä voimantuottoaikaa, jolloin maila saadaan taipumaan enemmän. Tämä vapauttaa elastista energiaa laukauksen loppuvaiheessa ja lisää kiekon nopeutta. (Villasenor ym. 2006.)

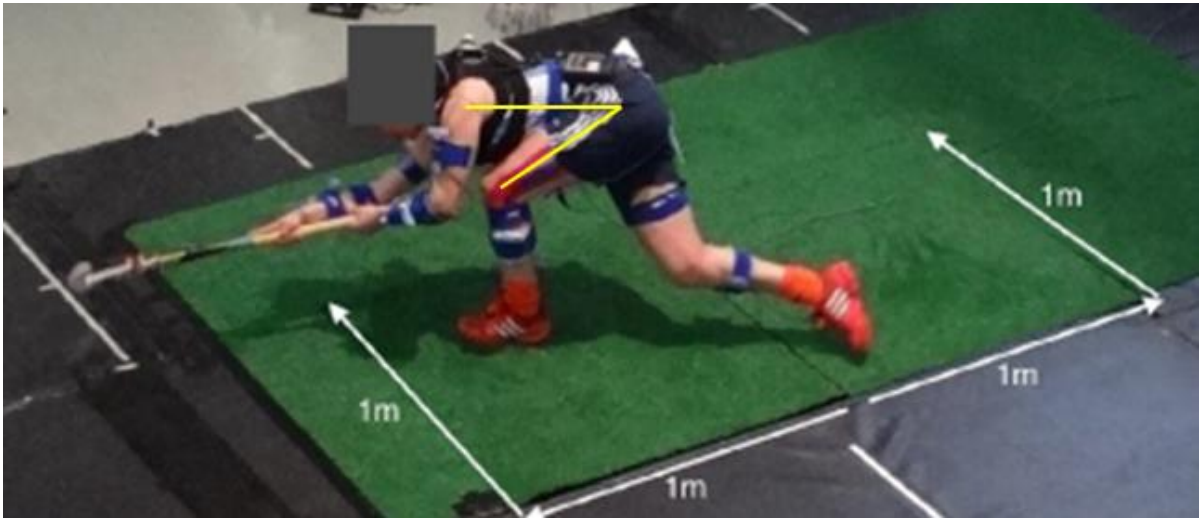
Wu ym. (2003) havaitsivat eroja käsien otepaikoissa mailassa. He tosin käyttivät saman mittaisia mailoja kaikille, vaikka mittauksessa oli hyvin eri mittaisia tutkittavia. Lyöntilaukauksessa korkeammalla tasolla pelaavat pelaajat laukoivat kovempaa ja pitivät käsiään etäämmällä toisistaan. Tämä ero johtui alakäden siirtämisestä eikä yläkäden paikasta, joten tässä tapauksessa mailan pituuden vaikutusta oteleveyteen voidaan pitää pienenä. (Wu ym. 2003.)

Eliittiryhmällä lapa on enemmän kiinni eli kallistunut kiekon päälle lähes koko jääkontaktin loppuun asti verrattuna harrastajaryhmään. Eliittiryhmällä tulee myös voimakkaampi kei-nuefkti (rocker), kun jääkontaktin alussa lapa kääntyy voimakkaammin kärjeltä kannalle. Harrastajaryhmällä lapa on enemmän vaakatasossa lavan osuessa jäähän. Tällä saattaa olla yhteys mailan elastisten ominaisuuksien hyödyntämiseen. Lisäksi eliittiryhmällä lapa kääntyy kiekkokontaktin aikana suurempaan kulmaan suhteessa frontaalitasoon. (Lomond ym. 2007.)

2.2.2 Jääkiekkolaukauksen kaltaiset suoritukset

Maahockeyn vetolaukaus (drag-flick) muistuttaa jääkiekon rannelaukausta, sillä siinäkin peliväline pysyy kiinni mailassa laukauksen ajan ja laukaus alkaa vetämällä pelivälinettä vartalon

takaa. Laukaisuasento on tosin huomattavasti jääkiekon rannelaukausta matalammalla. Kuvasta 1 havaitaan, että ylävartalo on lähes vaakatasossa ja tukijalan lonkkakulma on hyvin pieni.



KUVA 1. Maahockeyyn vetolaukauksen loppuasento. Reisi ja vartalo esitetty keltaisena segmenttinä. (mukailtu Ibrahim ym. 2016.)

Verrattaessa kansainvälisen tason huippua eliittipelaajiin havaittiin, että huippupelaaja saavutti lantion ja mailan suuremmat kulmanopeudet suhteessa x-akseliin (sivusuunta) kuin eliittipelaajat. Ylävartalon kulmanopeus oli huipulla lantiota pienempi, eikä eronnut merkitsevästi eliittimiesten kulmanopeudesta. Eliittinaisilla myös ylävartalon kulmanopeus oli merkitsevästi hitaampi kuin huippupelaajalla. Huippupelaaja tuotti suuremmat kehonpainoon suhteutetut voimat alustaan jokaisessa liikesuunnassa. (de Subijana, Juárez, Mallo & Navarro 2010.)

Vaikka de Subijanan ym. (2010) tutkimuksessa ylävartalon liike ei yksittäisellä huipulla eronnutkaan merkitsevästi muista tutkittavista, Ibrahimin, Faberin, Kingman ja van Dieenin (2016) tutkimuksessa ylävartalon lateraalisen ja aksiaalisen rotaation nopeus olivat tärkeitä pallon nopeutta ($114,1 \pm 9,0$ km/h) selittäviä tekijöitä. Samoin myös alakäden ranteen koukistuksen ja yläkäden ranteen ojennuksen nopeus olivat tärkeitä tekijöitä pallon nopeuteen. Olka- ja kyynärnivelen liikkeet eivät olleet tärkeitä pallon nopeuden kannalta, mutta niiden avulla pidetään pallon rata lähes suorana koko laukauksen ajan ja koordinoidaan liikettä. (Ibrahim ym. 2016.)

Salibandyn rannelaukauksessa matala asento, sisemmän jalan nivelten koukistuksen liikelaajuus, painon siirto, lantion, ylävartalon ja vartalon kiertojen liikelaajuudet sekä yläkäden ranteen lähennys-loitonnuksen ja rotaation liikelaajuudet selittivät suurempaa pallon nopeutta (vaihteluväli 49,0–103,7 km/h). Laukauksia lauottiin kahdella eri jalkojen orientaatiolla, mutta tällä ei ollut vaikutusta pallon nopeuteen. Kyseessä oli kuitenkin ensisijaisesti tarkkuustehtävä, mikä vaikuttanee pallon nopeuteen eri tutkittavilla erilaisesti suhteessa tutkittavan maksimaaliseen laukaukseen. Tehtävän tarkkuusluonne saattaa vaikuttaa myös pallon nopeutta selittäviin tekijöihin. (Lazzeri, Kayser & Armand 2016.)

Myös lacrossessa pallo on kiinni mailassa laukauksen alusta pallon irtoamiseen asti. Macaulay, Katz, Stergiou, Stefanyshyn ja Tomaghelli (2017) vertailivat alakautta, sivulta ja yläkautta suoritettuja laukauksia. Sivulta saavutettiin suurin pallon nopeus ($119,8 \pm 8,4$ km/h), mutta tarkkuudessa ei ollut eroa eri laukaisutekniikoiden välillä. Pallon nopeudet eri laukaisutekniikoilla korreloivat keskenään, mutta tarkkuudet eivät. Pallon nopeuteen vaikuttavat todennäköisesti samat tekijät kaikissa tekniikoissa, mutta tarkkuuden osalta tärkeimmät tekijät eroavat. Kinematiikasta ei löytynyt selittäviä tekijöitä pallon nopeudelle ja tarkkuudelle. Pallon nopeutta ja laukauksen tarkkuutta ei kuitenkaan tarkasteltu erikseen. Erillinen tarkastelu olisi saattanut nostaa esiin ylävartalon kierron merkityksen, kuten monissa muissa vastaavissa liikkeissä. Alavartaloa ei tutkittu, joten lantion ja ylävartalon suhteellisia kiertoja ei myöskään tutkimuksessa saatu. (Macaulay ym. 2017.)

Golfing swingiä voidaan pitää liikemalliltaan jääkiekon lyöntilaukauksen kaltaisena suoritukseksi. Lindsay, Mantropin ja Vandervoortin (2008) kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin eroja eri tasoisten golffareiden välillä. Saman kaltaisia tuloksia on saatu myös tuoreemmissa tutkimuksissa. Takaheilautuksen aikana taitavammat golffarit siirtävät painon enemmän takajalalle, kiertävät vartaloa enemmän ja olkanivelten liikelaajuudet ovat suuremmat. Olkalinja (ylävartalo) kääntyy enemmän suhteessa lyöntisuuntaan ja suhteessa lantioon (suurempi x-factor). Eri-tyisesti x-factorin suuruus on tärkeä tekijä pallon nopeuteen (Chu ym. 2010: $219,6 \pm 31,3$ km/h). (Chu ym. 2010; Lindsay ym. 2008.)

Alas heilautuksen aikana taitavammilla lyöjillä lantio kääntyy ensimmäisenä ja segmenttien maksimaaliset nopeudet ajoittuvat järjestyksessä proksimaalisesta distaaliseen, kun huonommilla golffareilla järjestys saattaa vaihdella. Taitavammilla paino siirtyy enemmän etujalalle

alas heilautuksen aikana ja maahan kohdistuvat voimat ovat enemmän lyönnin suuntaisia, kun huonommilla esiintyy enemmän lateraalisia voimia. Anterio-posterioriset voimat myös esiintyvät aikaisemmassa vaiheessa taitavammilla. Alas tuonnin puolivälissä taitavammilla ranteet ovat kääntyneet enemmän värttinäluun suuntaan (radial deviation) ja alavartalo on kiertynyt enemmän lyönnin suuntaan (hip clearing). (Lindsay ym. 2008; Tinmark, Hellström, Halvorsen & Thorstensson 2010.)

Ylävartalon kiertonopeus kiihdytysvaiheessa on tärkeä pallon nopeuden kannalta, muttei yhtä tärkeä enää osumahetkellä. Johtavan käden liikkeen myöhäisempi aloitus sekä suurempi kulma suhteessa vaakatasoon kiihdytysvaiheessa ja 40 ms ennen osumaa ovat yhteydessä suurempaan pallonnopeuteen. Toisaalta osumahetkellä käden pienempi kulma suhteessa vaakatasoon on yhteydessä suurempaan pallon nopeuteen. Myös ranteen liikkeessä on havaittavissa samat ilmiöt. Käsien ja erityisesti distaalisten osien myöhäinen ja voimakas liike antaa mailan päälle suuren kiihtyvyyden ja nopeuden juuri ennen osumaa palloon. (Chu ym. 2010; Lindsay ym. 2008.)

Osumahetkellä taitavammilla golffareilla vartalo on kiertynyt enemmän ja paino siirtynyt enemmän etujalalle. Osuman jälkeen mailan nopeus kiihtyy taitavammilla, kun huonommilla se alkaa heti hidastua. Taitavammat pelaajat pitävät kehon painopisteen lähempänä kantapäitä koko lyönnin ajan. Ylävartalon etukallistuksen kulman säilyttäminen mahdollisimman pitkään lyönnin aikana on yhteydessä suurempaan pallon nopeuteen. (Chu ym. 2010; Lindsay ym. 2008.)

2.3 Voimaominaisuudet

Bezak ja Pridal (2017) havaitsivat penkkipunnerruksen maksimivoiman ($95,2 \pm 13,8$ kg) ja tehon (40 kg kuormalla: $485,4 \pm 50,7$ W, 50 kg kuormalla $509,5 \pm 63,3$ W) olevan yhteydessä kiekon nopeuteen rannelaukauksissa ($105,6 \pm 10,0$ km/h) ja penkkipunnerruksen tehon lyöntilaukauksissa ($125,2 \pm 12,6$ km/h). Puristusvoima (oikea käsi: $65,4 \pm 9,7$ kg, vasen käsi: $62,1 \pm 10,2$ kg) ei ollut yhteydessä kiekon nopeuteen. Pelaajan pituus korreloi positiivisesti kiekon nopeuden kanssa rannelaukauksissa. (Bezak & Pridal 2017.)

Wu ym. (2003) havaitsivat penkkipunnerruksen maksimivoiman (taitavat pelaajat: $67,8 \pm 29,6$ kg; ei-taitavat pelaajat: $61,1 \pm 28,2$ kg), puristusvoiman (taitavat pelaajat: oikea käsi $49,5 \pm 12,6$

kg, vasen käsi $47,9 \pm 14,3$ kg; ei-taitavat pelaajat: oikea käsi $47,1 \pm 14,4$ kg, vasen käsi $43,3 \pm 13,6$ kg) sekä pelaajien pituuden ja painon korreloivan positiivisesti kiekon nopeuteen ranne- ja lyöntilaukauksissa. Heillä tosin oli tutkittavina sekä naisia että miehiä. Sukupuolten sisäistä vertailua kyseisistä korrelaatioista ei esitetty. (Wu ym. 2003.)

Käsipalloheitossa penkkipunnerruksen 1RM ($68,9 \pm 10,1$ kg), huipputeho 36 ja 46 kg kuormilla sekä tangon nopeus 26 ja 36 kg kuormilla korreloivat positiivisesti pallon nopeuteen ($86,3 \pm 6,1$ km/h), mutta suoritusten keskitehot eivät (Marques, van den Tilaar, Vescovi & Gonzalez-Badillo 2007). Baseball-lyönnissä penkkipunnerruksen 1RM ($80,3 \pm 8,0$ kg) ja teho (huipputeho: $767,8 \pm 160,8$ W) sekä isokineettisen rintapenkin tulokset korreloivat positiivisesti pallon nopeuteen (Miyaguchi & Demura 2012).

On ilmeistä, että pelaajien voimaominaisuudet ja kehon koko vaikuttavat laukaukseen, kun erot niissä ovat riittävän suuret – esimerkiksi verrattaessa sukupuolia tai aikuisia ja lapsia keskenään. Voimaominaisuuksien ja kehon koon vaikutus laukaukseen ei välttämättä ole niin selvä, kun tarkastellaan riittävän saman tasoisia laukojia. Jääkiekossa on hyvin vähän tutkimusta koko kehon tärkeimmistä voimaominaisuuksista laukauksen kannalta.

3 KOLMIULOTTEISEN LIIKEANALYYSIN PERUSTEET JÄÄKIEKKO-TUTKIMUKSESSA

Kolmiulotteinen liikeanalyysi kuvaa liikettä kolmessa tasossa. Se pyrkii tuottamaan mahdollisimman tarkkaa kinemaattista dataa liikkeestä. (Hamill, Selbie & Kepple 2014.) Liikeanalyysillä voidaan tarkastella myös kinetiikkaa. Tämä vaatii segmenttiparametrien tuntemista ja usein myös voimamittausten lisäämistä analyysiin. (Selbie, Hamill & Kepple 2014.)

Liikeanalyysi voidaan toteuttaa useilla eri menetelmillä. Käytettyjä ovat esimerkiksi erilaiset kamerajärjestelmät, goniometrit tai kiihtyvyyssanturit. Koska kamerajärjestelmät ovat yleisin tapa liikeanalyysin toteutukseen (Robertson & Caldwell 2014), tässä luvussa keskitytään vain niiden avulla toteutettujen liikeanalyysien perusteisiin. Kun tässä luvussa puhutaan liikeanalyysistä, tarkoitetaan kameroilla toteutettua liikeanalyysiä, ellei toisin mainita.

3.1 Segmenttianalyysi

Newtonin gravitaatiolain mukaan kappaleet vetävät toisiaan puoleensa, ja tämän gravitaatiovoiman suuruus riippuu niiden massasta ja etäisyydestä. Kappaleet ovat usein monimutkaisia, ja niiden massaa voidaankin tarkastella yhtenä pisteenä – massakeskipisteenä. Massakeskipiste on abstrakti piste, johon kappaleen eri osien massa keskimäärin jakautuu. Massakeskipisteen paikka vaihtelee kappaleen osien suhteellisten paikkojen vaihdellessa. Kun kehon eri osien massa, massakeskipisteet ja paikat tiedetään, voidaan laskea koko kehon massakeskipiste. Tällaista menetelmää kutsutaan segmenttianalyysiksi. (Enoka 2008, 46–47.)

Kehon eri osille on määritetty segmenttiparametreja, jotta niiden ominaisuuksia ei tarvitse aina erikseen määrittää. Parametrit ovat arvioita segmenttien massoista, massakeskipisteistä ja hitausmomenteista eri kohderyhmissä. Parametreja käytettäessä pätee oletus, että segmentit ovat jäykkiä kappaleita, vaikka tämä ei ihmiskehossa pidä paikkaansa. Tämä tulee aina huomioida liikeanalyysin tuloksia tarkasteltaessa. Lisäksi jotkin segmentit ajatellaan usein yhdeksi, tai useammaksi, jäykäksi kappaleeksi, vaikka ne koostuisivat useista toistensa suhteen liikkuvista osista. Tämä yksinkertaistaa analyysiä. Esimerkki yksinkertaistetusta segmentistä on vartalo, jota käsitellään yleensä 1–3 segmenttinä, vaikka se koostuu lukuisista selkärangan nikamista.

Tutkimuksissa segmenttiparametrien määrittämiseen käytetyt menetelmät voidaan jakaa neljään kategoriaan: ruumiilla tehdyt tutkimukset, matemaattiset mallinnukset, skannaus- ja kuvaustekniikat sekä kinemaattiset mittaukset. (Enoka 2008, 47; Robertson 2014.)

Segmenttimalleja on määritetty hyvin erilaisilla koehenkilöillä, ja tutkijoiden onkin oltava tarkkana valitessaan segmenttimallia. Käytetyin segmenttimalli on Clauserin ym. muokkaama niin kutsuttu Dempsterin malli. Tämä malli on tehty vainajatutkimusten perusteella ja se soveltuukin huonosti esimerkiksi nuorille. Zatsiorsky ym. ovatkin kehittäneet runsaasti käytetyn segmenttimallin. He käyttivät nuoria urheilijoita koehenkilöinä. Urheilijoiden antropometria saattaa vaihdella suuresti eri lajien vaatimuksien mukaan, joten Zatsiorskyn ym. mallikaan ei sovi kaikille urheilijoille. (Virmavirta & Isolehto 2014.)

3.2 DLT-parametrit ja kalibrointi

Yksittäinen kamera kuvaa aina kaksiulotteista kuvaa omasta näkökulmastaan. Näin yksittäiset markkerit saavat kaksiulotteiset koordinaatit kameran koordinaatistossa. Markkerille voidaan saada kolmiulotteiset koordinaatit yleisessä koordinaatistossa, kun vähintään kahden kameran koordinaatit yhdistetään DLT-tekniikalla (suora lineaarinen muutos, direct linear transformation). Yksinkertaistetusti DLT-tekniikassa piste kuvataan vektorina P' paikallisessa koordinaatistossa, vektorina P yleisessä koordinaatistossa ja näiden kahden koordinaatiston origojen välille muodostetaan vektori O . Näiden avulla saadaan laskettua pisteen kolmiulotteiset koordinaatit. Tätä toimenpidettä varten tarvitaan aina yleinen vertailukuva (global reference frame), joka määrittää yleisen koordinaatiston. Lisäksi tarkasteltavilla pisteillä tai segmenteillä pitää olla paikka paikallisessa koordinaatistossa, joka määritetään paikallisesta vertailukuvasta (local reference frame). Kolmiulotteiseen liikeanalyysiin riittää kaksi kameraa, mutta markkereiden näkyvyyden varmistamiseksi ja tarkkuuden lisäämiseksi käytetään usein useamman kameran järjestelmiä. (Hamill ym. 2014; Robertson & Caldwell 2014; Wu & Cavanagh 1995.)

Jotta DLT-tekniikka toimisi, tarvitaan kontrollipisteitä, joiden tarkat koordinaatit suhteessa yleisen koordinaatiston origoon tiedetään. Näiden tiedettyjen koordinaattien avulla voidaan lähteä ratkaisemaan DLT-yhtälöä. DLT vaatii kuusi kontrollipistettä, mutta useammat pisteet lisäävät menetelmän tarkkuutta. (Kennedy, Wright & Smith 1989.) Näiden kontrollipisteiden ku-

vaamista kutsutaan kuvausalueen kalibroinniksi. Kontrollipisteiden määrän kasvattamisen lisäksi kalibroinnin tarkkuus kasvaa, jos pisteet ovat jakautuneet tasaisesti kuvaustilavuuteen (Chiari, Croce, Leardini & Cappozzo 2005).

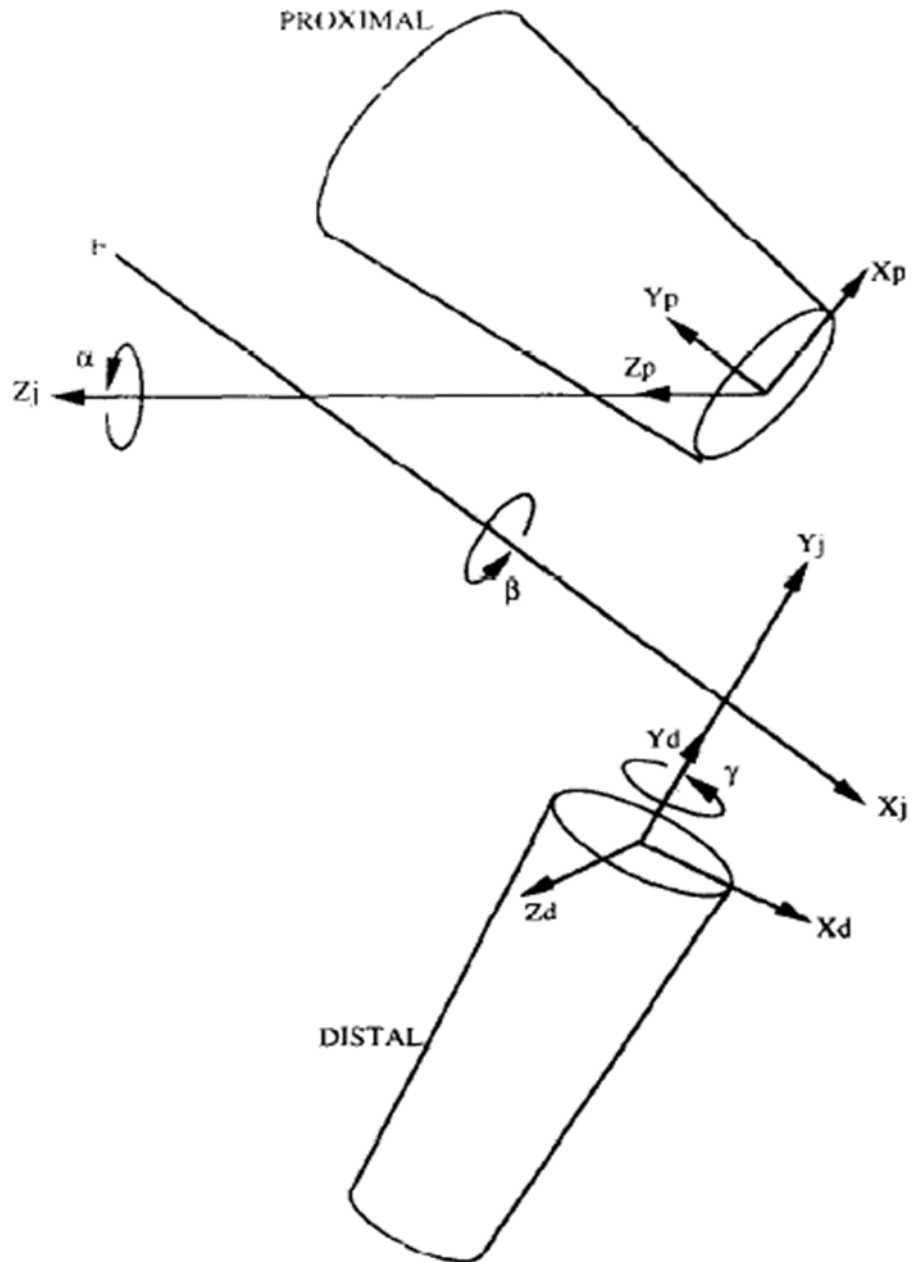
Kalibroinnin avulla määritetään kameran geometriset ja optiset ominaisuudet (sisäiset parametrit) sekä kameran kuvan paikka ja asento suhteessa kuvaustilaan ja muihin kameroihin (ulkoiset parametrit). Koska DLT-tekniikka vaatii tunnetut kalibroitipisteet, suuren kuvaustilavuuden kalibrointi on hankalaa. Kalibrointiin on kehitetty vaihtoehtoisia tapoja, jossa tunnettua objektia liikutellaan kuvaustilavuudessa, ja tarvittavat kalibrointilaskennat suoritetaan useiden kuvien perusteella. Menetelmästä on käytetty nimitystä SMAC (simultaneous multi-frame analytical calibration). SMAC-menetelmällä olisi jopa mahdollista, että kaikkien kameroiden ei tarvitse samanaikaisesti nähdä kalibrointiobjektia. Tämänkaltaiset itsekalibroivat menetelmät ovat yleistymässä hankalien 3D-kalibrointiobjektien tilalle. (Chiari ym. 2005.)

3.3 Kulmalaskenta ja markkeriasettelu

Massakeskipisteen paikan ja liikkeen lisäksi liikeanalyysillä pyritään selvittämään segmenttien paikkoja ja liikkeitä toisiinsa nähden sekä suhteessa kuvaustilavuuteen. Segmenttien orientatiota toisiinsa nähden kuvataan nivelkulmien ja siirtymien avulla. ISB:n (International Society of Biomechanics) suositukset kinemaattisen datan raportoinnista (Wu & Cavanagh 1995) ja nivelkulmien laskennasta (Wu ym. 2002; Wu ym. 2005) perustuvat Groodin ja Suntayn (1983) esittämään malliin nivelkoordinaattisysteemistä (JCS, joint coordinate system).

Segmenttien välisiä kulmia on yritetty laskea segmenttien koordinaatistojen välisinä Euler-kulmina (Grood & Suntay 1983). Groodin ja Suntayn (1983) mukaan tämä on kuitenkin ongelmallista, sillä tässä tapauksessa rotaatioiden laskentajärjestys vaikuttaa lopputulokseen. Rotaatio yhden akselin ympäri kääntää muiden akseleiden asentoja toistensa suhteen. Myös segmenttien siirtymät suhteessa toisiinsa vaihtelevat rotaatioiden mukaan. Kun segmenttien välille luodaan nivelkoordinaattisysteemi (JCS, joint coordinate system), voidaan rotaatioita käsitellä itsenäisinä eikä tulos riipu laskennan järjestyksestä. JCS:ssä yksi kiinteä akseli kummankin segmentin omasta koordinaatistosta sekä näihin nähden kohtisuorassa oleva liikkuva akseli muodostavat nivelen koordinaatiston. Esimerkiksi polvessa femurin x-akseli on koukistus-ojennus -akseli, tibian z-akseli on sisä-ulko -rotaation akseli ja liikkuva akseli on kohtisuorassa kumpaankin

kiinteään akseliin nähden. Liikkuva akseli toimii loitonus-lähennys -liikkeen akselina (kuva 2). (Grood & Suntay 1983.)



KUVA 2. Esimerkki polven nivelkoordinaattisysteemistä (Wu & Cavanagh 1995).

Samaa nivelkoordinaattisysteemiä käytetään tarkasteltaessa segmenttien lineaarista siirtymää toisiinsa nähden. Molemmista segmenteistä valitaan referenssipisteet, joiden välille muodostetaan vektori. Vektori jaetaan akselien suuntaisiin komponentteihin, joiden muutokset kuvaavat siirtymiä. (Grood & Suntay 1983.)

Groodin ja Suntayn (1983) esitystä rotaatioiden laskentajärjestyksen riippumattomuudesta ei pidetä täysin ongelmattomana. He käyttivät järjestystä, jossa liikkuvan akselin rotaatio laskettiin toisena, mikä vastaa Cardan kulmien laskentaa. Saatuja tuloksia voidaan kuitenkin pitää itsenäisinä, vaikka laskentajärjestys määräytyy menetelmän mukaan. ISB suosittaleekin käyttämään Cardan kulmien laskentaa eli ensimmäisenä tarkastellaan proksimaalisen segmentin kiinteän akselin rotaatiota, toisena tarkastellaan jo kääntyneen liikkuvan akselin rotaatiota ja viimeisenä kahteen kertaan kääntyneen distaalisen segmentin kiinteän akselin rotaatiota. (Wu ym. 2005.)

Nivelkoordinaattisysteemiä varten tulee siis molemmilla segmenteillä olla oma paikallinen koordinaattisysteemi (Grood & Suntay 1983). Segmentistä on tiedettävä vähintään kolme pistettä, jotta sen paikallisen koordinaatiston orientaatio voidaan määrittää (Hamill ym. 2014). Segmentit voidaan muodostaa myös kahden pisteen välille, mutta tällöin orientaatioita ei voida määrittää. Näin myöskään nivelkoordinaattisysteemiä ei voida määrittää ja analyysistä saatavat nivelkulmat ovat resultanttikulmia.

Paikallisten koordinaattisysteemien muodostukseen tarvitaan luiden maamerkkejä, joiden mukaan akselien suuntia määritetään (Grood & Suntay 1983; Wu & Cavanagh 1995). Jotta tarvittavat pisteet löytyvät videolta ja liikeanalyysiohjelma tunnistaa ne, niitä merkitään markkereilla. de Levan (1996) mukaan segmentit tulisi kuitenkin määrittää nivelten keskipisteiden avulla eikä esimerkiksi luurangon maamerkkien mukaan. Käytettäessä muita kuin nivelpisteitä saattaa pisteiden paikka suhteessa niveliin ja segmentin massakeskipisteeseen vaihdella. (de Leva 1996.) Markkereita ei kuitenkaan voi sijoittaa nivelpisteisiin, vaan niiden pitää olla kameroiden taltioitavissa. Hamillin ja Selbien (2004) mukaan markkereiden kiinnittämiseen on neljä tapaa: neulalla luuhun, iholle anatomisen maamerkin kohdalle, kiinteään kappaleeseen kiinnitetty markkereiden ryhmä tai yhdistelmä anatomisesti sijoitettuja markkereita ja ryhmämarkkereita. Luuhun kiinnitettävät markkerit antavat tarkimman tuloksen, koska luu on lähes jäykkä, ja näin sen liikkeet kuvaavat koko segmentin liikkeitä. Luuhun kiinnitettävät markkerit

ovat kuitenkin epäkäytännölliset ja saattavat aiheuttaa kipua sekä rajoittaa haluttua liikettä. Yksittäiset ihoon kiinnitettävät markkerit ovat epätarkkoja, koska niiden paikka voi muuttua suhteessa luuhun. (Hamill & Selbie 2004.)

Ihomarkkereiden paikan muuttumisesta suhteessa luuhun käytetään nimitystä pehmytkudos artefakti (soft tissue artefact, STA). Ihomarkkerit liikkuvat myös suhteessa toisiinsa. Artefakti on seurausta ihon sekä ihonalaisen pehmytkudoksen liukumisesta, painumisesta ja venymisestä liikkeen aikana. Markkeri voi liikkua pahimmillaan useita senttimetrejä suhteessa luuhun (kuva 3). STA:n suuruus riippuu markkerin paikasta: esimerkiksi säären markkereissa virhe ei ole yhtä suuri kuin reidessä. Vastaavasti reiden yläosassa virheet ovat suurempia kuin alaosassa. STA:n vaikutus eri liikesuuntien mittauksiin vaihtelee. Vaikutuksen suuruus suhteessa liikelaajuuteen on pienin koukistus-ojennus -liikkeessä. Myös koehenkilön ominaisuudet ja valittu liike vaikuttavat STA:han. (Hamill & Selbie 2004; Stagni, Fantozzi, Cappello & Leardini 2005.)

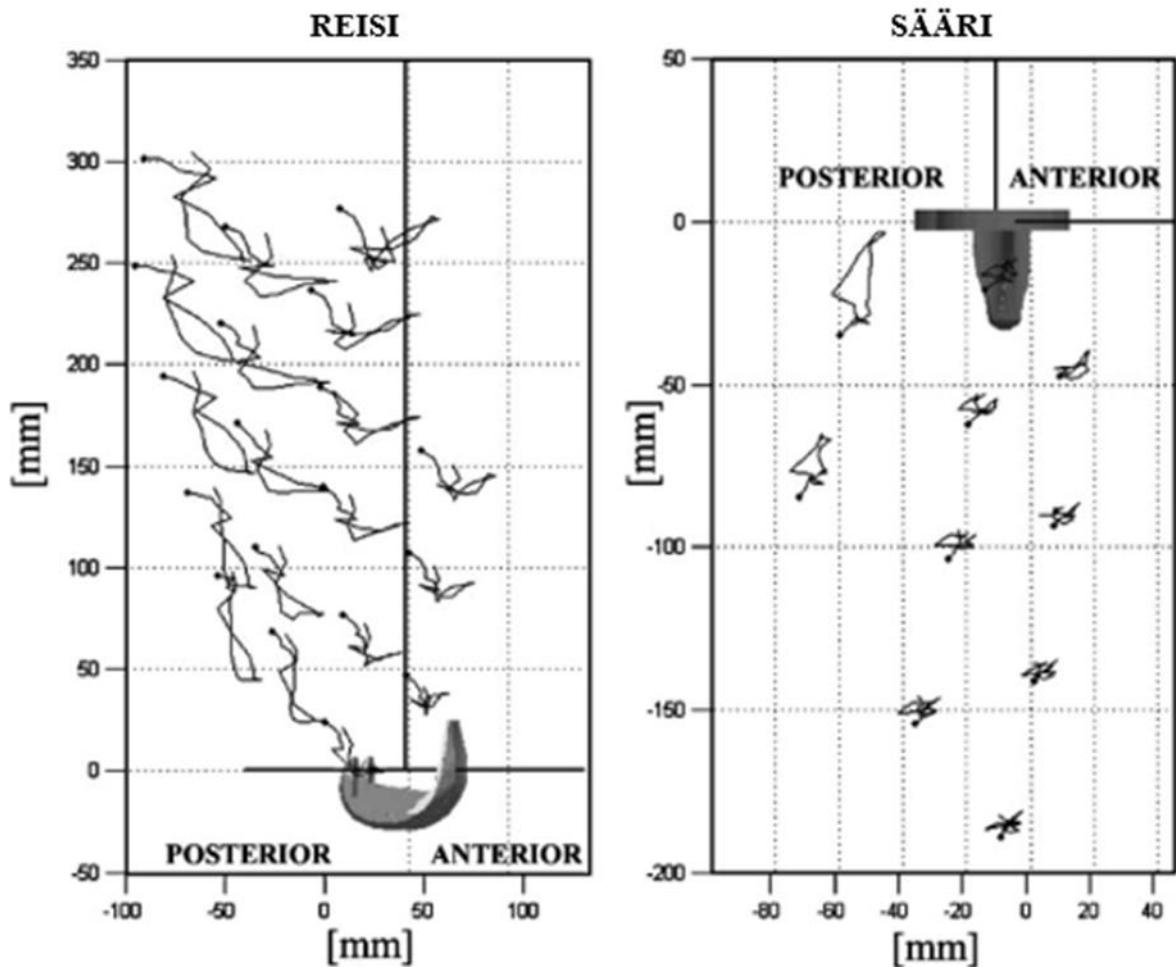
3.4 Kamera-asettelu ja kuvaustilavuus

Kuten luvussa aiemmin todettiin, markkeri saa kaksiulotteisen koordinaatin suhteessa sen paikkaan kameran kuvassa. Koordinaatti voidaan ajatella kolmiulotteisesti säteenä, joka on linjassa kaksiulotteisen koordinaatin kanssa. Markkerin kolmiulotteinen koordinaatti muodostetaan yhdistämällä kaksi tai useampia säteitä. Säteet eivät todellisuudessa yhdisty, vaan kolmiulotteinen koordinaatti valitaan säteiden pienimmän etäisyyden mukaan. Niinpä koordinaatti on sitä tarkempi, mitä useampi kamera on kuvannut markkerin. (Manal & Gardinier 2007.)

Kun kamera ei enää näe markkeria, puhutaan kameran drop-outista. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että kameran näkökulmasta markkeri jää toisen markkerin taakse. Vastaavasti kameran taas havaitessa markkerin, on kyseessä kameran drop-in. Molemmissa tapauksissa markkerin koordinaatin laskenta muuttuu, sillä markkerin kuvanneiden kameroiden määrä muuttuu. Tämä voi aiheuttaa markkerin hyppelähtimistä (kuva 4). Kameroiden drop-outia (ja drop-iniä) tulisikin pyrkiä minimoimaan optimaalisella kamera-asettelulla. (Manal & Gardinier 2007.)

Manal & Gardinier (2007) ovat kehittäneet sädeprojektiometodin, jonka avulla koordinaattidatasta voidaan määrittää paikat, joista kamera parhaiten tai heikoiten havaitsee kyseisen markkerin. Tätä suositellaan kuitenkin käytettäväksi vain tapauksissa, joissa kameroita on kuusi tai

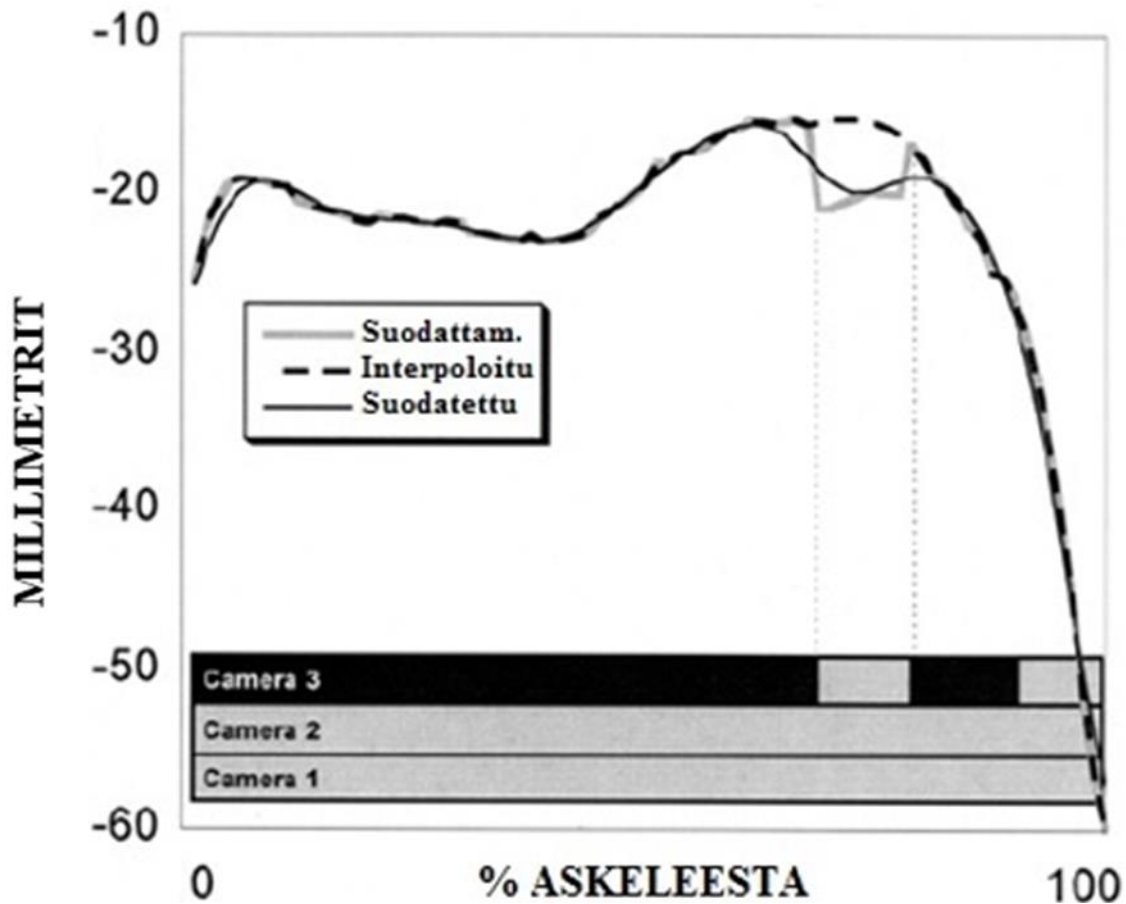
vähemmän ja kamerat voidaan asentaa pysyvästi jotakin tiettyä liikesuoritusta varten. Menetelmä ei ota huomioon esimerkiksi kameroiden sijaintia toisiinsa nähden. (Manal & Gardinier 2007.)



KUVA 3. Reiden ja säären markkereiden paikan muutokset luuhun suhteutetussa anatomisessa kuvassa. Kuvat ovat sagittaalitasosta. Suoritettu liike oli istumasta seisomaannousu (mukailtu Stagni ym. 2005).

Kameroiden tulisi olla 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Tämä on kuitenkin ongelmallista, jos kameroita on enemmän kuin kaksi. Onkin esitetty, että data on riittävän tarkkaa, kun kameroiden välinen kulma ylittää 45 astetta. (Manal & Gardinier 2007.)

KANTAMARKKERIN Y-KOORDINAATTI



KUVA 4. Esimerkki kameran drop-outin vaikutuksesta markkerin koordinaattien laskentaan. Kantamarkkerin kuvaus kolmen kameran järjestelmällä kävelyn aikana. Kameroiden osalta harmaa palkki kuvaa aikaa, jonka markkeri on ollut kuvassa, musta aikaa, jolloin markkeri ei ole ollut kameran havaittavissa. Kuvassa kantamarkkerin y-koordinaatin käyrä suodattamattomasta datasta (harmaa), suodatetusta datasta (musta; kaksisuuntainen Butterworthin alipäästö suodatin 6 Hz) ja interpoloidusta datasta (katkoviiva). (mukailtu Manal & Gardinier 2007.)

3.5 Keräystaajuus

Klassisen keräystaajuuden säännön mukaan keräystaajuuden tulee olla vähintään kaksi kertaa niin suuri kuin alkuperäisen signaalin suurin taajuus. Tätä kutsutaan Nyquistin kriittiseksi taajuudeksi. Tämä onkin vähimmäisvaatimus, jotta kaikki alkuperäisen signaalin taajuuspiirteet saadaan tallennettua dataan. Jos datan keräys ja alkuperäinen signaali eivät ole ajallisesti sa-

massa vaiheessa keskenään, alkuperäisen signaalin piikit eivät välttämättä tallennu dataan. Onkin suositeltavaa käyttää vieläkin suurempia keräystaajuuksia kuin Nyquistin kriittinen taajuus. (Hamill, Caldwell & Derrick 1997; McMaster, Gill, Cronin & McGuigan 2014.)

Jääkiekon laukaisututkimuksissa pelaajan tekniikkaa tarkasteltaessa on käytetty 240 Hz keräystaajuutta (Michaud-Paquette ym. 2009; Michaud-Paquette ym. 2011) ja lapaa tarkasteltaessa 1000 Hz keräystaajuutta (Lomond ym. 2007). Mailatutkimuksissa on käytetty 300 Hz (Hannon ym. 2011), 400 Hz (Kays & Smith 2017), 480 Hz (Pearsall ym. 1999; Worobets ym. 2006; Wu ym. 2003) ja 1000 Hz kuvaustaajuutta (Kays & Smith 2017; Villasenor ym. 2006) Jääkiekkolaukauksen kaltaisissa suorituksissa on käytetty 150 Hz (Ibrahim 2016), 200 Hz (Lazzeri ym. 2016), 240 Hz (Chu ym. 2010) ja 250 Hz (de Subijana 2010; Macaulay ym. 2017) keräystaajuutta.

3.6 Suodatus

Liikeanalyysin kannalta on tärkeää, että markkeridatan derivaatat (esim. nopeus, kiihtyvyys) ovat mahdollisimman tarkkoja. Mittauksissa esiintyy kuitenkin kohinaa, joka saattaa vaikuttaa suurestikin dataan ja erityisesti derivaattoihin. Datasta voidaan suodattaa tietyn taajuiset signaalit pois, jolloin kohinan vaikutusta saadaan häivytettyä. Ongelmana on, että kinemaattisten signaalien taajuus vaihtelee suuresti ihmisen liikkumisen aikana. (Chiari ym. 2005.)

Korkean intensiteetin liikkeissä (esim. juoksu) tulee maakontaktin yhteydessä suuria datapiikkejä reaktiovoimiin ja segmenttien kiihtyvyyksiin. Jos voimadata suodatetaan korkealla poisulkuutaajuudella ja kinemaattinen data matalalla taajuudella, piikit näkyvät vain ulkoisissa voimissa, mutta eivät segmenttien kiihtyvyyksissä. (Kristianslund, Krosshaug & van den Bogert 2012.)

On havaittu, että suodatintaajuuden valinnalla on suuri vaikutus liikeanalyysin tuloksiin. Käytettäessä käänteistä dynamiikkaa, vaikutukset kasvavat. Alaraajojen nivelmomentteja tutkittaessa suodatintaajuudella on suurin vaikutus lonkkaniveleen, sillä siihen vaikuttavat jalan, säären ja reiden kiihtyvyydet. Suodatintaajuuden aiheuttamat erot nivelmomentteihin vaikuttavat esimerkiksi loukkaantumisriskin arviointiin. Tutkijoiden onkin oltava huolellisia valitessaan

suodatustaajuutta ja verratessaan eri suodatustaajuudella käsiteltyjä tutkimustuloksia keskenään. (Kristianslund ym. 2012.)

Kristianslund ym. (2012) esittävät, että voima- ja liikedata tulisi käsitellä samalla suodatintaajuudella. Markkeridata on suodatettava melko matalataajuuisella alipäästösudattimella, mikä häiriöiden lisäksi poistaa myös datassa esiintyvät todelliset piikit. Tämä tekee nopeiden urheilulajien analysoinnin ongelmalliseksi ja vähentää käänteisen dynamiikan luotettavuutta. (Kristianslund ym. 2012.)

Matalan suodatustaajuuden (6 Hz) käyttö saattaa pahimmillaan heikentää datan laatua verrattuna raakadataan. Optimaalinen suodatustaajuus vaihtelee esimerkiksi koehenkilön, markkerin paikan ja liikenopeuden mukaan. (Schreven, Beek & Smeets 2015.) Suodatustaajuuden valinta onkin hankalaa, ja Schreven ym. (2015) ovat kehittäneet tavan laskea optimaalinen suodatustaajuus suoraan datan perusteella. Tämä perustuu suodatetun ja alkuperäisen datan väliseen erotukseen ja markkereiden välisten etäisyyksien keskihajontaan. He suosittelevat laskennan käyttöä vähintään koko datalle, mutta ehdottavat jopa yksilöllisen suodatustaajuuden laskemista jokaiselle markkerille. (Schreven ym. 2015.)

3.7 Järjestelmien tarkkuus

Kameroilla tehtävät liikeanalyysit voivat olla optoreflektiivisiä liikkeenkaappauksia (infrapuna järjestelmät) tai videopohjaisia liikeanalyysijä. Optoreflektiivisissä systeemeissä käytetään itsekalibroivia menetelmiä ja näihin soveltuvaa laskentaa, kun taas videopohjaiset järjestelmät kalibroidaan kalibrointiobjektilla, jonka paikka kuvaustilavuudessa tunnetaan. Videopohjaisissa järjestelmissä käytetään DLT-laskentaa. Optoreflektiivisissä järjestelmissä markkereiden tunnistus ja rekonstruointi perustuvat täysin automatiikkaan, kun videoiden digitoinnissa vaaditaan markkereiden manuaalista tunnistusta.

Optoreflektiivisiä järjestelmiä pidetään videopohjaisia tarkempina. Jos videopohjaisessa analyysissä digitoidaan vain nivelpisteet, aiheuttaa nivelkulmien laskenta vektorikulmina suurimmat virheet. Myös projektiovektorien käyttö kulmalaskennassa on epätarkkaa, jos segmenteissä on rotaatiota tai loitonnusta/lähennystä. Ilman markkereita suoritettu digitointi on erityisen epätarkkaa. (Elliott, Alderson & Denver 2007.) Koska suurempi kameroiden määrä lisää tarkkuutta

(Aurand, Dufour & Marras 2017; Eichelberger ym. 2016; Manal & Gardinier 2007), saavat optoreflektiiviset järjestelmät yleensä etua kameramäärästä.

Eichelbergerin ym. (2016) mukaan tarkkuuteen vaikuttaa kameroiden määrän lisäksi markkereiden korkeus. Heidän asetelmallaan paras tarkkuus saavutettiin jalan markkereissa verrattuna polveen ja lonkkaan. Myös staattisen ja dynaamisen mittauksen välillä on eroja, joten asetelman tarkkuutta tulisi arvioida varsinaisen mittauksen kaltaisissa olosuhteissa. Heidän mukaansa liikkeen suunnalla kuvaustilavuudessa saattaa myös olla vaikutusta tarkkuuteen. (Eichelberger ym. 2016.)

Myös kameroiden asettelu vaikuttaa tarkkuuteen. Aina ei ole mahdollista toteuttaa täydellistä asettelua, mutta asettelussa tulisi pyrkiä kameroiden hajauttamiseen sekä horisontaali- että vertikaalisuunnassa. Robotilla toteutettu kalibrointi parantaa mittaustarkkuutta verrattuna manuaaliseen. Tämä saattaa johtua kuvaustilavuuden paremmasta täytöstä. Jos kalibrointi toteutetaan vain osassa kuvaustilavuutta, tarkkuus kärsii huomattavasti. Suurempien markkereiden käyttö näyttäisi lisäävän tarkkuutta. Syynä tähän saattaa olla suurempi pikselimäärä markkeria kohti. Vaarana kuitenkin on, että markkerin keskipisteen määrittäminen epäonnistuu, jos pikseleitä on runsaasti. Markkerin koon valinta ei siis ole täysin yksiselitteinen. (Windolf, Götzen & Morlock 2008.) Lisäksi on huomioitava, että kyseiset tulokset on saatu staattisessa tilanteessa, joten niitä ei voi suoraan yleistää dynaamiseen tilanteeseen (Eichelberger ym. 2016).

Datan tarkkuus heikkenee kuvaustilavuuden reunoilla. Suurin selittävä tekijä tälle lienee markkerin havaitsevien kameroiden määrän lasku ja näiden kameroiden väliset pienet kulmat. Suurempien kuvaustilavuudessa voidaan mitata tarkasti, kunhan kameroiden määrä on riittävä. (Aurand ym. 2017.) Vaikka eri tutkimuksien absoluuttisia arvoja ei voi suoraan verrata, toteavat Aurand ym. (2017), että liikekaappausjärjestelmistä aiheutuvat virheet ovat pieniä verrattuna muihin liikeanalyysissä esiintyviin virheisiin, kuten markkereiden asetteluun tai STA:han.

4 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Sopivalla mailan valinnalla voi olla positiivinen vaikutus kiekon nopeuteen jääkiekon laukauksessa. Pelaajan vaikutus kiekon nopeuteen on kuitenkin mailaa suurempi. (Gilenstam ym. 2009; Hannon ym. 2011; Worobets ym. 2006; Wu ym. 2003.) Kiekon nopeuteen vaikuttavia laukojan biomekaanisia tekijöitä ei kuitenkaan ole tutkittu. Kiekon nopeuteen vaikuttavia pelaajan voimaominaisuuksia on tutkittu vain suppeasti, mutta kirjallisuuden perusteella voidaan todeta, että paremmat voimaominaisuudet ovat jossakin määrin yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen (Bezak & Pridal 2017). Tällä tutkimuksella pyrittiinkin vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Mitkä ovat tärkeimmät kiekon nopeuteen vaikuttavat biomekaaniset tekijät jääkiekon ranne- ja lyöntilaukauksessa?
2. Mitkä ovat tärkeimmät kiekon nopeuteen vaikuttavat pelaajan voimaominaisuudet jääkiekon ranne- ja lyöntilaukauksessa?

Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin mahdollisia eroavaisuuksia Hockey Base Oy:n valmennettavien ja muiden tutkittavien välillä, mutta tämä ei ollut tutkimuksen varsinainen tarkoitus.

5 MENETELMÄT

Tutkimuksessa tehtiin koko kehon liikeanalyysi jääkiekon ranne- ja lyöntilaukauksesta Viconin liikkeenkaappausjärjestelmällä. Lisäksi erillisellä liikeanalyysillä selvitettiin kiekkoon ja mailaan liittyviä muuttujia. Tutkittaville tehtiin myös voimatestit, joiden avulla pyrittiin selvittämään laukauksen kannalta tärkeitä voimaominaisuuksia.

5.1 Tutkittavat

Tutkimukseen rekrytoitiin jääkiekkoilijoita, joilla oli taustaa Hockey Base Oy:n laukaisuvalmennuksesta. Lisäksi rekrytoitiin pelaajia, jotka tasoltaan vastasivat Hockey Basesta saatuja pelaajia, mutta eivät olleet käyneet heidän laukaisuvalmennuksessaan. Yhteensä 18 tutkittavaa osallistui mittauksiin. Yhden pelaajan dataa ei voitu kuitenkaan käyttää teknisten ongelmien vuoksi. Data on siis saatu 17 pelaajalta (ikä $26,58 \pm 4,56$ vuotta; pituus $1,832 \pm 0,066$ m; paino $87,5 \pm 7,9$ kg). Näistä 8 oli Hockey Base -pelaajia ja 9 muita (taulukko 1).

Osassa YA- ja lyöntilaukauksista oli ongelmia joidenkin markkereiden näkyvyyden kanssa, minkä vuoksi osa tutkittavista jätettiin pois näistä laukauksista. YA-laukauksissa $n = 14$ ja lyöntilaukauksissa $n = 15$. Voimatesteissa penkki-punnerrustestit pystyi suorittamaan 14 tutkittavaa, leuanvedon teho saatiin 15 tutkittavalta ja maksimikyykyn suoritti 15 tutkittavaa. Tutkimuksessa oli mukana ammattilaisia, puoliammattilaisia, alasarjojen pelaajia sekä harrastepelaajia. Kun pelaajien taso pisteytettiin välillä 0–5, taso oli keskimäärin $3,29 \pm 1,80$.

5.2 Protokolla

Mittaukset koostuivat seuraavista vaiheista: tutkittavien vastaanotto, alkumittaukset, markkereiden asettelu, lämmittely, laukaukset, välipala ja voimatestit. Vastaanoton yhteydessä tutkittaville annettiin vielä suullisesti tietoa tutkimuksesta, kerättiin esitiedot sekä otettiin kirjallinen suostumus osallistumisesta. Alkumittauksissa mitattiin pituus ja paino sekä liikeanalyysijärjestelmän tarvitsemat kehon mitat. Kaikki iholle tulevat markerit aseteltiin paikoilleen ennen lämmittelyä, joka suoritettiin omatoimisesti kuntosalin puolella. Lisäksi lämmittelyyn sisältyi lämmittelylaukauksia.

TAULUKKO 1. Tutkittavien tiedot. Taso pisteetty 0–5, jossa 0 on harrastepelaaja ja 5 ammattilainen. HB = Hockey Base -pelaaja.

Tutkittava	Ikä	Pituus (cm)	Paino (kg)	Kätisyys	Taso	Ryhmä
1	24,31	180,5	75,9	vasen	1	muut
2	17,07	181,5	96,6	vasen	2	HB
3	25,28	183,5	87,5	vasen	2	HB
4	28,21	192	93,9	oikea	4	HB
5	30,20	170	73,5	vasen	3	muut
6	28,28	178	75,3	vasen	5	HB
7	24,48	182	93,3	vasen	1	muut
8	30,21	187,5	93,9	oikea	5	muut
9	34,59	186,5	89,5	vasen	5	HB
10	34,79	181	89,6	vasen	5	HB
11	27,10	180	80,8	vasen	4	muut
12	25,02	182,5	82,9	vasen	0	muut
13	23,49	186	83,3	vasen	3	muut
14	21,77	184,5	86	vasen	5	muut
15	21,51	188,5	90,2	vasen	5	muut
16	29,19	172,5	95,6	vasen	1	HB
17	26,30	197,5	99,7	oikea	5	HB

Jokainen suoritti ensimmäisenä tarkkuuslaukaukset, jonka jälkeen maksimilaukaukset suoritettiin satunnaistetussa järjestyksessä. Laukausten jälkeen oli lyhyt tauko ennen voimamittauksia. Tauon aikana tutkittaville tarjottiin pieni välipala. Voimatestit suoritettiin satunnaistetussa järjestyksessä. Mittauksiin kului tutkittavalta noin 3,5 tuntia.

5.3 Tutkimusasetelma

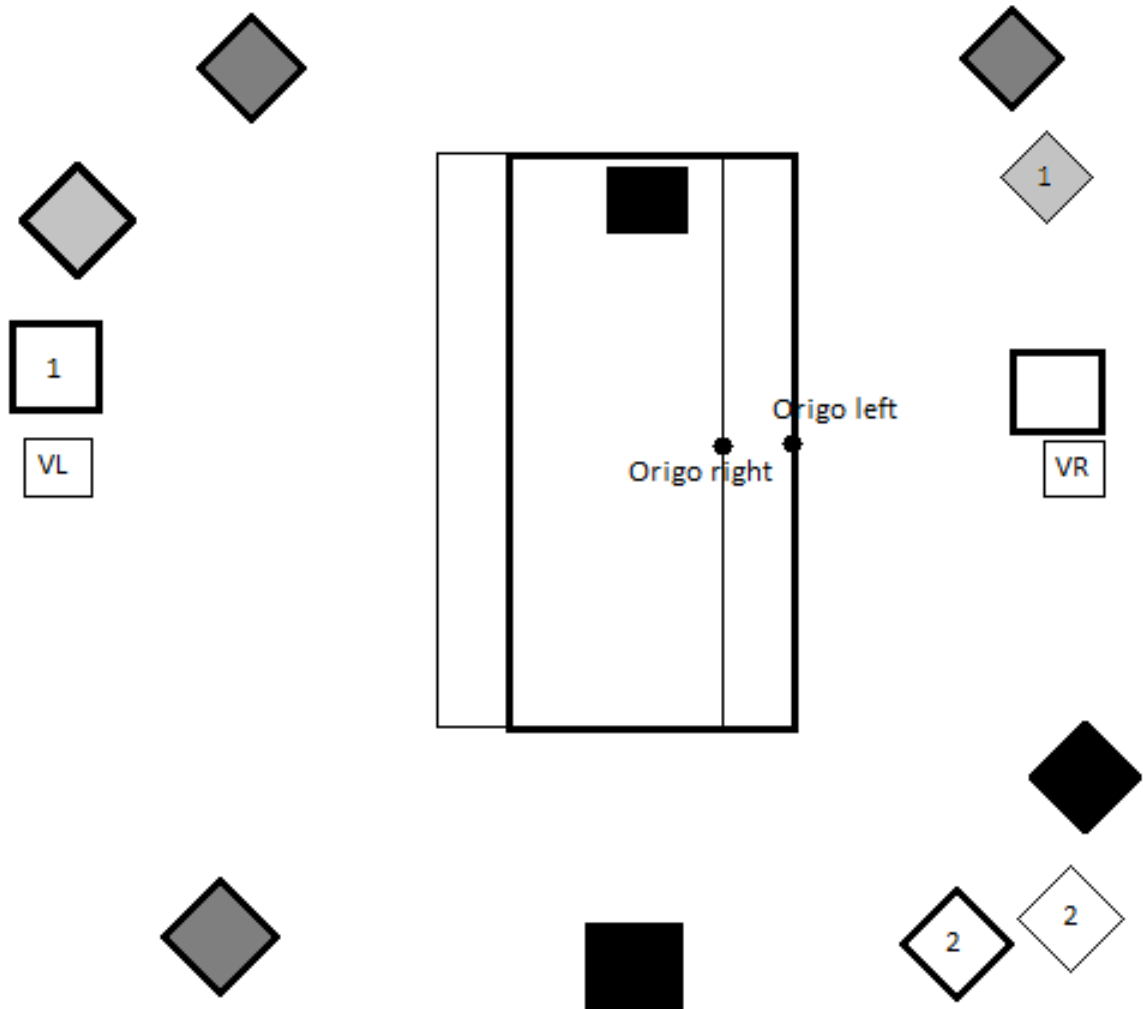
Mittaukset toteutettiin Jyväskylän yliopiston biomekaniikan laboratoriossa. Laukaisualustana käytettiin Hockey Base Oy:n toimittamaa keinojäää (2,40x4,80m). Jäälle suihkutettiin silikonista liukastusainetta ennen jokaista mittausta ja jää putsattiin siivouslastalla jokaisen mittauksen jälkeen. Laukaukset suoritettiin 10 metrin etäisyydeltä maalista. Tämä on lähes hyökkäysalueen aloitusympyrän kaaren ylätasolta (SJL & IIHF 2014). Maalia ja keinojäää siirrettiin kätisyyden mukaan niin, että laukaisulinja oli keskellä maalia. Laukaisulinja oli merkitty teipillä jään takareunaan ja puoliväliin molemmille kätisyyksille erikseen. Maalissa roikkui molemmissa yläkulmissa tarkkuuskohteet, joissa oli kaksi sisäkkäistä ympyrää ($d = 15 \text{ cm}$, $d = 30 \text{ cm}$) (kuva 5). Kohteet olivat 5–10 cm etäisyydellä tolpastä. Näistä tutkittavan lavan puoleinen kohde jätettiin näkyviin tarkkuuslaukauksia varten ja toinen käännettiin pois näkyvistä. Muissa laukauksissa molemmat tarkkuuskohteet olivat poissa näkyvistä.



KUVA 5. Kuva laukaisupaikasta. Kuvassa näkyvät keinojään etummainen puolikas, laukaisulinjaa kuvaavat etummaisets teipit sekä maalin tarkkuuskohteet.

Liikkeenkaappausjärjestelmässä käytettiin kymmentä kameraa (T040 ja T-40S, Vicon, Oxford, Iso-Britannia) kuvaustaajuudella 250 Hz. Kameran oli kytketty yhteen MX Giganettiin (Vicon, Oxford, Iso-Britannia) ja data kerättiin Nexus 2 ohjelmalla (versiot 2.7.0 ja 2.7.1, Vicon, Oxford, Iso-Britannia). Lisäksi järjestelmään oli synkronointia varten liitetty triggeri, joka syytti

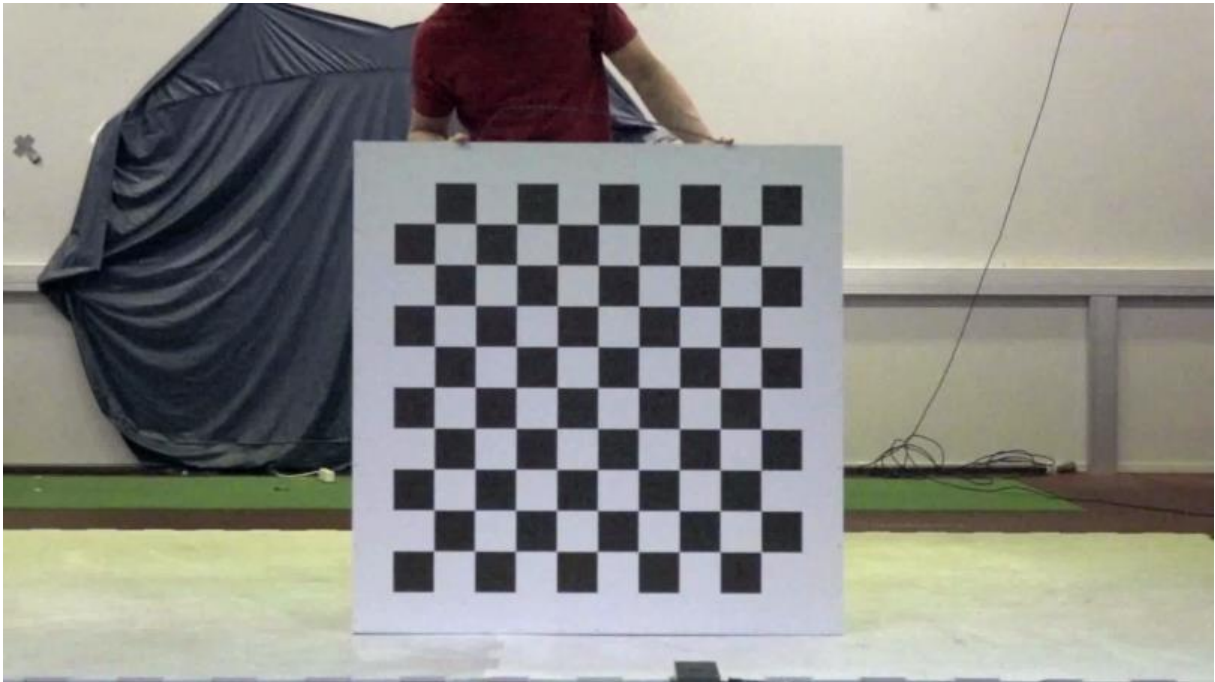
videokamerassa näkyvän ledin ja samanaikaisesti antoi sähköisen impulssin Nexuksen dataan. Kameran oli sijoiteltu eri korkeuksille 0,5–3,5 metrin korkeudelle (kuva 6). Järjestelmä kalibroitiin Viconin viiden markkerin L-kalibrointisauvalla, vähintään 2000 kuvaa per kamera.



KUVA 6. Kamera-asettelu. Paikat suuntaa-antavia. Samalla numerolla numeroidut kamerat ovat sama kamera, mutta paksureunainen on kameran paikka vasemmalta laukovien asettelussa ja ohutreunainen oikealta laukovien asettelussa. Pienet kamerat ovat videokamera, VL on videokamera vasemmalta laukovien asetelmassa, VR on videokamera oikealta laukovien asetelmassa. Valkoiset kamerat ovat noin 0,5 metrin, vaalean harmaat noin metrin, tumman harmaat noin 2 metrin ja mustat 3–3,5 metrin korkeudessa. Origot on nimetty: left =vasemmalta laukovien asetelma, right = oikealta laukovien asetelma.

Liikeanalyysiin käytetty videokamera (RX-10II, Sony, Tokio, Japani, 250 fps, suljinaika 1/1250s, ISO auto) oli sijoitettu suoraan sivulle. Tilanpuutteen vuoksi kameran etäisyys laukaisulinjasta oli vasemmalta laukovien asetelmassa 4,2 m ja oikealta laukovien asetelmassa 3,15

m. Kamera kalibroitiin ruudukolla, jonka ruudut olivat 10x10 cm (kuva 7). Kuva-alueen todellinen leveys kalibrointilinjalta oli kolme metriä.



KUVA 7. Videokameran kalibrointikuva.

Lisäksi mittauksissa käytettiin videokameraa (RX-10III, Sony, Tokio, Japani, 100 fps, suljinaika 1/800s, ISO auto) kuvaamaan tarkkuuskohdetta tarkkuuslaukausten aikana. Tämä kamera oli sijoitettu laukaisulinjan taakse eikä sitä kalibroitu. Kuva tarkennettiin niin, että siinä näkyi noin puolet maalista tarkkuuskohteen ollessa keskellä. Tutkimuksessa käytettiin myös silmänliikekameraa (Tobii Pro Glasses 2, Tobii, Tukholma, Ruotsi) tarkkuuslaukausten aikana. Tutkittavan näkymää kuvaava kamera kuvasi 25 Hz taajuudella ja silmiä kuvaavat kamerat 50 Hz. Kamera kalibroitiin tutkittavan silmille kalibrointikuvan avulla, jota tutkittavat katsoi kalibroinnin ajan. Mittausten loppuvaiheessa järjestelmä ei enää tunnistanut silmiä oikein, joten silmänliikekameran data on saatu vain kymmeneltä tutkittavalta.

5.4 Mittaukset

Tutkittaville lähetettiin etukäteen luettavaksi suostumuslomake, jossa kerrottiin tutkimuksen tarkoituksesta, menetelmistä, vapaaehtoisuudesta ja tutkittavan oikeuksista. Tämä suostumuslomake allekirjoitettiin mittaustilanteen aluksi. Samalla täytettiin esitietolomake ja käytiin vielä sanallisesti läpi mittausten kulku ja suostumuslomakkeen asiat.

Tutkittavilta mitattiin pituus ja paino ennen muita mittauksia. Tämän jälkeen otettiin Nexuksen vaatimat mitat tutkittavasta ja aseteltiin heijastavat markkerit (halkaisija 14 mm) muutamaa poikkeusta (varvas, kantapää, nilkka, sormi) lukuun ottamatta. Markkeriasettelussa käytettiin Viconin plug-in gait -mallia, joka sisältää 39 markkeria. Markkerit kiinnitettiin ihoon kaksipuoleisella teipillä ja osa markkereista teipattiin lisäksi ihoteipillä. Tarvittaessa teippiä lisättiin mittausten aikana. Markkereiden asettelun ohella sovitettiin tutkittavien luistinten ja hanskojen koko.

Tutkittavat suorittivat kymmenen minuutin omatoimisen lämmittelyn kuntosalin puolella. Lämmittelyn suositeltiin koostuvan osittain aerobisesta aktiivisuudesta kuten kuntopyörän polkemisestä. Lämmittelyn aikana aseteltiin markkerit luistimiin (Vapor 1X, Bauer Hockey, St-Jerome, Kanada) ja hanskoihin (Supreme 1S, Bauer Hockey, St-Jerome, Kanada) (kuva 8). Hanskoja oli ranteista lyhennetty, jotta ranteiden markkerit näkyivät paremmin liikeanalyysissä. Hanskojen kämmenet ja kämmenselät olivat ehjät. Lämmittelyn päätyttyä puettiin luistimet ja hanskat. Lisäksi tässä vaiheessa tutkittaville aseteltiin silmänliikekamera tarkkuuslaukauksia varten, mutta kameran dataa ei tässä tutkimuksessa käytetty.

Mailan (Nexus 2N Pro, lapa P92, Bauer Hockey, St-Jerome, Kanada) jäykkyys määräytyi tutkittavan painon mukaan. Alle 87 kg painavat käyttivät 77 flexin mailaa ja yli 87 kg painavat käyttivät 87 flexin mailaa. Varusteet puettuaan pelaaja sai valita kahdesta eri mailan pituudesta mieleisensä. 87 flexin mailoissa oli täyspitkä (seinää vasten mitattuna korkeus lattiasta 165,5 cm) ja 5 cm lyhennetty maila. 77 flexisissä pituudet olivat -3 ja -8 cm täyspitkästä. Maila oli teipattu mustalla mailateipillä alakäden otekohtaa lukuun ottamatta heijastusten välttämiseksi. Lisäksi lapa ja mailan pää oli teipattu neutraaleilla teippauksilla, jotta nämä sopivat mahdollisimman monen tutkittavan mieltymyksiin. Mailaan laitettiin 8 valkoista teippiä (2,6 x 1,2 cm) markkereiksi mailan taipuman mittaamista varten. Alin markkeri asetettiin kohtaan, jossa lavan

kulma on lähes hävinnyt. Tämä kohta oli 31,5 cm lattiasta varren ollessa pystysuorassa. Loput markkerit asetettiin tästä eteenpäin 15 cm etäisyyksin.



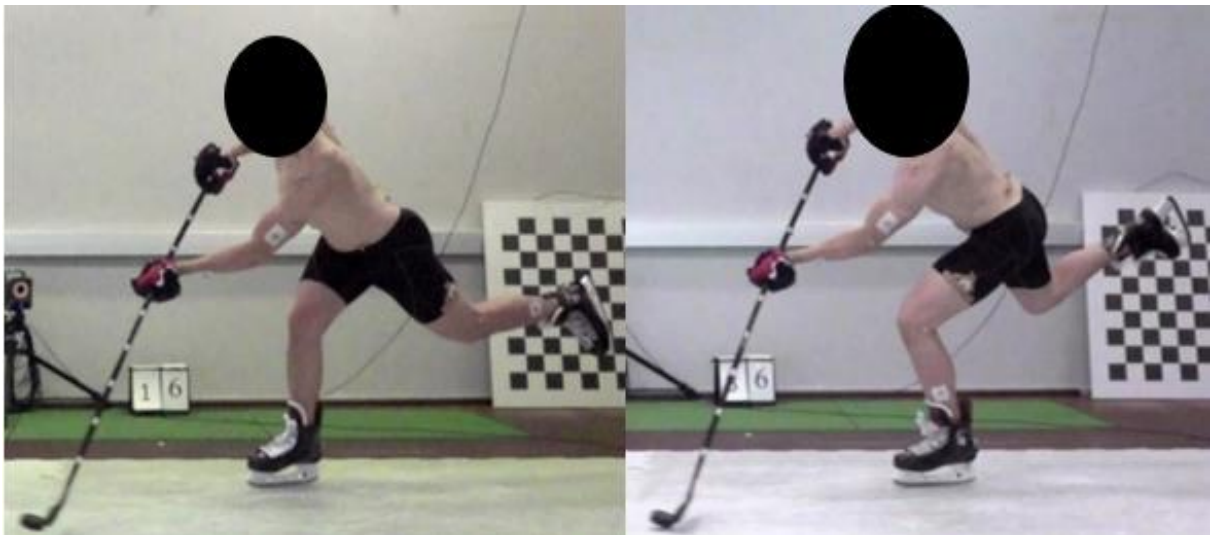
KUVA 8. Luistimien, hanskojen ja mailan markkerit.

Mailan valinnan jälkeen tehtiin tutkittavien staattinen kalibrointi Nexuksella. Tämän jälkeen tutkittavat saivat laukoa haluamansa määrän lämmittelylaukauksia tutkimuksen laukaisutekniikoilla – kuitenkin maksimissaan kolmekymmentä laukausta. Samalla Nexus valmisteltiin mitausta varten.

Jokaisessa laukaisutyypissä suoritettiin ensin viisi totuttelulaukausta ja tämän jälkeen 10 mitattua laukausta. Yhteensä laukauksia mittauksissa tuli siis 60, joista 40 mitattiin. Laukaukset suoritettiin paikaltaan painonsiirrolla tai yhdellä potkulla. Ohjeistus pidettiin todella väljänä, jotta se ei ohjaisi tyylin valintaa tekniikan sisällä. Jos joku mahtui ottamaan ylimääräisen askeleen ennen varsinaista painonsiirtopotkua, tätä ei mittaustilanteessa rajoitettu. Lähtökohtana oli kuitenkin, että suoritettaisiin pelkkä painon siirto tai painon siirtävä potku.

Kaikki tutkittavat aloittivat tarkkuuslaukauksista. Nämä suoritettiin omalla pelinomaisella rannelaukauksella. Tehtävänä oli osua mahdollisimman tarkasti tarkkuuskohteisiin. Pelinomaisuus

sisältää oletuksen, että pelaajat laukovat täydellä tai lähes täydellä voimalla. Jokaisen laukaisu-tyypin jälkeen tehtiin varmistuskalibrointi videokameraan ja kerättiin kiekkoja, joten laukaisu-tyyppien välissä oli kahden minuutin lepotauko. Tarkkuuslaukauksien jälkeen loput laukaukset suoritettiin systemaattisesti satunnaistetussa järjestyksessä ja nämä kaikki suoritettiin tavoitel- len kiekon maksimaalista nopeutta. Laukaukset pyrittiin suorittamaan maalin keskelle nopeu- den virheen välttämiseksi, mutta laukausten ei vaadittu osuvan tarkasti keskelle, jotta pelaajat eivät tähtäisi. Vain maaliin osuneet laukaukset hyväksyttiin analyysiä varten, mutta ohi lauot- tuja laukauksia ei korvattu uusilla. Maksimilaukauksissa laukaukset suoritettiin rannelaukauk- sella, jossa paino siirtyy alakäden puoleiselta jalalta yläkäden puoleiselle jalalle (AY), ranne- laukauksella, jossa paino siirtyy yläkäden puoleiselta jalalta alakäden puoleiselle (YA) sekä lyöntilaukauksella (L) (kuva 9).



KUVA 9. AY- ja YA-laukauksen asento kiekon irrotessa mailasta. AY vasemmalla.

Laukausten jälkeen tutkittaville annettiin välipalaksi keskikokoinen banaani, sillä mittaukset olivat pitkät ja laukausten jälkeen suoritettiin voimatestit. Voimatestit suoritettiin systemaatti- sesti satunnaistetussa järjestyksessä. Liikkeet jaettiin neljään ryhmään, joiden järjestys satun- naistettiin, mutta ryhmän sisällä järjestys pysyi samana kaikilla. Sekä maksimi- että nopeusvoi- matestin sisältävissä ryhmissä maksimivoima suoritettiin ensin. Ryhmät olivat: 1. penkkipun- nerruksen 1 RM, penkkipun- nerruksen teho 30 % 1 RM, penkkipun- nerruksen teho 50 % 1 RM, 2. lisäpainoleuanvedon 1 RM, leuanvedon teho kehonpainolla, 3. takakyykky 1 RM, kevennys- hyppy, 4. käden puristusvoima oikea käsi, käden puristusvoima vasen käsi, vartalon isometri-

nen koukistus, vartalon isometrinen ojennus. Penkkipunnerruksessa oteleveys oli vapaavalintainen. Penkkipunnerruksen ja leuanvedon tehon mittaamiseen käytettiin MuscleLab -tehomittaria (Ergotest Innovation A.S., Porsgrunn, Norja). Leuanveto suoritettiin vastaotteella ja voimakasta jalkojen käyttöä ja heiluntaa tuli välttää. Kyykyn ala-asennossa polvikulma oli 90 astetta eli kyseessä oli puolikyökky. Tutkittavat laskeutuivat rauhallisesti alas, kunnes tutkija antoi äänimerkin ”HEP!”, jolloin sai lähteä nousemaan ylös. Kevennyshypyn syvyys oli vapaavalintainen ja kädet pidettiin lanteilla. Hypyt suoritettiin kontaktimatolla (Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratorio, Jyväskylä, Suomi). Puristusvoimamittauksessa voimakahva (Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratorio, Jyväskylä, Suomi) säädettiin käden koon mukaan ja testiä suoritettaessa kyynärpään kulma oli 90 astetta. Vartalon koukistus ja ojennus mitattiin tähän tarkoitukseen rakennetulla laitteella (Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratorio, Jyväskylä, Suomi). Vartalon koukistukseen alemman tuen yläreuna asetettiin samalle korkeudelle kuin suoliluun etukärki (anterior superior iliac spine) ja ylemmän tuen alareuna samalle korkeudelle kuin rintalastan alareuna. Samoja asetuksia käytettiin ojennuksessa.

Ennen voimatestien alkua tai ennen yksittäistä liikettä tutkittavilla oli halutessaan mahdollisuus lämmitellä, mutta monet kokivat laukausten jälkeen olevansa valmiita testeihin. Vapailloilla tehdyissä maksimivoimatesteissä käytettiin viiden ja kolmen toiston lähestymissarjoja. Näissä liikkeissä oli 3–5 yritystä saavuttaa maksimi tulos. Muissa liikkeissä yrityksiä oli kolme eikä erillisiä lämmittelysarjoja ollut. Kaikkien suoritusten ja liikkeiden välillä oli kahden minuutin palautus (pois lukien käsien puristusvoima, jossa eri kädet suoritettiin peräkkäin, jonka jälkeen vasta pidettiin tauko).

5.5 Datan käsittely

Kerätty 3D-liikeanalyysidata käsiteltiin Nexuksella. Datan paikkaamiseen käytettiin automaattista paikkausta, jossa lyhyet aukot paikattiin Nexuksen spline fillillä (0,05 s), pää, rintakehä ja lantio paikattiin rigid body fillillä 0,25 sekuntiin asti ja jäljelle jääneet aukot paikattiin pattern fillillä 0,1 sekuntiin asti. Jos datassa oli vielä tämän jälkeen aukkoja, ne paikattiin tilannekohtaisesti aukon paikasta ja koosta sekä puuttuvasta markkerista riippuen. Maksimaaliset paikkaukset ovat olleet 30 kuvaa pattern fillillä ja 100 kuvaa rigid body fillillä. Näin pitkiä paikkauksia ei ole tehty, jos kyseessä on ollut laukaisuhetken kannalta olennainen markkeri (esimerkiksi sormen markkeri lavan jääkontaktin aikana lyöntilaukauksessa). Myös näitä pidempiä

aukkoja on saatettu paikata, jos näistä aukoista vain 30/100 kuvaa on ollut varsinaisen suorituksen aikana.

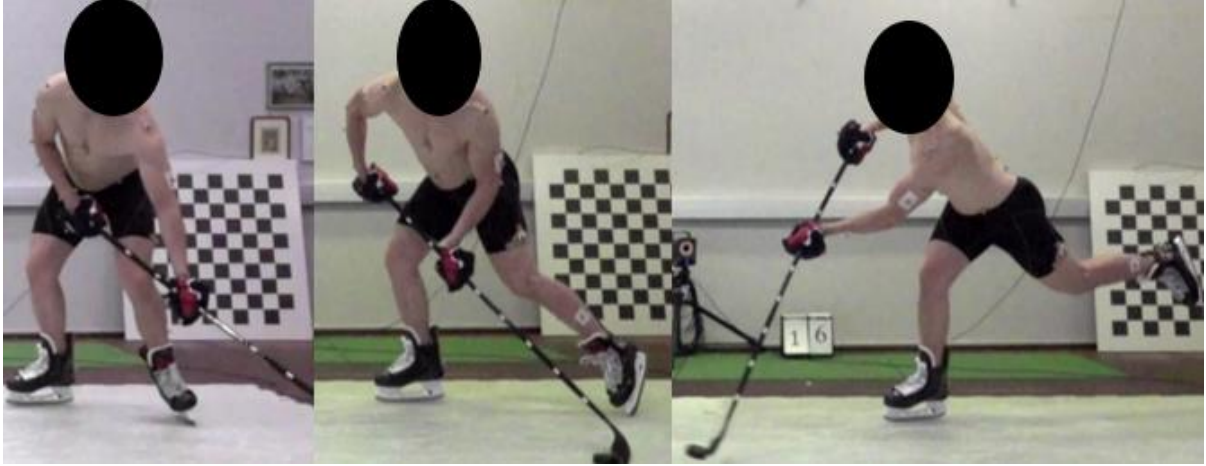
Nexuksen markkeridata suodatettiin Butterworthin fourth-order zero-lag –alipäästösuodattimella 15 Hz taajuudella. Kinemaattinen data saatiin Nexuksen plug-in gait –mallin laskennan avulla. Tässä kulmat on laskettu Cardan kulmina.

2D-liikeanalyysiin käytetyt videot vietiin Kinoveaan (Kinovea 0.8.15), jolla ne leikattiin ja niiden tiedostomuoto muutettiin. Tämän jälkeen ne vietiin Motukseen (Vicon Motus 10.0.1, Vicon, Oxford, Iso-Britannia; Contemphas GmbH, Kempten, Saksa), jolla liikeanalyysi toteutettiin. Kiekko, lapa ja tukijalka digitoitiin manuaalisesti, mailan markkerien kohdalla käytettiin autodigitointia aina, kun tämä oli mahdollista ja muilta osin manuaalista digitointia. Myös Motuksessa raakadata suodatettiin Butterworthin fourth-order zero-lag –alipäästösuodattimella 15 Hz taajuudella.

5.6 Muuttujat

Muuttujia tarkasteltiin kolmella eri hetkellä, alkuasento (PA = potkun alku), voimantuoton alku (KEA/TA/LJA = kiekon esi-irrotuksen alku / taipuman alku / lavan jääkontaktin alku) ja kiekon irtoaminen (LKL = lavan kiekkokontaktin loppu) (kuva 10). Alkuasento määritettiin kinemaattisesta datasta. Alkuasennoksi määritettiin hetki, kun potkaisevan jalan lonkka alkoi ojentua (PA). Tämä tarkistettiin vielä datan havainnollistavalta videolta, ja epäselvissä tapauksissa käytettiin tukena potkaisevan polven ojennuksen alkamista. Voimantuoton alku määritettiin 2D-liikeanalyysistä, ja se oli hetki, jolloin mailaan alettiin tuottaa voimaa. Rannelaukauksissa tämä näkyi videokuvassa kiekon irtoamisena lavasta laukauksen keskellä (tätä irtoamista kutsutaan tässä tutkimuksessa esi-irrotukseksi) tai mailan taipumisen alkamisena. Mailan taipuman alkua tarkasteltiin kulmadatasta. Taipuma määritettiin mailan kahden alimman markkerin välisen segmentin ja kahden ylimmän markkerin välisen segmentin väliseksi kulmaksi. Lisäksi tätä tarkasteltiin myös videolta. Kun voiman tuotto mailaan alkaa, lähtee lapa kääntymään kärjestä taakse päin, vaikka kiekko ei lavasta irtoaisikaan. Lyöntilaukauksissa voimantuoton alkamishetkeksi katsottiin hetki, kun lapa osuu jäähän. Voimantuoton alku siis määritettiin kiekon esi-

irroituksen alusta (KEA), taipuman alusta (TA) tai lavan jääkontaktin alusta (LJA). Kiekon lo-pullinen irtoamishetki lavasta määritettiin videolta eli se oli lavan kiekkokontaktin loppu (LKL).



KUVA 10. Laukauksen vaiheet AY-laukauksessa. Vasemmalta oikealle PA, KEA/TA ja LKL. Kuva havainnollistaa yhden tutkittavan tekniikan eikä ole välttämättä keskimääräinen tai optimaalinen laukaisutekniikka.

Lisäksi tarkasteltiin muuttujien muutoksia välillä PA-KEA/TA/LJA sekä KEA/TA/LJA-LKL. Muuttujista tarkasteltiin myös maksimi ja minimi arvoja koko laukauksen ajalta sekä näiden vaihteluväliä. Tässä tarkastelussa laukaus katsottiin alkaneeksi alkuasennosta (PA) ja päättyneen saaton loppuun. Saaton loppu määritettiin hetkenä, jolloin alakäsi kävi korkeimmillaan edessä. Laukauksen kesto tarkasteltaessa kesto määritettiin alkuasennosta kiekon irtoamiseen.

3D-liikeanalyysistä tarkasteltavia muuttujia olivat polvien koukistus-ojennuksen, lonkkien kaikkien liikesuuntien, vartalon kaikkien liikesuuntien, yläkäden olkanivelen kaikkien liikesuuntien ja kyynärpäiden koukistus-ojennuksen kulmat ja kulmanopeudet. Lisäksi tarkasteltiin lantion ja rintakehän asentoa sekä jalkaterän suuntaa laboratorion koordinaatistossa. Ranteet jouduttiin jättämään pois tuloksista niissä ilmenneiden anatomisesti mahdottomien tulosten vuoksi. Saman suuntainen liike (esimerkiksi ranteen ojennus) saattoi datassa näkyä eri vaiheissa laukausta eri suuntaisina liikkeinä. Alakäden olkanivelessä oli myös anatomisesti mahdottomia tuloksia ja tulosten muutoksia. Näiden oletettiin johtuvan Gimbalin lukosta ja Codmanin paradoksista. Viconin (2019) Nexuksen manuaalissa Gimbalin lukon kerrotaan selittävän ilmiötä, jossa nivelen kulmalaskennassa yksi kulma lähestyy lähes 90 astetta, mikä saa kaksi muuta

akselia niin lähelle toisiaan, että nämä sekoittuvat ja tämä sekoittaa kulmalaskennan. Codmanin paradoksissa kulma akselin suhteen saattaa muuttua, vaikka varsinaista liikettä kyseisen akselin ympäri ei havaittaisi. Tämä on mahdollista, kun liikettä tapahtuu kahden muun akselin suhteen. (Vicon 2019.) Sama ongelma havaittiin myös yläkäden olkanivelessä lyöntilaukausten alkuaikavaiheissa. Ongelma poistui lavan jääkontaktiin mennessä, joten lyöntilaukauksessa yläkäden olkanivelen dataa ei käytetty vaiheiden PA ja Δ PA-LJA osalta eikä myöskään maksimi- ja minimiarvojen sekä vaihteluvälin osalta. Lyöntilaukauksessa oli myös ongelmia lantion ja ylävartalon kallistuksen/kääntymän ja kierron sekä tukijalan suunnan kanssa, sillä Nexus määrittää automaattisesti tutkittavan kulkusuunnan ja sitä lähimmän akselin, mikä vaikuttaa pelaajan orientaatioon laskennassa. Koska osalla pelaajista suunta on selvästi muuttunut ja arvot ovat epänormaaleja, jouduttiin kallistuksen/kääntymän, kierron ja tukijalan suunnan arvot jättämään pois datasta lukuun ottamatta muutosarvoja, liikelaajuutta ja kulmanopeuksia. Näiden arvot ovat samat riippumatta laskennassa käytetystä laboratorion akselista, joten ne ovat vertailukelpoiset tutkittavien välillä. Vartalon kulmat ovat päteviä, koska ne vertaavat lantiota ja ylävartaloa keskenään, eikä laboratorion akselivalinnalla ole vaikutusta laskentaan.

3D-liikeanalyysin markkerien koordinaattidatasta laskettiin otelevuus sekä käsien ja kyynärpäiden korkeus suhteessa olkapäähän. Lisäksi tarkasteltiin yläkäden kyynärpään y-suuntaista lineaarinopeutta. Tutkimuksessa aiottiin tarkastella myös massakeskipisteen paikkaa suhteessa jalkoihin, mutta erilaisista askelluksista johtuen tämän muuttujan vertailu pelaajien välillä oli mahdotonta.

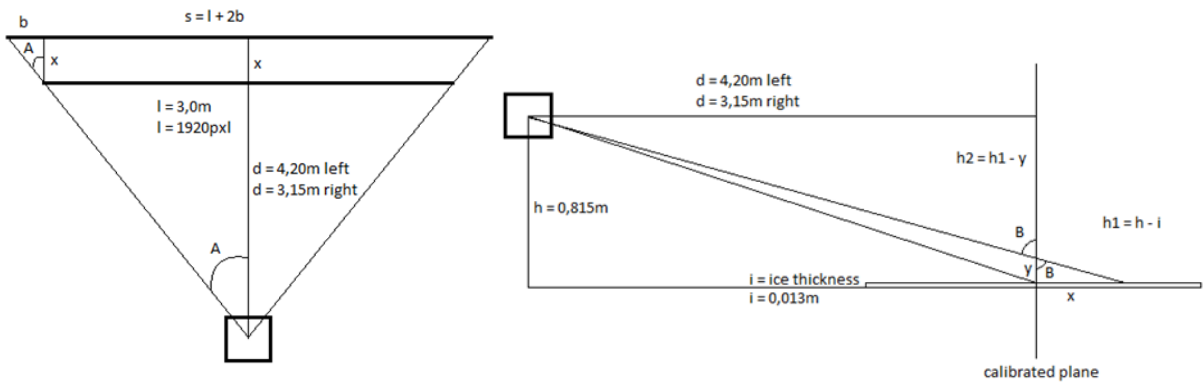
Muuttujien lyhenteissä ensimmäinen kirjain kuvaa raajojen osalta puolta: P on potkaiseva jalka, T on tukijalka, A on alakäsi ja Y on yläkäsi. Tämän jälkeen on kyseisen nivelen tai kehon osan nimi tai sen lyhenne englanniksi. Lopuksi on liikesuunta x, y tai z. Esimerkiksi YShoX on yläkäden olkanivelen koukistus-ohjennus tai ThxZ on ylävartalon/rintakehän kierto. Käytetyt muuttujien lyhenteet on selitetty liitteessä 1.

2D-liikeanalyysistä tarkasteltiin kiekon nopeutta, mailan taipumaa sekä kiekon/lavan etäisyyttä tukijalasta kaikissa laukaisutyypeissä. Rannelaukauksista tarkasteltiin lisäksi mahdollisen esiirrotuksen kestoa ja lyöntilaukauksista lavan jää- ja kiekkokontaktien kestoja. Kiekon nopeuteen käytettiin korjauskaavaa, sillä osa tutkittavista laukoi rannelaukauksia liian kaukana laukaisulinjalta. Tämä johtui useilla tutkittavilla siitä, että he vetivät kiekkoa voimakkaasti kohti

vartaloa rannelaukauksen aikana, eikä kiekko tällöin pysynyt kalibroidulla laukaisulinjalla. Lyöntilaukauksissa kiekko lähti kaikilla pelaajilla laukaisulinjalta, joten korjaus tehtiin vain rannelaukauksiin. Korjauskaava toteutettiin trigonometrialla: ensin määritettiin kiekon etäisyys kalibrointitasosta ja tämän todellisen kiekon paikan avulla saatiin laskettua korjaus kiekon nopeudelle (kuva 11) kaavasta:

$$\frac{v}{l} = \frac{v_{tod}}{s}$$

,jossa v on liikeanalyysin antama kiekon nopeus, l on kuvan leveys kalibrointitasossa, v_{tod} on kiekon todellinen nopeus ja s on kuvan leveys todellisella laukaisulinjalla. Kaava on laskennan välivaiheinen liitteessä 2.



KUVA 11. Kaavakuva nopeuden korjauksen laskennasta, jossa l on kuvan leveys kalibrointitasossa, s on kuvan leveys todellisella laukaisulinjalla, d on kameran etäisyys kalibrointitasosta, A on kulma, joka muodostuu kameran, kuvan keskikohdan ja kuvan reunan välille, x on todellisen laukaisulinjan etäisyys kalibrointitasosta, b on puolet matkasta, jonka s on pidempi kuin l , h on kameran korkeus lattiasta, i on keinojään paksuus, $h1$ on kameran korkeus keinojään pinnasta, y on videokuvassa kiekon etäisyys jäänpinnasta kalibrointitason kohdalla eli kiekon ja kameran välinen suora leikkaa kalibrointitason y -etäisyydellä jään pinnasta. Liikeanalyysistä saadaan suoraan y , jonka avulla lasketaan x ja x :n avulla lasketaan b . Näin saadaan s ja kaavan $v/l = v_{tod}/s$ ainut tuntematon tekijä on v_{tod} .

5.7 Tilastolliset analyysit

Tilastolliset analyysit toteutettiin SPSS:llä (IBM SPSS Statistics 24, SPSS, Chicago, USA). Muuttujista tarkasteltiin keskiarvoa ja keskihajontaa. Korrelaatiot laskettiin Spearmanin kaavalla ja ryhmäeroja tarkasteltiin ei-parametrisella Mann-Whitneyn U-testillä. Merkitsevyyden raja oli $p < .05$.

Työssä esitettävät korrelaatiot ovat muiden muuttujien ja kiekon nopeuden välisiä korrelaatioita. Korrelaatioita tarkasteltiin aina koko tutkimusjoukon osalta. Otannan koko kuitenkin vaihteli laukaisutyypin ja/tai voimatestin mukaan.

6 TULOKSET

Tässä luvussa esitellään tulokset. Ensimmäiset alaluvut käsittelevät muuttujien keskiarvoja kuvaten laukaisutekniikoita. Näiden jälkeen käsitellään biomekaanisten muuttujien korrelaatioita kiekon nopeuteen kaikissa laukaisutekniikoissa. Viimeinen alaluku käsittelee voimatestien tuloksia ja korrelaatioita kiekon nopeuteen.

6.1 Rannelaukauksen tekniikka alakäsi-yläkäsi -painonsiirrolla

AY-laukaisutyypin laukausten maksiminopeus oli $114,8 \pm 7,5$ km/h (vaihteluväli 105,0 – 128,4 km/h). Laukauksen kesto lonkan ojennuksen alusta kiekon irtoamiseen oli $0,411 \pm 0,113$ s ja voimantuoton alusta kiekon irtoamiseen $0,106 \pm 0,011$ s. Esi-irrotuksen kesto oli keskimäärin $0,039 \pm 0,032$ s. Oteleveys oli $56,2 \pm 4,4$ cm. Lavan etäisyys tukijalan varpaasta laukaisulinjan suuntaisesti oli voimantuoton alkaessa $61,9 \pm 14,2$ cm. Mailan taipuma oli $24,6 \pm 3,4^\circ$.

Potkaisevan jalan polvi ja lonkka ojentuivat välillä PA-KEA/TA ja polvi alkoi koukistua välillä KEA/TA-LKL. Lonkka taas jatkoi ojentumista myös välillä KEA/TA-LKL ojentuen suoraksi. Tukijalan polvi ja lonkka koukistuivat koko laukauksen ajan. Keskimäärin tukijalka oli lähes linjassa laukaisusuunnan kanssa. Potkun ja voimantuoton välissä jalka kääntyi lähemmäs laukaisusuuntaa, mutta jalan suunta palautui taas pois päin laukaisusuunnasta voimantuoton ja kiekon irtoamisen välillä. (kuva 10.)

Lantio ja ylävartalo olivat koko laukauksen ajan kallistuneet eteen. Ylävartalo kallistui koko laukauksen ajan lisää, kun taas lantio kallistui välillä PA-KEA/TA, mutta välillä KEA/TA-LKL se oli jo hieman palautunut pystympään. Sekä ylävartalo että lantio olivat alkuasennossa kallistuneet ja kääntyneet alakäden puolelle ja yläkäden puoli oli kiertynyt eteen ja alas. Laukauksen aikana molemmat kääntyivät maalia kohti ja alakäden puoli kiertyi eteen ja alas.

Alakäden kyynärnivel koukistui välillä PA-KEA/TA ja ojentui välillä KEA/TA-LKL. Yläkäden kyynärnivel koukistui koko laukauksen ajan. Välillä PA-KEA/TA olkaniveltä loitonnettiin

voimakkaasti. Samalla olkanivel ojentui. Välillä KEA/TA-LKL olkaniveltä lähennettiin ja samalla olkanivel keskimäärin koukistui. Olkanivel kääntyi sisäkierrosta ulkokiertoon välillä PA-LKL. Tarkat arvot AY-laukauksesta löytyvät liitteestä 3, taulukot 4–6.

6.2 Rannelaukauksen tekniikka yläkäsi-alakäsi -painonsiirrolla

YA-laukaisutyypin laukausten maksiminopeus oli $110,9 \pm 9,2$ km/h (vaihteluväli 97,3 – 131,0 km/h). Laukauksen kesto lonkan ojennuksen alusta kiekon irtoamiseen oli $0,373 \pm 0,113$ s ja voimantuoton alusta kiekon irtoamiseen $0,113 \pm 0,018$ s. Esi-irrotuksen kesto oli keskimäärin $0,053 \pm 0,035$ s. Oteleveys oli $55,0 \pm 4,5$ cm. Lavan etäisyys tukijalan varpaasta laukaisulinjan suuntaisesti oli voimantuoton alkaessa $34,6 \pm 17,5$ cm. Mailan taipuma oli $26,9 \pm 3,4^\circ$.

Potkaisevan jalan polvi ja lonkka ojentuivat välillä PA-KEA/TA. Polvi koukistui voimakkaasti välillä KEA/TA-LKL ja lonkka koukistui hieman käyden välillä lähes suorana. Tukijalan polvi koukistui koko laukauksen ajan ja lonkka välillä PA-KEA/TA. Tukijalka kääntyi laukauksen aikana lähelle laukaisulinjaa, mutta oli jatkuvasti ulkokierrossa suhteessa laukaisulinjaan. (kuva 12.)



KUVA 12. YA-laukaus lauottuna askeleella. Vaiheet vasemmalta oikealle PA, KEA/TA, LKL. Kuva havainnollistaa yhden tutkittavan tekniikan eikä ole välttämättä keskimääräinen tai optimaalinen laukaisutekniikka.

Lantio ja ylävartalo olivat koko laukauksen ajan kallistuneet eteen. Kallistuksessa ei tapahtunut suuria muutoksia laukauksen vaiheiden välillä. Sekä ylävartalo että lantio olivat alkuasennossa kallistuneet ja kiertyneet alakäden puolelle. Laukauksen aikana molemmat kääntyivät/kallistui-
vat maalia kohti ja kiertyivät yläkäden puolelle. Lantion kääntyminen oli voimakkaampaa kuin ylävartalon.

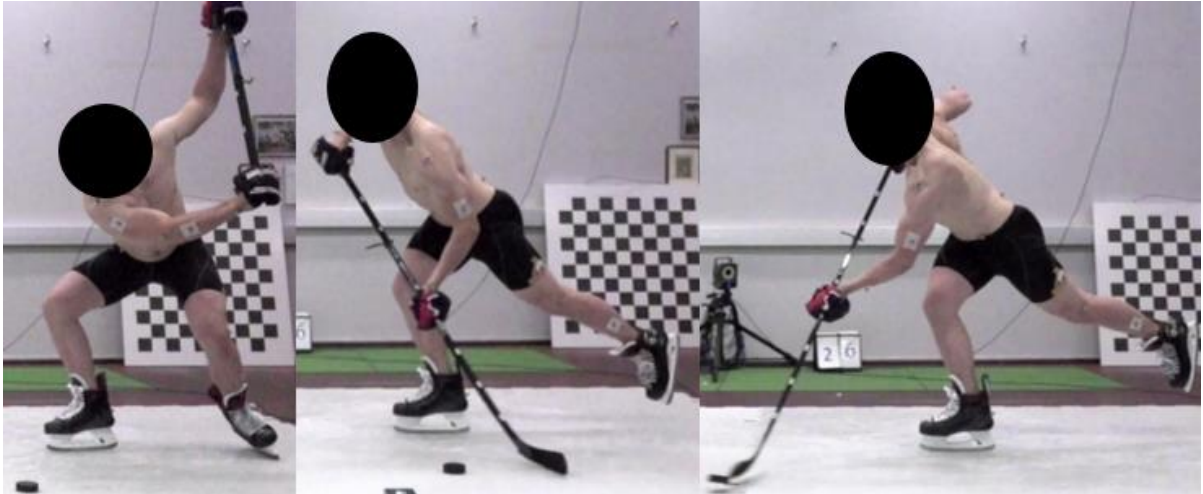
Alakäden kyynärniveli koukistui välillä PA-KEA/TA ja ojentui välillä KEA/TA-LKL. Yläkä-
den kyynärnivelessä ei tapahtunut muutosta alkuasennosta voimantuoton alkuun. Voiman-
tuoton alun jälkeen yläkäden kyynärniveli koukistui laukauksen loppuun asti. Yläkäden olka-
niveli ojentui hieman välillä PA-KEA/TA ja koukistui välillä KEA/TA-LKL, mutta oli ojentu-
massa hetkellä LKL. Yläkäden olkanivel loitontui välillä PA-KEA/TA ja lähentyi välillä
KEA/TA-LKL. Yläkäden olkanivel oli sisäkierrossa alkuasennossa ja siinä tapahtui ulkokiertoa
välillä PA-LKL. Tarkat arvot YA-laukauksesta löytyvät liitteestä 3, taulukot 7–9.

6.3 Lyöntilaukauksen tekniikka

Lyöntilaukausten maksiminopeus oli $133,3 \pm 10,1$ km/h (vaihteluväli 118,0 – 153,5 km/h). Lau-
kauksen kesto lonkan ojennuksen alusta kiekon irtoamiseen oli $0,295 \pm 0,039$ s. Lavan jääkon-
taktin kesto oli $0,051 \pm 0,005$ s ja lavan kiekkokontaktin kesto oli $0,036 \pm 0,003$ s. Oteleveys
oli $82,4 \pm 6,7$ cm. Lavan etäisyys tukijalan varpaasta laukaisulinjan suuntaisesti oli lavan jää-
kontaktin alkaessa $68,7 \pm 9,0$ cm. Kiekon etäisyys tukijalan varpaasta samalla hetkellä oli $26,8$
 $\pm 12,0$ cm ja lavasta $42,0 \pm 9,3$ cm. Mailan taipuma oli $28,2 \pm 4,0^\circ$.

Potkaisevan jalan lonkka ojentui voimakkaasti välillä PA-KEA/TA ojentuen lähes suoraksi.
Ojentuminen jatkui vielä hieman välillä KEA/TA-LKL. Potkaisevan jalan polvi ojentui välillä
PA-KEA/TA, mutta koukistui välillä KEA/TA-LKL. Tukijalan polvessa ei ollut suurta liikettä
laukauksen aikana, mutta polvi ojentui aluksi hieman ja tämän jälkeen koukistui hieman. Tuki-
jalan lonkka koukistui koko laukauksen ajan – alussa voimakkaammin. Tukijalka kääntyi lau-
kauksen aikana hieman alkuasennosta alakäden suuntaan. (kuva 13.)

Lantio ja ylävartalo olivat laukauksen ajan voimakkaasti kallistuneet eteen. Ylävartalo oli kier-
tynyt alakäden suuntaan suhteessa lantioon. Molemmat kiertyvät voimakkaasti yläkäden suun-
taan laukauksen aikana. Molemmat myös kääntyivät hieman yläkäden suuntaan.



KUVA 13. Lyöntilaukauksen tekniikka. Laukauksen vaiheet vasemmalta oikealle PA, LJA, LKL. Kuva havainnollistaa yhden tutkittavan tekniikan eikä ole välttämättä keskimääräinen tai optimaalinen laukaisutekniikka.

Alakäden kyynärniveli oli noin 50 asteen koukistuksessa alkuasennossa (PA). Kyynärniveli koukistui hieman käden alas tuonnin aikana (PA-LJA) ja ojentui ennen kiekon irtoamista (LJA-LKL). Alakäden kyynärniveli myös jatkoi ojentumista kiekon irtoamisen jälkeen. Yläkäden kyynärniveli koukistui voimakkaasti välillä PA-LJA, muttei juurikaan enää vaiheen LJA-LKL aikana. Yläkäden olkaniveli ojentui ja lähentyi sekä kiertyi hieman ulkokiertoon välillä LJA-LKL. Tarkat arvot lyöntilaukauksesta löytyvät liitteestä 3, taulukot 10–12.

6.4 Biomekaanisten muuttujien korrelaatiot

Tutkittavien taso korreloi merkitsevästi laukauksen nopeuteen YA-rannelaukauksessa ($r = .567^*$, $p = .034$, $n = 14$) sekä lyöntilaukauksessa ($r = .557^*$, $p = .031$, $n = 15$), muttei AY-rannelaukauksessa. Tutkittavien pituus ja paino korreloivat positiivisesti vähintäänkin merkitsevästi kaikissa laukaisutyypeissä. Myös mailan taipuman ja kiekon nopeuden välillä oli positiivinen merkitsevä korrelaatio kaikissa laukaisutyypeissä.

Alkuasennossa laukauksen nopeuteen korreloivat laukaisutyyppin mukaan potkaisevan lonkan koukistus (AY: $r = .662^{**}$, $p = .004$, $n = 17$; YA: $r = .538^*$, $p = .047$, $n = 14$), lantion kallistus eteen (YA: $r = .631^*$, $p = .016$, $n = 14$) sekä yläkäden olkanivelen koukistus (AY: $r = .532^*$, $p = .028$, $n = 17$).

Voimantuoton alkaessa YA-laukaisutyypissä oli useita muuttujia, jotka korreloivat laukauksen nopeuteen – erityisesti lantion ja ylävartalon asento sekä tukijalan suuntaus ($r = .874^{***}$, $p < .001$, $n = 14$). Muissa laukaisutyypeissä korreloivia muuttujia oli huomattavasti vähemmän.

Kiekon irtoamishetkellä erityisesti vartalon asentoa suhteessa laboratorioon kuvaavat kulmat korreloivat laukauksen nopeuteen YA-laukaisutyypissä, esimerkiksi lantion sivukallistus ($r = .697^{**}$, $p = .006$, $n = 14$). Korreloivia muuttujia oli tässä laukaisutyypissä enemmän kuin muissa. Muissa laukaisutyypeissä eniten korrelaatioita löytyi kulmanopeuksista.

Laukauksen nopeuden kanssa korreloivia maksimiarvoja löytyi YA-laukaisutyypissä absoluuttisista kulmista, nivelkulmista sekä kulmanopeuksista useita, esimerkiksi yläkäden olkanivelen maksimaalinen loitonnuksenopeus ($r = .666^{**}$, $p = .009$, $n = 14$). Muissa laukaisutyypeissä korrelaatioita löytyi vähemmän.

Laukauksen nopeuden kanssa korreloivia minimiarvoja löytyi useita sekä AY- että YA-laukaisutyypeistä kulma-arvoista ja kulmanopeuksista. Lyöntilaukauksessa vain potkaisevan jalan lonkkakulma ($r = .518^*$, $p = .048$) ja alakäden korkeus olkapäästä ($r = -.546^*$, $p = .035$) korreloivat merkitsevästi laukauksen nopeuteen.

Muuttujien arvojen muutoksista välillä PA-KEA/TA/LJA laukauksen nopeuteen korreloivat erityisesti potkaisevan jalan nivelkulmien sekä lantion ja ylävartalon asentojen muutokset laukaisutyypeissä AY ja YA, esimerkiksi lantion sivukallistus (AY: $r = .755^{***}$, $p < .001$, $n = 17$; YA: $r = .631^*$, $p = .016$, $n = 14$). Lyöntilaukauksesta ei löytynyt korrelaatioita.

Laukauksen nopeuteen merkitsevästi korreloivia muutoksia välillä KEA/TA/LJA-LKL oli YA-laukaisutyypissä jalkojen, vartalon sekä olkanivelen muuttujissa, esimerkiksi ylävartalon sivukallistus ($r = .723^{**}$, $p = .003$, $n = 14$). AY-laukaisutyypissä ja lyöntilaukauksessa korreloivia muutoksia ei löytynyt.

Tärkeitä laukauksen nopeuteen korreloivia muuttujien vaihteluvälejä löytyi alakäden kyynärnivelistä, lantiosta, vartalosta ja olkanivelestä. YA-laukaisutyypin ainut korrelaatio oli olkanivelen loitonnuksen-lähennys -liikelaajuus ($r = .846^{***}$, $p < 0.001$). Kaikki tärkeimmät korrelaatiot löytyvät liitteestä 3, taulukot 13–22.

6.5 Voimatestit

Penkkipunnerruksen keskiarvo jäi hieman alle 100 kg, lisäpainoleuanveto hieman alle 30 kg ja kyykky alle 200 kg. Penkkipunnerruksessa pystyttiin 50% kuormalla tuottamaan hieman enemmän tehoa kuin 30% kuormalla ja leuanvedossa selvästi enemmän kuin penkkipunnerruksessa. Oikean käden puristusvoima oli vasenta suurempi ja vartalon ojennus oli koukistusta voimakkaampi. (taulukko 2.)

TAULUKKO 2. Voimatestien tulokset. Penkki = penkkipunnerruksen 1RM, Penkki30 = penkkipunnerruksen teho 30% 1RM kuormalla, Penkki50 = penkkipunnerruksen teho 50% 1RM kuormalla, Leuka1RM = lisäpainoleuanvedon 1RM, LeukaP = leuanvedon teho, Kyykky1RM = takakyykyn 1RM, Hyppy = kevennyshypyn nousukorkeus, PuristusV = vasemman käden puristusvoima, PuristusO = oikean käden puristusvoima, Fleksio = vartalon koukistuksen voima, Ekstensio = vartalon ojennuksen voima, Leukayht = leuanvedon 1RM kehon paino + lisäpaino

Testi	ka.	SD
Penkki (kg)	94.46	12.75
Penkki30 (W)	538.66	92.93
Penkki50 (W)	565.93	84.32
Leuka1RM (kg)	28.09	12.79
LeukaP (W)	832.87	242.69
Kyykky1RM (kg)	192.67	34.89
Hyppy (cm)	44.25	5.38
PuristusV (kg)	56.21	7.37
PuristusO (kg)	64.42	8.75
Fleksio (kg)	103.14	18.81
Ekstensio (kg)	117.22	18.18
Leukayht (kg)	115.59	13.00

Voimatesteissä ylävartalon voimantuotto korreloi positiivisesti laukauksen nopeuteen. Ranne-
laukauksissa korostui leuanvedon teho, lyöntilaukauksissa penkki-
punnerrustetit. Vasemman
käden puristusvoima korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen kaikissa laukaisutekniikoissa.
(taulukko 3.)

TAULUKKO 3. Voimatestit, joiden tulokset korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vä-
hintään yhdessä laukaisutyypissä. Penkki = penkki-
punnerruksen 1RM, Penkki30 = penkki-
punnerruksen teho 30% 1RM kuormalla, Penkki50 = penkki-
punnerruksen teho 50% 1RM kuor-
malla, LeukaP = leuanvedon teho, PuristusV = vasemman käden puristusvoima, PuristusO =
oikean käden puristusvoima, Fleksio = vartalon koukistuksen voima, Ekstensio = vartalon ojen-
nyksen voima, Leukayht = leuanvedon 1RM kehon paino + lisäpaino

Muuttuja	AY		YA		L	
	r	p	r	p	r	p
Penkki	.334	.244	.441	.151	.704*	.011
Penkki30	.363	.203	.455	.138	.657*	.020
Penkki50	.516	.059	.678*	.015	.713**	.009
LeukaP	.611*	.016	.749**	.002	.473	.088
PuristusV	.613**	.009	.565*	.035	.596*	.019
PuristusO	.583*	.014	.499	.069	.432	.108
Fleksio	.559*	.020	.336	.240	.443	.098
Ekstensio	.613**	.009	.437	.118	.421	.118
Leukayht	.448	.072	.481	.081	.552*	.033

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

7 POHDINTA

Kiekon nopeus oli AY-laukauksessa $114,8 \pm 7,5$ km/h, YA-laukauksessa $110,9 \pm 9,2$ km/h ja lyöntilaukauksessa $133,3 \pm 10,1$ km/h. Vaihteluväli oli noin 30 km/h jokaisessa laukaisutyypissä. Mailan taipuma korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen jokaisessa laukaisutyypissä. Myös pelaajan koko ja voimaominaisuudet olivat yhteydessä kiekon nopeuteen jokaisessa laukaisutyypissä. Pelaajien sarjataso korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen YA- ja lyöntilaukauksessa, muttei AY-laukauksessa. Matala ja etukumara asento oli tärkeä tekijä rannelaukauksissa. Ylävartalon käänntö sivulta eteen oli kiekon nopeutta selittävä tekijä molemmissa rannelaukaisutyypeissä. YA-laukauksessa vartalon linjauksien kohdistuminen maalia kohti korreloi vahvasti kiekon nopeuteen. Molemmissa rannelaukauksissa yläkäden olkanivelen liikkeet ja liikenopeudet korreloivat kiekon nopeuteen.

Tässä tutkimuksessa mitattiin selvästi suurempia kiekon nopeuksia kuin muussa kirjallisuudessa. Lähimpänä ovat olleet Worobetsin ym. (2006) tutkimuksen laukaukset (rannelaukaukset $96,5 \pm 2,9$ km/h ja lyöntilaukaukset $124,9 \pm 3,2$ km/h). Muissa vain miehillä tehdyissä tutkimuksissa kiekon nopeudet ovat vaihdelleet ryhmäjaosta ja tasosta riippuen lyöntilaukauksissa välillä 80,3–121,0 km/h (Hannon ym. 2011; Pearsall ym. 1999; Villasenor ym. 2006). Rannelaukauksissa on mitattu 87,1 km/h keskiarvo (Hannon ym. 2011).

Olisi loogista ajatella, että isommat pelaajat saavat mailan taipumaan enemmän. Mailan jäykkyys määrättiin painon mukaan, joten isommilla pelaajilla oli jäykempi maila. Silti sekä mailan taipuma että pelaajien koko korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen kaikissa laukauksissa. Voidaan siis olettaa, että paremmat laukojat tekevät jotakin paremmin saadakseen mailan taipumaan enemmän. Suurempi mailan taipuma varastoi mailan varteen enemmän elastista energiaa, joka vapautuu laukauksen loppuvaiheessa ja lisää kiekon nopeutta.

Lyöntilaukauksissa asento oli rannelaukauksia matalampi ja etukumarampi, joten tällaisen asennon voidaan ajatella olevan tärkeä tekijä myös lyöntilaukauksessa, vaikka korrelaatiota ei havaittukaan. Vaikka AY- ja lyöntilaukauksessa ei havaittu korrelaatioita vartalon linjauksien ja kiekon nopeuden välillä, vartalon linjauksien kohdistumista maalia kohti voidaan pitää pelin jatkumon kannalta edullisina tekijöinä laukauksessa. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että

yläkäden voimakas veto taakse ja venymislyhenemissyklin hyödyntäminen ovat tärkeitä tekijöitä laadukkaassa rannelaukauksessa. Lyöntilaukauksessa olkanivelen data ei ollut käyttökelpoista, mutta voidaan olettaa, että sama pätee myös lyöntilaukaukseen.

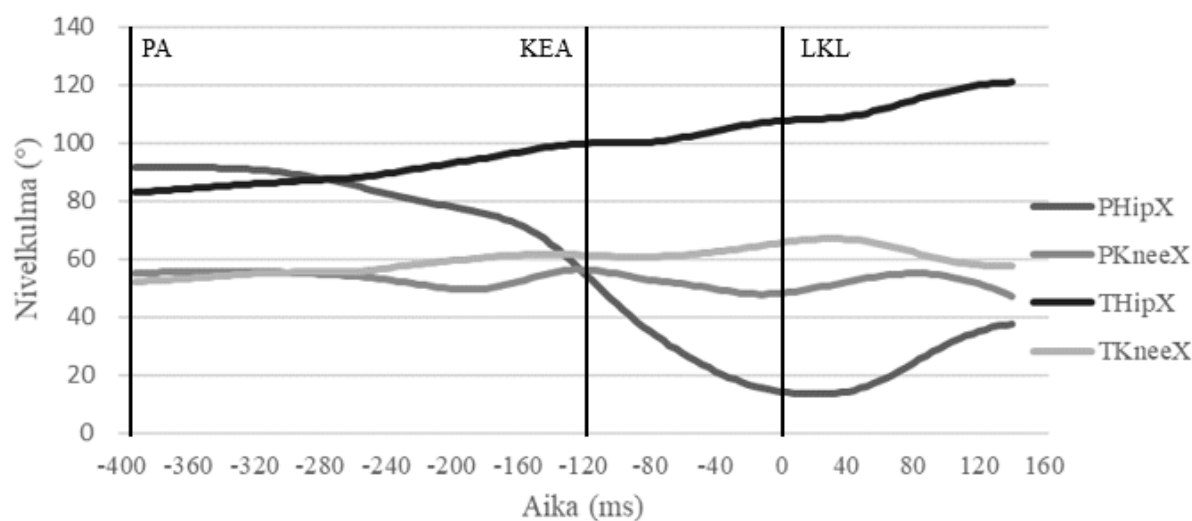
7.1 Rannelaukaus alakäsi-yläkäsi -painonsiirrolla

AY-laukauksessa pelaajien sarjataso ei korreloinut merkitsevästi kiekon nopeuteen. Tämä saattaa johtua siitä, että tämän tyyppistä laukausta opetetaan enemmän juniorivaiheessa, jolloin myös alemmalla tasolla pelaavat olisivat harjoitelleet tätä runsaasti. AY-laukaus lienee rannelaukauksista suositumpi omatoimisessa harjoittelussa, minkä seurauksena tasoerot siinä eivät kasvaisi niin suuriksi. Kiekon nopeuden vaihteluväli oli AY-laukauksissa tämän tutkimuksen pienin. Toisaalta tämä saattaa olla teknisesti helpoin laukaus, mikä myös tasoittanee sarjatason vaikutusta.

Potkaisevan polven liike oli pientä tarkasteluhetkien välillä. Minimi- ja maksimiarvon vaihteluväli oli keskimäärin noin 45 °. Vastaavasti potkaiseva lonkka ojentui koko laukauksen ajan ja vaihteluväli oli noin 75 °. Paikaltaan lauottavassa laukauksessa liike tuotetaan siis selvästi enemmän lonkan kuin polven ojennuksella. Selittävänä tekijänä tähän saattoi olla painon asettaminen mailalle taipuman aikaansaamiseksi. Lantio ja ylävartalo olivat koko laukauksen ajan kallistuneet voimakkaasti eteen ja ylävartalo kallistui lisää koko laukauksen ajan. Vastaavasti myös tukijalan polvi ja lonkka koukistuivat koko laukauksen ajan. Painopiste siis laski laukauksen ajan ja laukauksen suunta oli kohti maalia, ja voimakas potkaisevan polven ojennus olisi saattanut nostaa painopistettä ja voimantuoton suuntaa liikaa ylöspäin. (Kuva 14.)

Matalampi ja etukumarampi asento olivat yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen. PA:ssa potkaiseva lonkka oli enemmän koukussa paremmilla laukojilla. KEA/TA:ssa paremmilla laukojilla oli tukijalan lonkka enemmän koukussa ja lantio kallistunut enemmän eteen. Lantion ja ylävartalon kallistuksen maksimiarvot korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen. Potkaiseva polvi ei ojentunut missään vaiheessa yhtä suoraksi paremmilla laukojilla, mikä on yhteydessä voimantuottoon lonkasta ja painopisteen laskemiseen laukauksen aikana.

Polvien ja lonkkien koukistus

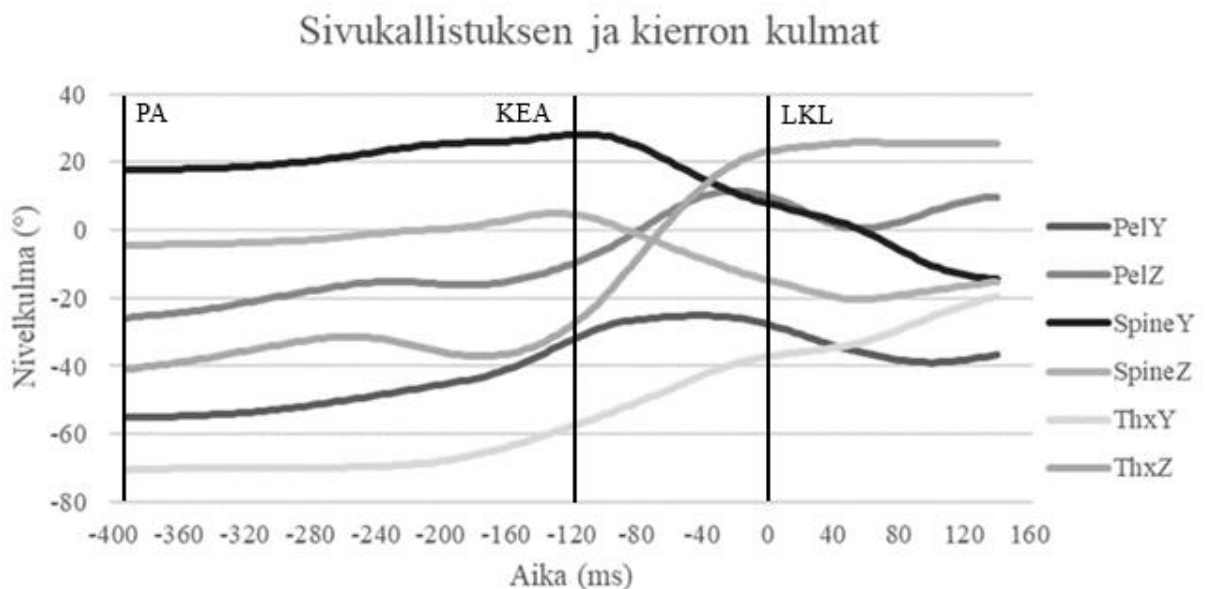


KUVA 14. Molempien polvien ja lonkkien koukistus AY-laukauksessa. Kuvassa tutkimuksen parhaan laukojan käyrät, jotka saattavat poiketa nivelten keskimääräisestä liikkeestä laukauksessa. Esimerkiksi potkaisevan polven vaihteluväli on keskimääräistä pienempi. PA = -392 ms, KEA = -120 ms, LKL = 0 ms. PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PKneeX = potkaisevan polven koukistus, THipX = tukijalan lonkan koukistus, TKneeX = tukijalan polven koukistus.

Rannelaukauksissa on havaittu, että paremmat laukojat saavat mailan taipumaan enemmän (Wu ym. 2003; Hannon ym. 2011) ja mailan jäykkyyden vähentämisestä saattaa olla hyötyä kiekon nopeuteen (Worobets ym. 2006). Tämän tutkimuksen korrelaatiot mailan taipuman ja kiekon nopeuden välillä ovat linjassa aiempien tutkimusten kanssa. Mailan elastisen energian hyödyntäminen on siis olennaista hyvässä laukauksessa. Matalampi ja etukumarampi asento auttaa painamaan mailaa, jolloin se saadaan taipumaan enemmän.

Vaikka Michaud-Paquette ym. (2011) havaitsivatkin tutkimuksessaan potkaisevan lonkan ojennuksen vaikutuksen rannelaukauksen tarkkuuteen, tämän tutkimuksen perusteella lonkan liikelajisuus tai ojennuksen maksiminopeus eivät korreloineet kiekon nopeuteen. Toisaalta potkaiseva lonkka oli enemmän koukussa alkuasennossa, muttei enää KEA/TA:ssa, mikä viittaa parempien laukojien laajempaan lonkan liikkeeseen laukauksen alkuvaiheessa, jossa lonkan voimantuotto on suurimmillaan.

Lantiossa ja ylävartalossa oli alkuasennossa sivukallistusta alakäden puolelle. Koska molemmat olivat kallistuneet voimakkaasti eteen, osa sivukallistuksesta voidaan ajatella lantion ja ylävartalon kääntymisenä sivulle suhteessa laukaisulinjaan. Lisäksi lantio ja ylävartalo olivat kiertyneet alakäden puolelle. Kallistuksen takia alakäden puoli oli siis kiertynyt sekä ylös että taakse. Laukauksen aikana lantio ja ylävartalo kääntyivät/kallistuivat enemmän kohti maalia ja kiertivät yläkäden puolelle. Alkuasennossa ylävartalo on sekä kiertynyt että kallistunut sivulle enemmän kuin lantio suhteessa laukaisulinjaan. Lantio kiertyy ja kallistuu kohti laukaisulinjaa enemmän kuin ylävartalo välillä PA-KEA/TA, mutta välillä KEA/TA-LKL ylävartalo kiertyy ja kallistuu lantiota enemmän. Ylävartalon liikelaajuus on molemmissa liikesuunnissa lantiota suurempi. (Kuva 15.)



KUVA 15. Lantion, vartalon ja ylävartalon sivukallistus ja kierto AY-laukauksessa. Kuvassa tutkimuksen parhaan laukojan käyrät, jotka saattavat poiketa tutkimuksen keskiarvoista. PA = -392 ms, KEA = -120 ms, LKL = 0 ms. PelY = lantion sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), PelZ = lantion kierto (yläkäden puoli positiivinen), SpineY = vartalon lateraalikoukistus (alakäden puoli positiivinen), SpineZ = vartalon kierto (positiivinen, kun ylävartalo lantiota enemmän alakäden puolella), ThxY = ylävartalon sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), ThxZ = ylävartalon kierto (yläkäden puoli positiivinen).

Laukauksen eri vaiheissa, maksimi- tai minimiarvoissa ei löytynyt merkitseviä korrelaatioita lantion tai ylävartalon sivukallistuksen tai kierron sekä kiekon nopeuden välillä. Kuitenkin sekä

lantion että ylävartalon sivukallistuksen muutoksen suuruus PA:sta KEA/TA:han korreloi voimakkaasti kiekon nopeuteen ($r = .755^{***}$, $p < .001$; $r = .645^{**}$, $p = .005$). Laukauksen kannalta tärkein lantion ja ylävartalon liike tapahtuu siis ennen kuin mailaan aletaan tuottaa voimaa. Tämä havainto on linjassa kirjallisuuden kanssa, jossa esitellään proksimaalisesta distaaliseen -teoriaa eli sekvenssimallia (Lindsay ym. 2008; Tinmark ym. 2010). Mitä proksimaalisempi kehonosa suhteessa pelivälineeseen, sitä aiemmin sen tulisi saavuttaa maksiminopeutensa. Tämä näkyy myös verrattaessa lantion ja ylävartalon liikkeiden ajoitusta keskenään, sillä lantio liikkuu enemmän ennen KEA/TA:ta ja ylävartalo vasta tämän hetken jälkeen.

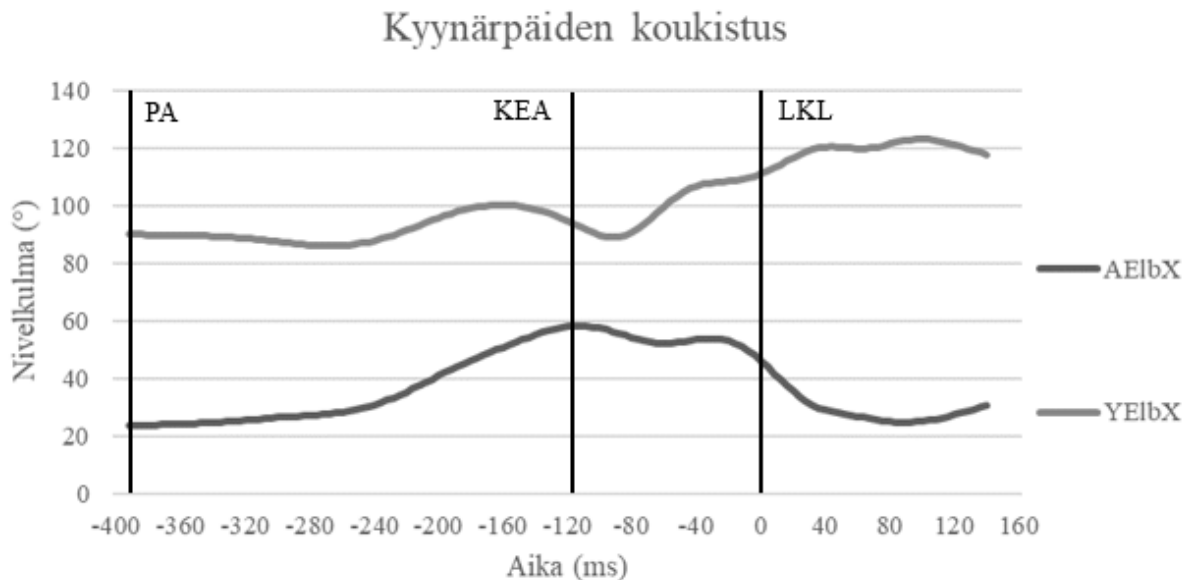
Maahockeyn vetolaukauksessa lantion kulmanopeus suhteessa x-akseliin on huippulaukojalla muita suurempi (de Subijana ym. 2010). Koska kyseisessä laukauksessa pelaajan asento on niin matala, voidaan tämä tulkita suurelta osin sivukallistuksen aiheuttamaksi. Myös ylävartalon aksiaalisen ja lateraalisen rotaation nopeus ovat selittäviä tekijöitä suurempaan pallon nopeuteen (Ibrahim ym. 2016). Lateraalinen rotaatio ja sivukallistus voidaan tulkita samaksi liikkeeksi. Tässä tutkimuksessa lantion tai ylävartalon sivukallistuksen tai kierron nopeus ei korreloinut kiekon nopeuteen, vaikka laukauksen alkuvaiheen liikelaajuus korreloikin.

Tarkkuuslaukauksina suoritetuissa jääkiekon rannelaukauksissa AY-tekniikalla lantion ja ylävartalon kierron laajuus olivat yhteydessä laukaisutarkkuuteen (Michaud-Paquette ym. 2011). Tässä tutkimuksessa ne eivät kuitenkaan korreloineet kiekon nopeuteen.

Tukijalan lonkan loitonnuksen maksiminopeus korreloi vahvasti kiekon nopeuteen (loitonnus on tässä negatiivinen suunta, $r = -.701^{**}$, $p = .002$). Loitonnus mahdollistaa tukijalan liu'uttamisen laukaisulinjan suuntaisesti ennen lantion kääntymistä maalia kohti. Samalla reiden lähentäjälihakset venyvät, jolloin lähennyksestä saadaan voimakkaampi. Koska tukijalka on kiinni jäässä, lähennys kääntää lantiota maalia kohti. Paremmat laukojat saattavat siis saada nopeammasta loitonnuksesta etua lantion kääntöön, vaikka lantion sivukallistuksen tai kierron nopeus eivät korreloineetkaan kiekon nopeuden kanssa.

Alakäden kyynärnivel koukistuu, kun kiekkoa vedetään vartalon takaa ja ojentuu, kun mailaa taivutetaan ja kiekkoa työnnetään maalia kohti (kuva 16). Yläkäden kyynärpää keskimäärin koukistuu koko laukauksen ajan, mutta pieniä ojentumisen hetkiäkin on välillä, jotka liittyvät

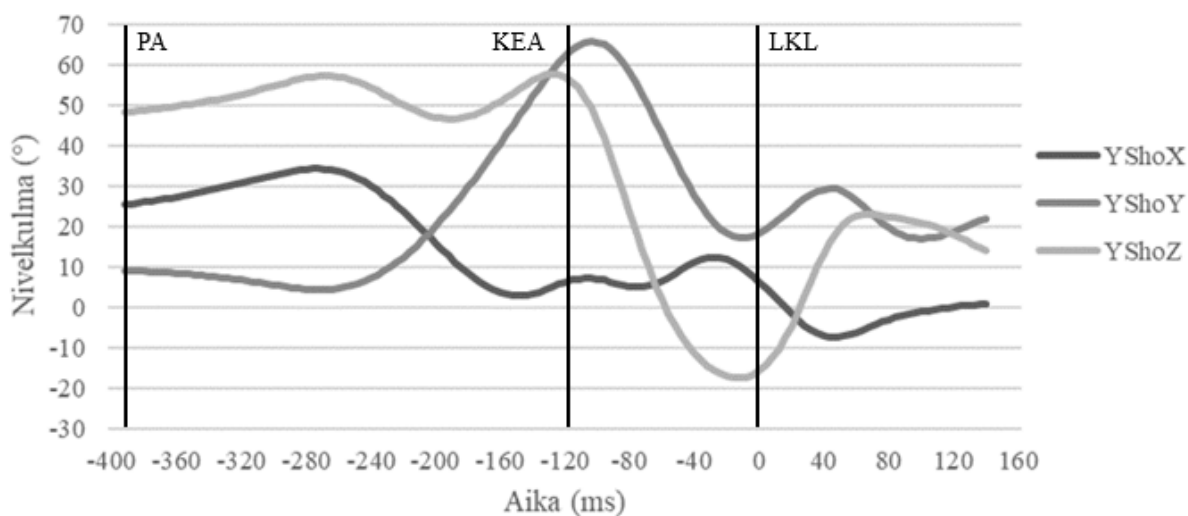
lavan linjan säätelyyn. Laukauksen alkuvaiheen aikana yläkäden olkanivelessä tapahtuu loiton-
nusta, joka liittyy sekä kiekon vetämiseen vartalon takaa että venymislyhenemissykliin olka-
nivelen loitonnuksen lähennyksessä (kuva 17). Loitonnuksen jälkeen olkanivel lähentyy, kun ylä-
kättä vedetään taakse. Tähän lähennykseen saadaan lisää voimaa loitonnuksen aikana varas-
toidusta elastisesta energiasta.



KUVA 16. Molempien kyynärnivelten koukistus. Kuvassa tutkimuksen parhaan laukoajan käy-
rät, jotka saattavat poiketa tutkimuksen keskiarvoista. PA = -392 ms, KEA = -120 ms, LKL =
0 ms. AEIbX = alakäden kyynärnivelen koukistus, YEIbX = yläkäden kyynärnivelen koukistus.

Hieman epäloogisesti yläkäden olkanivel ojentuu laukauksen alkuvaiheessa, kun olkanivel loi-
tontuu ja vastaavasti koukistuu, kun olkanivel lähentyy. Kyseessä on vain tarkasteluhetkien vä-
liset muutokset. Yläkäden olkanivel ojentuu, kun kyynärpää siirtyy vartalon edestä sivulle.
Koukistusvaihe, jossa olkanivel koukistuu noin 10 astetta, ajoittuu välille KEA/TA-LKL. Sa-
massa ajassa ylävartalo kallistuu eteen lähes saman verran. Jos olkavarsi pysyy samassa asen-
nossa suhteessa horisontaalitasoon, ylävartalon kallistus selittäisi koukistuksen. Laukauksen
loppuvaiheessa yläkäden olkanivel ojentuu, kun kättä vedetään taakse. Kiekon irrotessa kaikilla
tutkittavilla oli yläkäden olkanivelessä nopeutta ojennuksen suuntaan. Voimantuoton aikana
olkanivel kiertyy voimakkaasta sisäkierrosta pieneen ulkokiertoon.

Yläkäden olkanivelen kulmat



KUVA 17. Yläkäden olkanivelen koukistus-ojennus, loitonnuks-lähennys ja rotaatio. Kuvassa tutkimuksen parhaan laukojan käyrät, jotka saattavat poiketa tutkimuksen keskiarvoista. PA = -392 ms, KEA = -120 ms, LKL = 0 ms. YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus (pos.), YShoY = yläkäden olkanivelen loitonnuks (pos.), YShoZ = yläkäden olkanivelen sisäkierto (pos.).

Alkuasennossa suurempi yläkäden olkanivelen koukistus on yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen. Keskihajonta on noin $\pm 9^\circ$, joten suurista kulmaeroista ei ole kyse. Tämä saattaa selittyä sillä, että paremmilla laukojilla kiekko ei ole yhtä kaukana takana ja/tai vartalo on kallistunut enemmän eteen. Kumpikaan ei tosin korreloinut yksinään kiekkonopeuteen. Kiekon irrotessa yläkäden kyynärpäätä oli paremmilla laukojilla matalammalla. Myös yläkäden olkanivelen loitonnuks oli pienempi. Paremmilla laukojilla yläkäden olkanivelen ulkokierto oli kuitenkin suurempi. Nämä muuttujat viittaavat siihen, että paremmilla laukojilla yläkäden veto taakse kohdistuu enemmän vaakasuoraan kiekon irtoamishetkellä. Lisäksi yläkäden olkanivelen ojennusnopeus oli kiekon irtoamishetkellä suurempi paremmilla laukojilla. Yläkäden olkanivelen maksimaalinen loitonnuks-, lähennys- ja ojennusnopeus olivat yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen. Loitonnuksnopeuden korrelaatio korostaa SSC-syklin tärkeyttä voimantuotossa. Loitonnuks- ja ojennusnopeus viittaavat yläkäden nopeampaan vetoon taakse. Maila voidaan ajatella vipuna, jonka tukipiste on alakäden kohdalla. Yläkäden voimakas veto taakse siis lisää lavan nopeutta. Lisäksi yläkäden olkanivelen sisäkierron maksiminopeus oli yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen. Tämä saattaa liittyä kiekon saattoon. Toisaalta kyse on todennäköisesti hyvän laukauksen ja voimakkaan käden taakse vedon seurauksesta eikä syystä hyvään laukaukseen.

Karkeasti jaoteltuna AY-laukauksessa näkyi kahta eri tyyliä. Jotkut laukoivat kyljittäin maalia kohti, kun osa kääntyi laukauksen aikana tai oli alusta asti vartalo maalia kohti. Tukijalan suuntautumista tarkastelemalla pyrittiin erottelemaan näiden vaikutusta. Korrelaatiota ei löytynyt, mutta alkuvaiheen ylävartalon käynnön laajuuden korrelaatio viittaisi siihen, että kyljittäin lauottu tai rintamasuunta maalia kohti lauottu laukaus eivät ole yhtä tehokkaita kuin käännöstä voimaa hakeva tyyli.

AY-laukauksessa tärkeitä tekijöitä ovat siis matala ja etukumara asento, ylävartalon kääntö maalia kohti ja yläkäden voimakas veto taakse. Tärkeää on saada maila taipumaan runsaasti, jotta mailan elastista energiaa voidaan hyödyntää.

7.2 Rannelaukaus yläkäsi-alakäsi -painonsiirrolla

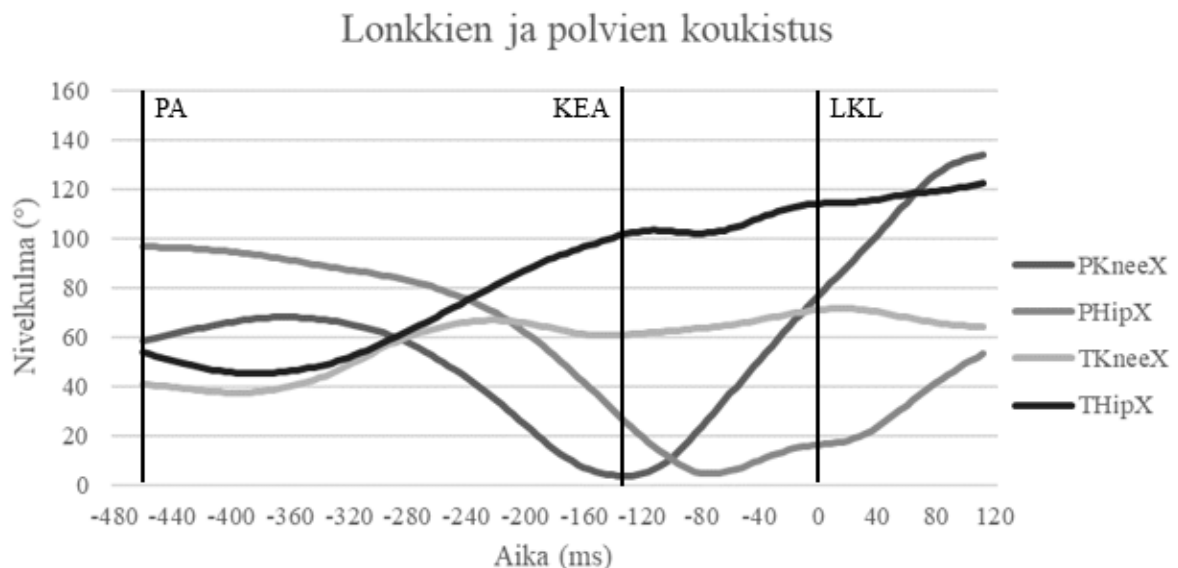
YA-laukauksessa näkyi kolmea eri tyyliä. Osa tutkittavista laukoi siten, että he liukuivat tukijalan päällä potkaiseva jalka ilmassa polvi ja lonkka koukistettuna. Tästä he ojensivat lonkan ja polven potkaisten jalan takaviistoon. Osa laukoi askeleesta/potkusta ikään kuin suoraan luistelusta lauottuna. Kolmas tyyli oli paikaltaan pienellä painon siirrolla jalalta toiselle ilman selkeää nopeutta maalia kohti. Koska tyyli vaihtelivat niin paljon, saattavat korrelaatiot selittää enemmänkin tyylien välisiä eroja kuin paremman laukauksen tekijöitä. Tämän perusteella voidaan kuitenkin eritellä tyyli, johon kannattaa pyrkiä paremman laukauksen saavuttamiseksi.

YA-laukauksessa kiekon nopeuden keskiarvo oli matalampi kuin AY-laukauksessa ($110,9 \pm 9,2$ km/h vs. $114,8 \pm 7,5$ km/h), mutta vaihteluväli oli suurempi. YA-laukauksella saavutettiin suurempi kiekon nopeus kuin AY-laukauksella. Suurempi vaihteluväli viittaa laukauksen haastavuuteen. Tämän seurauksena tutkittavien sarjatasokin korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen YA-laukauksessa. Laukaus lienee teknisesti haastavampi ja toisaalta se saattaa olla monille luontaisempi laukaus suoraan luistelusta lauottuna. Korkeammalla sarjatasolla pelaavat harjoittelevat enemmän jäällä, joten heille tulee enemmän laukauksia suoraan luistelusta. Jos he näissä tilanteissa suosivat YA-laukausta, se kehittyy AY-laukausta enemmän suhteessa alemmalla tasolla pelaaviin.

YA-laukauksessa esi-irrotuksen kesto korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen. Korrelaation perusteella ei voida varmasti selittää, oliko esi-irrotuksella vaikutusta kiekon nopeuteen vai oliko

se vain ominaista pelaajille, jotka tässä tutkimuksessa olivat parempia laukojia. Esi-irrotus ja sen kesto saattavat liittyä mailan taivuttamiseen. Rannelaukauksessa kiekkoa yleensä vedetään vartalon takaa etupuolelle ennen kuin sitä voidaan alkaa työntää maalia kohti. Kiekko saa näin vauhtia, mutta lavan nopeus hidastuu, kun mailaa painetaan voimakkaasti jäähän suuren taipuman saavuttamiseksi. Tässä vaiheessa kiekko irtoaa lavasta. YA-laukauksessa myös taipuman maksimaalinen nopeus korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen. Nämä ilmiöt ovat yhteydessä toisiinsa. Kun maila taipuu nopeasti, lapa myös hidastuu nopeasti, jolloin kiekko irtoaa lavasta.

Potkaisevan jalan lonkka ojentui lähes koko laukauksen ajan, mutta koukistuu hieman lopussa (kuva 18). Potkaiseva polvi ojentui laukauksen alkuvaiheen, mutta loppuvaiheessa se koukistui. Alkuvaiheen aikana ojennuksesta saadaan voimaa laukaukseen, mutta loppuvaiheen polven voimakas ja lonkan vähäinen koukistus liittynevät asennon tasapainottamiseen. Tukijalan lonkka ja polvi koukistuivat laukauksen aikana. Tämä on loogista, kun painoa yritetään saada mailalle. Toisaalta askeleella laukoneilla jalka tuodaan takaa eteen, jolloin lonkka on vasta koukistumassa PA:ssa. Tämä osaltaan korosti lonkan koukistusta laukauksen alkuvaiheessa. Välillä KEA/TA-LKL tukijalan lonkan koukistuksen keskiarvo ei muuttunut.



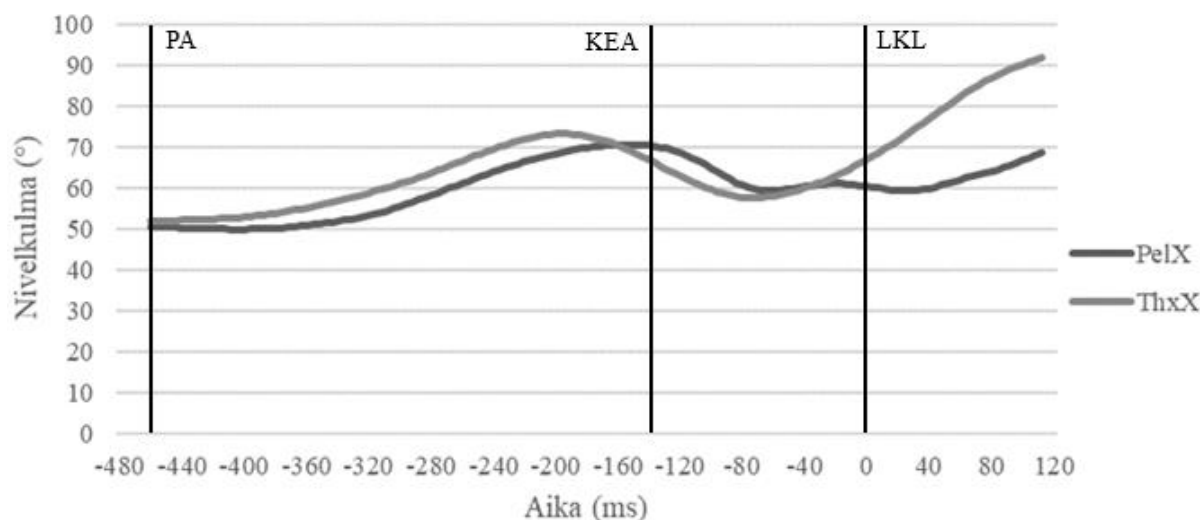
KUVA 18. Molempien polvien ja lonkkien koukistus. Kuvassa tutkimuksen parhaan laukojan käyrät, jotka saattavat poiketa tutkimuksen keskiarvoista. PA = -460 ms, KEA = -132 ms, LKL = 0 ms. PKneeX = potkaisevan polven koukistus, PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, TKneeX = tukijalan polven koukistus, THipX = tukijalan lonkan koukistus.

Alkuasennossa potkaisevan lonkan koukistus korreloi positiivisesti kiekon nopeuden kanssa. Voiman tuoton alkaessa potkaisevan polven ojennus ja tukijalan polven koukistus olivat yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen. Kiekon irrotessa tukijalan polven ja lonkan koukistukset korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen. Paremmilla laukojilla tukijalan lonkan maksimaalinen koukistus oli suurempi. Välillä PA-KEA/TA paremmilla laukojilla oli suurempi potkaisevan jalan lonkan ja polven ojennuksen liikelaajuus. Välillä KEA/TA-LKL potkaisevan polven ja tukijalan lonkan koukistuksien liikelaajuudet korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen. Potkaisevan jalan polven koukistuksen ja lonkan ojennuksen maksiminopeudet olivat yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen. Nämä tasapainottavat vastaliikkeellään käsien ja mailan liikkeitä. Lisäksi paremmilla laukojilla oli suurempi potkaisevan lonkan loitonnuksen laajuus välillä KEA/TA-LKL, mikä liittyy myös asennon tasapainotukseen ja vartalon kiertoihin.

Lantio ja ylävartalo olivat koko laukauksen ajan kallistuneet eteen eikä niiden kallistuksessa tapahtunut juurikaan muutoksia laukauksen vaiheesta toiseen. Vaiheiden välillä on ollut pientä vaihtelua kallistusten vaihteluvälin perusteella, mutta mitään selkeää trendiä ei voida tulkita, kun tarkasteluhetkien välinen ero on pieni (kuva 19). Paremmilla laukojilla oli koko laukauksen ajan etukumarampi asento, sillä lantion kallistus korreloi positiivisesti kaikissa tarkasteluhetkissä ja ylävartalon kallistus korreloi positiivisesti KEA/TA:ssa ja LKL:ssä kiekon nopeuteen ja molempien maksimi- ja minimiarvot korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen.

Kuten jo AY-laukauksen kohdalla todettiin, paremmat laukojat saavat mailan taipumaan rannelaukauksissa enemmän (Wu ym. 2003; Hannon ym. 2011) ja mailan jäykkyyden vähentäminen vaikuttaa hyödylliseltä kiekon nopeuden kannalta (Worobets ym. 2006). Nämä laukaukset on kuitenkin suoritettu AY-tekniikalla, mikä vaikuttaa vertailtavuuteen. Tämän tutkimuksen havainto positiivisesta korrelaatiosta mailan taipuman ja kiekon nopeuden välillä on linjassa kirjallisuuden kanssa. Matalampi ja etukumarampi asento auttaa mailan painamisessa sen taivuttamiseksi. Lisäksi askeleella laukovat tulevat ilmasta mailan päälle. Analyysiä tehtäessä havaittiin, että tukijalka oli useilla tutkittavilla vielä ilmassa, kun maila oli jo alkanut taipua. Tämä tehostaa mailan taipumista.

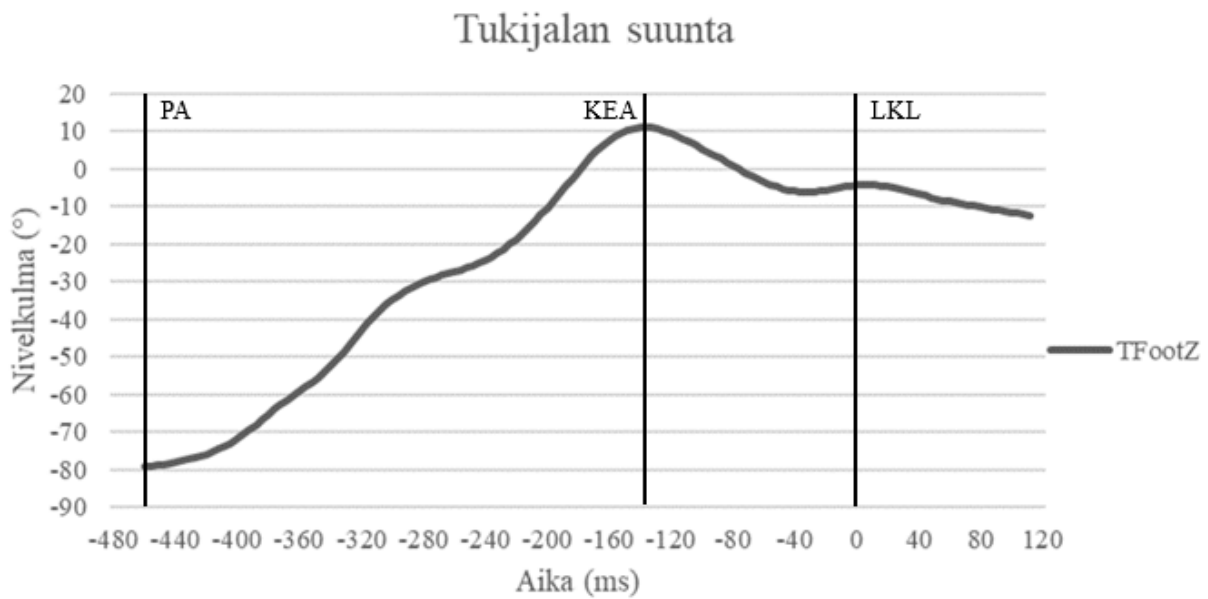
Lantion ja ylävartalon etukallistus



KUVA 19. Lantion ja ylävartalon kallistus eteen. Kuvassa tutkimuksen parhaan laukojan käyrrät, jotka saattavat poiketa tutkimuksen keskiarvoista. PA = -460 ms, KEA = -132 ms, LKL = 0 ms. PelX = lantion etukallistus, ThxX = ylävartalon etukallistus.

Tukijalan suunnan suuri kulma potkun alussa johtunee siitä, että osa pelaajista otti yhden risti- askeleen ennen laukausta. Tällöin PA:ssa tukijalka on tulossa takaa eteen ja on askeleen jäljiltä ulkokierrossa suhteessa laukaisulinjaan. Tämä aiheuttaa myös suuren vaihteluvälin hetkellä PA. Tällä tyylillä laukovilla tukijalka oli lähes laukaisulinjan suuntainen jalan osuessa jäähän – jopa sisäkierrossa (kuva 20). Laukauksen loppuvaiheessa jalka kiertyy hieman kauemmas laukaisulinjasta, mikä lienee vastaliike ylävartalon ja käsien liikkeelle. Tukijalan suunta suhteessa laukaisulinjaan hetkellä KEA/TA ja LKL korreloi voimakkaasti kiekon nopeuteen ($r = .829^{***}$, $p < .001$; $r = .723^{**}$, $p = .003$).

Lantiossa ja ylävartalossa oli sivukallistusta ja kiertoa alakäden puolelle. Molempien sivukallistus palautui laukauksen aikana kohti laukaisulinjaa. Ylävartalon sivukallistus oli lantiota suurempi ja se muuttui vähemmän laukauksen aikana. Sekä lantio että ylävartalo olivat kiertyneet alkuasennossa lähes yhtä paljon alakäden puolelle ja kiekon irrotessa ne olivat kiertyneet lähes yhtä paljon yläkäden puolelle. KEA/TA:ssa lantio oli jo kiertynyt yläkäden puolelle, kun ylävartalon kierto oli vielä alakäden puolella. Lantio siis kiertyi aikaisemmin sekvenssimallin mukaisesti (Lindsay ym. 2008; Tinmark ym. 2010).



KUVA 20. Tukijalan suunta suhteessa laukaisulinjaan. Kuvassa tutkimuksen parhaan laukojan käyrä, joka saattaa poiketa tutkimuksen keskiarvosta. PA = -460 ms, KEA = -132 ms, LKL = 0 ms. TFootZ = tukijalan ja laboratorion sagittaaliakselin välinen kulma (sisäkierto positiivinen).

Alkuasennossa lantion ja ylävartalon sivukallistus ja kierto eivät korreloineet kiekon nopeuteen. Voimantuoton alkaessa paremmilla laukojilla lantion sivukallistus oli pienempi eli lantion suunta oli enemmän maalia kohti. Vartalon sivukallistus eli lantion ja ylävartalon välinen kulma oli suurempi. Lisäksi ylävartalon kierto oli pienempi eli paremmilla laukojilla ylävartalo oli jo ehtinyt kiertyä enemmän yläkäden suuntaan. Kiekon irrotessa lantion ja ylävartalon sivukallistus ja kierto korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen eli paremmilla laukojilla lantio ja ylävartalo olivat lähempänä laukaisulinjaa ja molemmat olivat kiertyneet enemmän yläkäden puolelle. Lantion kierron osalta myös maksimiarvo oli yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen. Muutoksen suuruus välillä PA-KEA/TA korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen lantion sivukallistuksessa, vartalon sivukallistuksessa ja ylävartalon kierrossa. Vartalon sivukallistuksen muutos korreloi negatiivisesti kiekon nopeuteen välillä KEA/TA-LKL ja ylävartalon sivukallistuksen muutos positiivisesti.

Paremmat laukojat siis kääntävät lantiota enemmän kohti maalia jo ennen voimantuottoa mailaan. Samalla he pitävät ylävartalon käytännössä samassa asennossa, jolloin vartalon sivukallistus kasvaa. Voimantuoton alusta kiekon irtoamiseen vartalon sivukallistus pienenee paremmilla laukojilla enemmän. Kyseessä on siis venymislyhenemissyklin hyödyntäminen, jonka paremmat laukojat tekevät laajemmalla liikelaajuudella. Tätä voidaan verrata esimerkiksi golfissa

esiteltyyn x-factoriin, jossa paremmat lyöjät kiertävät hartia- ja lantiolinjan kauemmas toisistaan synnyttäen keskivartaloon SSC-syklin (Lindsay ym. 2008; Chu, Sell & Lephart 2010). Sivukallistusten osalta ei voi puhua x-factorista, mutta YA-laukauksen ja golflyönnin rintama-suunnan sekä lantion ja ylävartalon etukallistusten erojen vuoksi kyse on samankaltaisesta ilmiöstä. Paremmat laukojat hyödyntävät myös lantion ja ylävartalon kiertoa paremmin ennen kiekon irtoamista ja lantion osalta myös kierron maksimi-arvo korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen. Lantion kiertoa tehostetaan tukijalan lonkan loitonnuksella. Kun tukijalka on jäässä, lonkan loitonnuksella kiertää lantiota yläkäden suuntaan. Paremmilla laukojilla lonkan loitonnuksen maksiminopeus onkin suurempi.

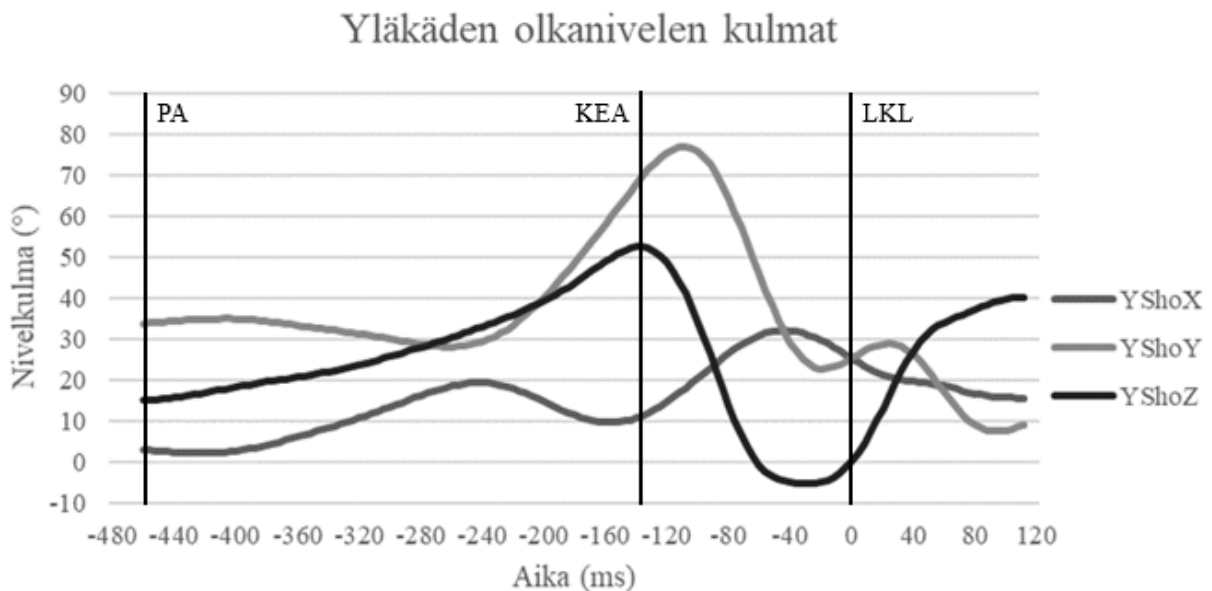
Vaikka maahockeyyn vetolaukauksessa lantion ja ylävartalon kierron/käännön kulmanopeudet ovat olleet yhteydessä parempaan laukaukseen (de Subijana ym. 2010; Ibrahim ym. 2016), tässä tutkimuksessa niiden ei havaittu korreloivan kiekon nopeuteen. YA-laukauksessa tukijalka on vastakkainen kuin maahockeyyn vetolaukauksessa, mikä saattaa aiheuttaa eroja keskivartalon voimantuotolle. Golfissa taas keskivartalon liikelaajuudet ovat huomattavasti suuremmat ja vartalon suunta suhteessa lyönnin suuntaan erilainen, joten golfissa havaittuja x-factorin laajuuden ja nopeuden eroja eri tasoisten lyöjien välillä (Chu ym. 2010; Lindsay ym. 2008) ei voi täysin verrata YA-laukaukseen.

Tukijalan suuntautuminen sekä lantion sivukallistus KEA/TA:ssa ja LKL:ssä ja ylävartalon sivukallistus LKL:ssä voidaan tulkita niin, että laukaus tulisi pyrkiä suorittamaan linjaukset mahdollisimman hyvin maalia kohti. Toki lantion ja ylävartalon tulee olla kääntyneenä sivulle laukauksen alkuvaiheessa, jotta keskivartalosta saadaan voimaa laukaukseen. Maalia kohti suuntautuvia linjauksia tukevat myös positiiviset korrelaatiot kiekon nopeuden ja molempien lonkkien lähennyksen välillä hetkellä KEA/TA. Potkaiseva jalka on siis mahdollisimman suoraan takana ja tukijalka vartalon alla. Lisäksi maalia kohti suuntautuva massakeskipisteen lineaari-nopeus korreloi kiekon nopeuteen koko laukauksen ajan (korrelaatio negatiivinen, koska nopeuden arvot negatiivisia laboratorion koordinaatistossa).

Lantion, vartalon tai ylävartalon kulmanopeudet eivät korreloineet kiekon nopeuteen, kuten muiden lajien vastaavissa suorituksissa (Chu ym. 2010; de Subijana ym. 2010; Ibrahim ym. 2016; Lindsay ym. 2008), mutta niiden orientaatiot korreloivat useissa eri vaiheissa laukausta. Muutenkin vartalon linjaukset ja liikkeet olivat paremmilla laukojilla enemmän laukaisulinjan

suuntaisia. Voidaankin siis päätellä, että paremmat laukojat suuntasivat voimantuottonsa ja saavuttamansa kulmanopeudet paremmin.

Alakäden kyynärnivel koukistui laukauksen alkuvaiheessa, kun kiekkoa vedettiin takaa eteen ja ojentui, kun kiekkoa työnnettiin kohti maalia. Yläkäden kyynärnivel koukistui laukauksen loppuvaiheen aikana, kun yläkättä vedettiin taakse. Yläkäden olkanivel käyttäytyi samankaltaisesti kuin AY-laukauksessa. Olkanivel koukistui samalla, kun se loitontui (kuva 21). Nämä molemmat liikkeet aloittavat SSC-syklin, jossa vedetään yläkättä taakse. Myös yläkäden olkanivelen sisäkierto lisääntyy, kunnes alkaa nopeampi ulkokierto.



KUVA 21. Yläkäden olkanivelen koukistus-ojennus, loitonnuksen lähennys sekä rotaatio. Kuvassa tutkimuksen parhaan laukojan käyrät, jotka saattavat poiketa tutkimuksen keskiarvoista. PA = -460 ms, KEA = -132 ms, LKL = 0 ms. YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus (pos.), YShoY = yläkäden olkanivelen loitonnuksen lähennys (pos.), YShoZ = yläkäden olkanivelen sisäkierto (pos.).

Yläkäden olkanivelen koukistus ja loitonnuksen lähennys olivat paremmilla laukojilla suuremmat voimantuoton alkaessa. Olkanivelen koukistus oli edelleen paremmilla laukojilla suurempi kiekon irrotessa, mutta ojennuksen nopeus oli myös samalla hetkellä suurempi. Paremmat laukojat vaikuttaisivatkin hakevan voimaa ojennukseen pidemmällä venymislyhenemissyklillä. Toisaalta paremmilla laukojilla olkanivel ei missään vaiheessa ojennusta yhtä paljoa. Erot olkanivelen ojennus-koukistuksessa saattavat johtua ylävartalon etukallistuksen eroista. Tämä ei kuitenkaan

poista suurempaa ojennusnopeutta kiekon irtoamishetkellä. Yläkäden olkanivelen maksimaalinen loitonnuksen korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen samoin kuin loitonnuksen laajuus välillä PA-KEA/TA ja lähennyksen laajuus välillä KEA/TA-LKL ja loitonnuksen lähennyksen vaihteluväli ($r = .846^{***}$, $p < .001$) koko laukauksen aikana. Kun myös loitonnuksen maksimaalinen nopeus ja lähennyksen maksimaalinen nopeus olivat yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen, voidaan todeta, että paremmat laukojat vetävät yläkättä voimakkaammin taakse ja hyödyntävät venymislyhenemissykliä paremmin. Kuten AY-laukauksessa, myös YA-laukauksessa olkanivelen sisäkierron maksiminopeus korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen. On todennäköistä, ettei tämä enää vaikuttanut kiekon nopeuteen, vaan oli seurausta käden nopeasta vedosta taakse.

Olkanivelten kinematiikan ei ole havaittu vaikuttavan pallon nopeuteen maahockeyyn vetolaukauksessa (Ibrahim ym. 2016). Kyseisessä laukauksessa tehdään kuitenkin pyörähtävämpi liike tukijalan ympäri kuin jääkiekon rannelaukauksessa. Voikin olla, että maahockeyssä olka- ja kyynärnivelen liikkeet säätelevät pallon rataa, jotta se olisi mahdollisimman lineaarinen (Ibrahim ym. 2016). Jääkiekossa vartalon liike on lineaarisempi kohti maalia, jolloin olkanivelen liikkeitä voidaan käyttää enemmän voimantuottoon.

YA-laukaus erosi AY-laukauksesta erityisesti keskivartalon liikkeiden osalta. YA-laukauksessa lantio ja ylävartalo eivät olleet kallistuneet ja kiertyneet yhtä paljoa alakäden puolelle. Tämä lienee johtunut tukijalan puolesta – AY:ssä tukijalka on yläkäden puolella ja YA:ssa alakäden puolella. YA:ssa lantio ja ylävartalo eivät alkuasennossa päässeet luonnollisesti kallistumaan ja kiertymään yhtä paljoa. Toisaalta laukauksen loppuvaiheessa ne pääsivät kallistumaan ja kiertymään enemmän, kun tukijalka ei rajoittanut liikettä, kuten AY-laukauksessa. Lantion ja ylävartalon osalta YA-laukauksessa löytyikin AY-laukausta enemmän korrelaatioita kiekon nopeuteen. YA-laukauksessa vartalon eri osien linjaukset suhteessa laukaisulinjaan olivat tärkeämpiä kuin AY-laukauksessa. Tämän tutkimuksen perusteella nämä linjaukset korreloivat kiekon nopeuteen, mutta pelitilanteessa ne auttavat myös jatkamaan luistelua laukauksen perään, mikä sujuvoittaa peliä. Voidaan ajatella, että tästä olisi hyötyä pelitilanteessa suoritetussa AY-laukauksessa, vaikka se ei kiekon nopeuteen vaikuttaisikaan.

YA-laukaus oli ainut laukaus, jossa Hockey Basen laukaisuvalmennuksessa olleet pelaajat laukoivat merkitsevästi paremmin kuin muualta rekrytoidut tutkittavat (116,7 vs. 106,5 km/h, $p = .029$). Koska muissa laukaisutyypeissä ei ollut merkitsevää eroa (AY: 117,2 vs. 112,7 km/h, p

= .321; L: 135,9 vs. 131,1 km/h, $p = .463$) ja pelaajien sarjatasot eivät eronneet merkitsevästi ryhmien välillä ($p = .481$), voidaan todeta, että Hockey Base on onnistunut YA-laukauksen kehittämisessä. Hockey Basen pelaajat laukoivat askeleella, mikä saattaa korostaa tämän tyylin vaikutusta korrelaatioissa, mutta toisaalta tämä oli tutkimuksen perusteella paras tyyli suorittaa YA-laukaus.

YA-laukauksessa tärkeitä tekijöitä olivat siis matala ja etukumara asento, vartalon eri osien linjaus kohti maalia ja yläkäden voimakas veto taakse. Paremmat laukojat hyödynsivät venymislyhenemissykliä paremmin keskivartalon ja yläraajojen voimantuotossa. Laukauksessa oli tärkeää saada maila taipumaan runsaasti, jotta mailan elastista energiaa voitiin hyödyntää. Tämän tutkimuksen perusteella askeleella lauottu tyyli oli paras tapa toteuttaa YA-laukaus.

7.3 Lyöntilaukaus

Lyöntilaukauksessa oli tämän tutkimuksen suurin vaihteluväli kiekon nopeudessa (118.0 – 153.5 km/h). Tutkittavien sarjataso korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen. Näistä voidaan päätellä, että lyöntilaukaus on teknisesti vaikea laukaus. Laukauksen teknistä haastavuutta tukee havainto, että lyöntilaukauksessa ainut hyvin merkitsevä korrelaatio ($p < .01$) oli penkkipunnerruksen tehon ja kiekon nopeuden välillä ($r = .713^{**}$, $p = .009$, $n = 12$). Toisaalta voimaominaisuuksien merkitys voi olla suuri, kun lavan ja kiekon kontakti on rannelaukausta lyhyempi.

Laukauksen alkuvaiheessa (PA-LJA) potkaiseva lonkka ojentui voimakkaasti. Lisäksi potkaiseva polvi ojentui, muttei yhtä suurella liikelaajuudella kuin lonkka. Voimantuoton alun ja kiekon irtoamisen välillä lonkka ojentui vielä hieman ojentuen lähes suoraksi. Polvi koukistui tässä vaiheessa laukausta. Tästä voidaan päätellä, että laukauksen voimantuottoon käytettiin lonkan ojennusta selvästi polven ojennusta enemmän. Kyseessä lienee osin sama ilmiö kuin AY-laukauksessa – massakeskipistettä halutaan alas ja eteen, kun polven voimakas ojennus nostaisi massakeskipistettä. Massakeskipisteen lasku näkyi tukijalan lonkan koukistumisena laukauksen aikana, erityisesti laukauksen alkuvaiheessa. Tukijalan polvessa ei ollut suuria liikelaajuuksia laukauksen aikana.

Potkaisevan lonkan koukistus korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen tarkasteluhetkien LJA ja LKL sekä minimiarvon osalta. Paremmat laukojat eivät siis ojentaneet potkaisevaa lonkkaa yhtä paljoa laukauksen aikana. Tämä liittyyneen asennon tasapainottamiseen. Potkaisevan lonkan suurempi loitonnoisuusnopeus PA:ssa oli yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen. Paremmilla laukoilla oli siis suurempi loitonnoisuusnopeus siinä vaiheessa, kun lonkka alkoi ojentua. Voikin olla, että paremmat laukojat hyödynsivät lonkan loitonnoitusta tehokkaammin, jolloin niin laajaa ojennusta ei tarvinnut tai voitu suorittaa.

Lantio ja ylävartalo olivat kallistuneet voimakkaasti eteen koko laukauksen ajan. Tarkasteluhetkien välillä ei ollut juurikaan vaihtelua. Ylävartalo oli kiertynyt alakäden puolelle suhteessa lantioon ja molemmat kiertyivät voimakkaasti yläkäden suuntaan laukauksen aikana. Molemmat myös kääntyivät (sivukallistus) hieman yläkäden suuntaan laukauksen aikana. Lantion kierto ja kääntö ajoittuivat laukauksen alkuvaiheeseen, kun ylävartalo kääntyi ja kiertyi vielä välillä LJA-LKL. Tukijalka kääntyi laukauksen aikana alkuasennosta alakäden suuntaan, mikä lienee tapahtunut vastaliikkeenä voimakkaalle kierrolle keskivartalosta.

Matalaan ja etukumaraan asentoon liittyvät muuttujat eivät korreloineet kiekon nopeuteen lyöntilaukauksessa kuten molemmissa rannelaukauksissa. Asento oli kuitenkin keskimäärin matalampi ja etukumarampi kuin rannelaukauksissa, joten matalaa ja etukumaraa asentoa voitaneen pitää tärkeänä tekijänä myös lyöntilaukauksessa. Tähän viittaa myös rannelaukauksia suurempi mailan taipuma, joka korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen. Taipuman korrelaatio ei kuitenkaan ollut yhtä merkitsevä kuin rannelaukauksissa.

Mailan taipumasta ja jäykkyydestä onkin hieman ristiriitaista tietoa lyöntilaukauksen osalta. Toisaalta vähemmän jäykän mailan on havaittu lisäävän kiekon nopeutta (Kays & Smith 2017; Pearsall ym. 1999), mutta osassa tutkimuksista merkitsevää eroa ei ole havaittu (Hannon ym. 2011; Gilenstam ym. 2009; Wu ym. 2003). Vaikka mailojen jäykkyydellä ei olisi havaittu merkitsevää vaikutusta kiekon nopeuteen, on havaittu, että paremmat laukojat saavat mailan taipumaan enemmän (Hannon ym. 2011; Wu ym. 2003). Tässä tutkimuksessa havaittu positiivinen korrelaatio kiekon nopeuden ja mailan taipuman välillä on siis linjassa kirjallisuuden kanssa.

Golfissa, jonka lyönti on jääkiekon lyöntilaukauksen kaltainen, paremmilla lyöjillä on havaittu suurempi ylävartalon kierto taakse ja x-factor alkuasennossa, suurempi ylävartalon kiertonopeus kiihdytysvaiheessa ja suurempi vartalon kierto mailan osuessa palloon (Chu ym. 2010; Lindsay ym. 2008). Lyöntilaukauksessa ei kuitenkaan havaittu suurempaa x-factoria eli vartalon kiertoa paremmilla laukojilla alkuasennossa. Lantion, vartalon tai ylävartalon kiertonopeudet eivät korreloineet kiekon nopeuteen. Myöskään sivukallistuksen nopeudet eivät korreloineet kiekon nopeuteen eivätkä kierron tai sivukallistuksen liikelaajuudet tai muutokset laukauksen eri vaiheiden välillä. Tämä on hieman yllättävää, jos tuloksia verrataan golfiin, jossa erityisesti x-factorin suuruus ja kiertonopeudet ovat pallon nopeutta selittäviä tekijöitä. Koska lantion ja ylävartalon datan kanssa oli ongelmia, hetkittäisistä orientaatioista ei saada korrelaatioita. On mahdollista, että näissä olisi ollut laukauksen kannalta tärkeitä tekijöitä.

Alakäden kyynärpäähän koukistus oli noin 50 astetta alkuasennossa. Se koukistui hieman alatuonnin aikana ja ojentui loppu laukauksen ajan. Yläkäden kyynärnivel koukistui laukauksen alkuvaiheen aikana, muttei enää juurikaan loppuvaiheessa. Alkuasennossa maila vietiin korkealle päähän taakse ja hartialinjan yli. Tällöin yläkäden olkanivel oli voimakkaassa koukistuksessa ja lähennyksessä, kun yläkättä kurkotettiin mailan mukana korkealle vartalon editse. Tämä lieene aiheuttanut Gimbalin lukon ja/tai Codmanin paradoksin ja näin datan epäluonnolliset arvot osalle tutkittavista. Yläkäden kyynärnivel koukistuu, kun yläkäsi tuodaan vartalon editse sivulle. Yläkäden olkanivelestä saatiin luotettavaa dataa välillä LJA-LKL ja tällöin olkanivel ojentui ja lähentyi sekä kiertyi hieman ulkokiertoon. Loitonuus-lähennyksen kulmat ovat samankaltaiset kuin molemmissa rannelaukauksissa. Yläkäden olkanivel on sekä LJA:ssa että LKL:ssä ojentuneempi kuin rannelaukauksissa vastaavassa vaiheessa. Rotaatio on LJA:ssa pienempi kuin rannelaukauksissa KEA/TA:ssa ja rotaation muutos välillä LJA-LKL on pienempi kuin rannelaukauksissa välillä KEA/TA-LKL.

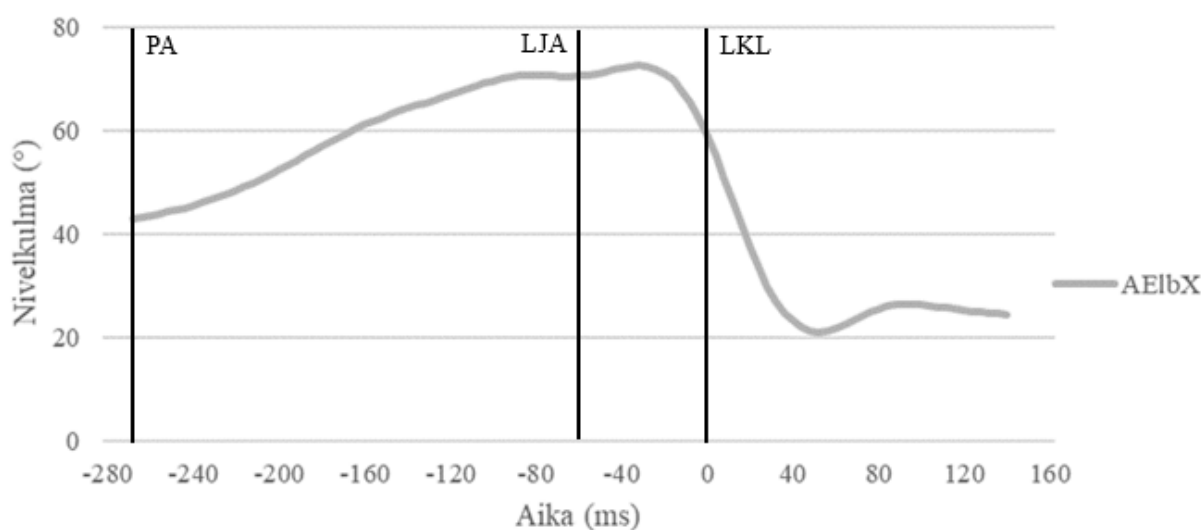
Yläkäden olkanivelestä saaduista arvoista mikään ei korreloinut kiekon nopeuteen. Rannelaukauksien perusteella voitaisiin olettaa, että maksimaalisissa kulmanopeuksissa olisi korrelaatioita kiekon nopeuteen. Rannelaukausten perusteella olisi myös odotettavissa, että kiekon irro- tessa edes jokin kulma tai kulmanopeus korreloisi kiekon nopeuteen. Näin ei kuitenkaan ole. Joko olkanivelen liikkeet eivät ole lyöntilaukauksessa yhtä tärkeitä ennen kiekon irtoamista tai erot tulisivat maksimiarvoissa, joita ei nyt ollut käytettävissä.

Alkuasennossa käsien korkeus suhteessa olkapäähän korreloi kiekon nopeuteen. Lisäksi alakäden maksimikorkeus suhteessa olkapäähän korreloi kiekon nopeuteen. Kun myös pelaajan pituus korreloi kiekon nopeuteen, voidaan ajatella, että pituus vaikuttaa myös käden korkeuteen. Sekä korkeuden arvoista että keskihajonnoista (hetkellä PA: $dASFZ = -42,2 \pm 13,5$ cm ja $dYSFZ = 1,1 \pm 13,7$ cm) voidaan kuitenkin päätellä, että yläraajan pituus ei ole ollut ratkaiseva tekijä näiden muuttujien osalta. Paremmat laukojat siis nostavat molemmat kätensä ylemmäs suhteessa omiin olkapäihinsä. Videoita tarkastelemalla vaikuttaisi siltä, että heikommin lauko-neet nostivat mailan enemmän vartalon taakse, kun paremmat laukojat nostivat mailan ylemmäs alakäden olkapään yläpuolelle. Paremmilla laukojilla mailan rata olisikin näin lineaarisempi suhteessa laukaisulinjaan, mikä saattaa helpottaa voiman suuntaamista oikein. Mailan tai käsien paikkaa sivusuunnassa ei kuitenkaan tarkasteltu, joten tämä jää vain subjektiiviseksi havain-noksi. On kuitenkin selvää, että maila tulisi nostaa mahdollisimman kohtisuoraan ylös, jos kä-sien korkeus suhteessa olkapäihin korreloi kiekon nopeuteen. Mailan nostaminen ylemmäs saattaa olla yhteydessä suurempaan kiertoon rintarangasta. Tällöin kyse olisi teoriassa suurem-masta x-factorista alkuasennossa, jossa ei tässä tutkimuksessa havaittu korrelaatiota kiekon no-peuteen, mutta josta voisi tällä tavoin kuitenkin olla etua paremmille laukojille.

Alakäden kyynärpään koukistuksen maksimiarvo ja koukistuksen maksiminopeus korreloivat negatiivisesti kiekon nopeuteen. Lisäksi alakäden kyynärpään koukistus-ojennuksen liikelaa-juus korreloi negatiivisesti kiekon nopeuteen. Alakäden kyynärpää koukistui alas tuonnin ai-kana ja alkoi ojentua pian lavan jääkontaktin jälkeen (kuva 22). Kyse ei siis ole siitä, että ala-käden voimantuoton heikkous saisi kyynärnivelen koukistumaan lavan osuessa jäähän ja kiek-koon, vaan kyynärnivel koukistui heikommilla laukojilla alas tuonnin aikana. Paremmat lauko-jat siis pitävät alakäden kyynärpään suurempana ja jäykempänä laukauksen ajan.

Tämän tutkimuksen perusteella tärkeimmät tekijät hyvässä lyöntilaukauksessa olivat käsien nostaminen mahdollisimman ylös ja alakäden kyynärpään pitäminen mahdollisimman suorana ja jäykkänä. Tässä tutkimuksessa ei pystytty tarkastelemaan lantion, vartalon ja ylävartalon kul-mia ja kulmanopeuksia kuin osittain. Kirjallisuuden perusteella voidaan olettaa, että nämä te-kijät saattaisivat olla tärkeitä lyöntilaukauksen kannalta. Rannelaukauksien perusteella voidaan olettaa, että yläkäden olkanivelen liikkeet ja yläkäden veto taakse ovat ainakin osittain tärkeitä tekijöitä myös lyöntilaukauksessa, mutta tässä tutkimuksessa niitä ei voitu tarkastella.

Alakäden kyynärnivelen koukistus



KUVA 22. Alakäden kyynärnivelen koukistus. Kuvassa tutkimuksen heikoimman laukoajan käyrä, jota saattaa poiketa tutkimuksen keskiarvosta. PA = -268 ms, LJA = -60 ms, LKL = 0 ms. AElbX = alakäden kyynärnivelen koukistus.

7.4 Voimaominaisuudet

Yläraajojen voimantuotto oli tärkeä kaikissa laukaisutyypeissä. Erityisesti teho-ominaisuudet korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen. Alaraajojen voimaominaisuudet eivät korreloineet kiekon nopeuteen missään laukaisutyypissä.

AY-laukauksessa leuanvedon teho, molempien käsien puristusvoimat ja keskivartalon voima kumpaankin liikesuuntaan korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen. Rannelaukauksessa yläkäden veto taakse on olennainen vaihe, jossa tarvitaan samoja lihasryhmiä kuin leuanvedossa. Leuanvedon maksimitulos ei silti korreloinut kiekon nopeuteen. Maksimivoimasta on kuitenkin hyötyä tehon tuoton kannalta, joten senkin harjoittaminen on tärkeää. Penkkipunnerrustestit eivät korreloineet kiekon nopeuteen AY-laukauksessa. Vaikuttaisikin siltä, että AY-laukauksessa mailan voi saada taipumaan ilman yhtä voimakasta työntöliikettä verrattuna YA- ja lyöntilaukaukseen. Puristusvoiman positiiviset korrelaatiot viittaavat kyynärvarren lihasten voimantuoton tärkeyteen kuten nimitys rannelaukaus antaa ymmärtää. Tässä laukaisutyypissä myös vartalon koukistuksen ja ojennuksen maksimivoima korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen. Kiekon irrotessa vartalon koukistuksen nopeus korreloi positiivisesti kiekon nopeuteen. Tämä

selittänee keskivartalon voimantuoton tärkeyttä. Myös kiertoon ja sivukallistukseen vaikuttavien vinojen vatsalihasten voimantuotto lienee tärkeää voiman välittämisessä sekvenssimallin mukaisesti, mutta niitä ei testattu eristetyksi.

YA-laukauksessa leuanvedon teho, penkkipunnerruksen teho 50 % 1RM kuormalla ja vasemman käden puristusvoima korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen. YA-laukauksessa paino tulee AY-laukausta ylempää ja voimakkaammin mailan päälle, koska suuri osa laukoi YA-laukauksen askeleella. Tämä lienee syynä penkkipunnerruksen tehon positiiviselle korrelaatiolle, jota AY-laukauksessa ei havaittu. Myös muilla tyyleillä laukovat painavat mailaa enemmän käsillä, koska maila taipui YA-laukausta enemmän ja kiekkoa ei vedetä niin takaa laukauksen alussa. Yläkäden veto taakse ja leuanvedon teho ovat tässäkin laukaisutyypissä yhteydessä toisiinsa. Vasemman käden puristusvoima voidaan tulkita alakäden puristusvoimaksi, sillä vain kolme tutkittavaa laukoi oikealta puolelta ja neljätoista vasemmalta. Tässä laukauksessa keskivartalon voima ei korreloinut kiekon nopeuteen. Lantion, vartalon ja ylävartalon liikkeistä löytyi useita korrelaatioita, minkä perusteella voidaan olettaa, että erityisesti vinojen vatsalihasten toiminta on tärkeä laukauksen kannalta. Tätä ei kuitenkaan testattu eristetyksi.

Penkkipunnerruksen nopeus- ja maksimivoiman on havaittu olevan yhteydessä kiekon nopeuteen rannelaukauksissa. Puristusvoimasta on hieman ristiriitaisia tuloksia. (Bezák & Pridal 2017, Wu ym. 2003.) Kirjallisuuden perusteella onkin hieman yllättävää, että penkkipunnerrustestit eivät korreloineet kiekon nopeuteen AY-laukauksessa. Tässä tutkimuksessa penkkipunnerruksen tehotestien kuormat suhteutettiin maksimitulokseen, kun aiemmissa tutkimuksissa on käytetty vakio kuormia kaikille. Siitä huolimatta sekä pelaajan koko että penkkipunnerruksen teho korreloivat kiekon nopeuteen YA-laukauksessa. Jos tässäkin tutkimuksessa olisi käytetty vakio kuormia, penkkipunnerruksen tehotestit olisivat todennäköisesti korreloineet kiekon nopeuteen myös AY-laukauksessa.

Lyöntilaukauksessa kaikki penkkipunnerrustestit, vasemman käden puristusvoima ja leuanvedon 1RM kokonaisuudessa korreloivat positiivisesti kiekon nopeuteen. Lyöntilaukauksessa maila isketään jähän ja erikseen vielä kiekkoon, joten alakäden työntäviltä lihaksilta vaaditaan voimaa raajan asennon ylläpitämiseksi. Myös alakäden puristusvoima on tärkeä, jotta lavan asento ei pääse iskujen voimasta kääntymään liiaksi. Leuanvedon teho ei korreloinut kiekon nopeuteen kuten rannelaukauksissa, mutta maksimivoima korreloi. Yläkäden veto taakse vaatii voimaa,

kun maila iskeytyy jäähän ja se pitää saada taipumaan. Keskivartalon voimatestit eivät korreloineet kiekon nopeuteen. Koska ylävartalon kierron liikelaajuus on niin suuri lyöntilaukauksessa ja x-factorin suuruuden ja vartalon kiertonopeuden on havaittu olevan yhteydessä parempaan golflyöntiin (Chu ym. 2010; Lindsay ym. 2008), voidaan vinojen vatsalihasten voimantuoton olettaa olevan tärkeä osa lyöntilaukausta.

Penkkipunnerruksen tehon on havaittu olevan yhteydessä suurempaan kiekon nopeuteen lyöntilaukauksissa (Bezak & Pridal 2017). Penkkipunnerruksen maksimivoiman ja puristusvoiman osalta tulokset ovat ristiriitaisia (Bezak & Pridal 2017; Wu ym. 2003). Tämä tutkimus tukee näkemystä penkkipunnerruksen maksimivoimankin tärkeydestä.

Myös muissa lajeissa ylävartalon työntävien lihasten nopeus- ja maksimivoiman on havaittu olevan yhteydessä suurempaan pelivälineen nopeuteen (Marques ym. 2007; Miyaguchi & Demura 2012). Tämän tutkimuksen ja kirjallisuuden perusteella voidaan sanoa, että ylävartalon voimaominaisuudet ovat tärkeitä tekijöitä hyvään laukaukseen. Myös keskivartalon kiertovoi-
masta lienee hyötyä, mutta sitä ei ole tutkittu. Alaraajojen voimantuotto ei korreloi kiekon nopeuteen, mutta on jääkiekkoilijalle muuten tärkeää.

7.5 Ei-korreloineet muuttujat

Tässä alaluvussa käsitellään muuttujia, jotka eivät korreloineet kiekon nopeuteen, vaikka ne olisivat saattaneet olla tärkeitä muuttujia laukauksen kannalta. Tässä ei kuitenkaan käsitellä muuttujia, joita on jo käsitelty aiemmin pohdinnassa.

Lavan jää-/kiekkokontaktin kestoista on ristiriitaisia tuloksia lyöntilaukauksen osalta (Hannon ym. 2011; Lomond ym. 2007; Villasenor ym. 2006). Kirjallisuuden perusteella vaikuttaisi siltä, että pidemmästä kontaktista ja näin pidemmästä voimantuottoajasta voi olla etua laukauksessa. Rannelaukausten kestossa ei ole ollut eroja lauottaessa maksimilaukauksia (Hannon ym. 2011). Tämän perusteella oletettiin, että lyöntilaukauksesta saattaisi löytyä eroja kontaktiajoissa, mutta ranne- tai lyöntilaukausten kesto (AY: $r = .186$, $p = .474$; YA: $r = .081$, $p = .782$; L: $r = 0.147$, $p = .602$) tai lyöntilaukauksen kontaktivaiheiden (jäähäykäyskontakti: $r = .419$, $p = .12$; kiekkokontakti: $r = -.276$, $p = .319$) kesto eivät korreloineet kiekon nopeuteen.

Wu ym. 2003 havaitsivat, että lyöntilaukauksen paremmin laukoneet pitivät käsiä etäämmällä toisistaan. Heillä tosin oli saman mittainen maila hyvin eri pituisille tutkittaville, mikä on saattanut hankaloittaa osan laukomista. Tässä tutkimuksessa vain YA-laukauksessa löytyi korrelaatio otelevyden ja kiekon nopeuden välillä (AY: $r = .044$, $p = .866$; YA: $r = .604^*$, $p = .022$; L: $r = .307$, $p = .265$). Korrelaatio kuitenkin hävisi, kun oteleveys suhteutettiin mailan tai kehon pituuteen. Tämän perusteella vaikuttaisi siltä, että oteleveys ei vaikuta kiekon nopeuteen juuri-kaan, jos oteleveys on pelaajalle luontainen. On oletettavissa, että runsaasti luontaisesta oteleveydestä poikkeavat oteleveydet laskevat kiekon nopeutta laukauksessa.

Lavan ja kiekon etäisyys tukijalasta laukaisulinjan suuntaisesti voimantuoton alkaessa ei korreloinut kiekon nopeuteen (AY: $r = 0.178$, $p = .495$; YA: $r = -.288$, $p = .318$; L, lapa: $r = .463$, $p = .082$; L, kiekko: $r = .066$, $p = .815$). Villasenor ym. (2006) havaitsivat, että paremmat laukojat eivät tuota enempää voimaa, vaan heillä lavan ja kiekon kontakti kestää pidempään. Olisikin siis mahdollista, että lavan jää-/kiekkokontaktin matka olisi ollut pidempi paremmilla laukojilla. Näin ei kuitenkaan ollut.

7.6 Virhelähteet

Laukaukset suoritettiin keinojäältä. Vaikka jäälle suihkutettiin silikoniliukastetta, terän pito, luisto ja tuntuma ovat erilaiset kuin aidolla jäällä. Tällä saattaa olla vaikutusta laukaisutekniikkaan. Lisäksi tämä saattaa suosia pelaajia, jotka ovat tottuneet harjoittelemaan keinojäällä. Tämän vaikutuksen vähentämiseksi tutkittavat saivatkin laukoa lämmittelylaukauksia keinojäältä.

Laukaukset lauottiin paikaltaan, joten ne poikkeavat pelitilanelaukauksista, jotka lauotaan pääsääntöisesti suoraan luistelusta/liu'usta ja vaihtelevilta etäisyyksiltä maalista. Toki paikaltaan lauottu laukaus on pohjana luistelusta lauotulle laukaukselle. Voidaankin olettaa, että tärkeimmät biomekaaniset tekijät hyvään laukaukseen ovat suurelta osin samoja. Voi kuitenkin olla, että jotkin tekijät korostuvat, kun laukaukset suoritetaan vauhdista.

Täysivauhtisessa luistelussa asento on matalampi, muttei yhtä etukumara kuin tässä tutkimuksessa laukauksien alkaessa (Buckeridge, LeVangie, Stetter, Nigg & Nigg 2015). Tässä tutkimuksessa lonkan liikelaajuus oli selvästi polvea suurempi AY- ja lyöntilaukauksissa. Voiman-

tuotto tulee siis enemmän lonkan kuin polven ojennuksesta, kun luistelussa hyödynnetään molempia. Suoraan luistelusta lauottujen laukausten tekniikka saattaa poiketa paikaltaan lauottujen laukausten tekniikasta asennon ja potkun voimantuoton erojen vuoksi.

Mailan jäykkyys- ja pituuserot saattavat vaikuttaa tuloksiin. Jäykkyys valittiin painon mukaan, jotta paino ei vaikuttaisi niin paljoa mailan taipumiseen. Kevyemmät pelaajat olivat lähtökohteisesti myös lyhempiä, joten molempia 77 flexin mailoja päädyttiin lyhentämään. Molemmista jäykkyyksistä tarjottiin pelaajille kaksi eri pituusvaihtoehtoa. Mailojen lyhentäminen muuttaa niiden jäykkyyssominaisuuksia, joten lyhemmän mailan valinneilla oli jäykempi maila kuin samasta jäykkyydestä pidemmän vaihtoehdon valinneilla. Tämä on saattanut vaikuttaa pituuden ja kiekon nopeuden korrelaatioon, kun pisimmät pelaajat kummallakin mailajäykkyydellä ovat saaneet todellisuudessa vähemmän jäykän mailan kuin lyhemmät pelaajat. Mailoista oli kuitenkin annettava eri pituusvaihtoehdot, jotta tekniikka ei muutu liikaa. Silti kaikkein pisimmillä ja lyhimmillä pelaajilla tutkimuksen maila on saattanut pituudeltaan poiketa heidän omasta mailastaan.

Testimailojen käyttö saattoi myöskin aiheuttaa virhettä tai vääristymää tutkimuksen tuloksiin. Vaikka mailan pituus ja jäykkyys olisivatkin vastanneet tutkittavan omaa mailaa, lavan muoto ja varren suurimman taipuman kohta ovat voineet poiketa totutusta. Tällä saattoi olla vaikutusta sekä kiekon nopeuteen että biomekaanisiin muuttujiin. Toisaalta juuri mailan vaikutusta haluttiin poistaa valitsemalla kaikille sama maila. Lavan eroavaisuudet saattoivat vaikuttaa lähinnä ranteiden liikkeisiin, kun kiekon rataa piti säädellä eri tavalla. Koska ranteista ei saatu dataa, voidaan ajatella, että testimailan käyttö ei juurikaan vaikuttanut tuloksiin.

Ranteiden datan menettäminen olikin harmillista. Sekvenssimallin (esim. Lindsay ym. 2008) perusteella voidaan olettaa, että ranteiden liikkeet ja liikenopeudet olisivat korreloineet kiekon nopeuteen. Michaud-Paquette ym. (2011) havaitsivat ranteen rotaation yhtenä selittäväenä tekijänä rannelaukauksen tarkkuuteen. Rannelaukauksessa tulee lavan nopea pyyhkäisy, joka on myös yhteydessä tarkkuuteen (Michaud-Paquette ym. 2009), mutta jonka voidaan olettaa lisäävän kiekon nopeuttakin. Myös maahockeyyn vetolaukauksessa, salibandyn rannelaukauksessa sekä golfissa on havaittu ranteiden liikkeiden ja/tai liikenopeuksien tärkeys (Chu ym. 2010; Ibrahim ym. 2016; Lazzeri ym. 2016; Lindsay ym. 2008). Kirjallisuuden perusteella voidaankin

olettaa, että ranteet ovat merkittävässä roolissa jääkiekkolaukauksien kiekon nopeuteen, mutta tällä tutkimuksella siihen ei voitu vastata.

Tässä tutkimuksessa lyöntilaukauksen lavan jää- tai kiekkokontaktin kesto eivät korreloineet kiekon nopeuteen. Kuvausnopeus oli 250 Hz ja kontaktiaikojen keskihajonnat 5 ja 3 ms. Keskihajonta oli siis noin yhden kuvan verran. Suurempi kuvaustaajuus olisi eriteltyt kestot tarkemmin, mikä olisi saattanut tuoda mahdollisia eroja esiin. Muiden muuttujien osalta kuvaustaajuutta voidaan pitää riittävänä.

Osa tutkittavista veti kiekon pois laukaisulinjalta rannelaukausten aikana, mikä aiheuttaa nopeuden virhettä. Virhe korostuu, koska nopeutta mitannutta kameraa ei saatu kauemmas laukaisulinjasta. Rannelaukauksissa käytettiin nopeuden korjausta. Korjausta käytettiin kaikille, jotta korjauksen mahdollisesti aiheuttama virhe olisi systemaattinen. Kuvan leveyttä ei tarkistettu erikseen jokaiseen mittaukseen, vaan kamera zoomattiin jään reunan ja synkronointivalon mukaan. Kuvan leveys on siis saattanut vaihdella hieman. Tällä saattaa olla vähäinen vaikutus korjaukseen tutkittavien välillä. Korjattuja nopeuksia voikin pitää vertailukelpoisina ja luotettavina.

Leuanvedon käyttö yläraajojen vetävien lihasten voimantuoton testaamiseen on saattanut vääristää tuloksia. Maksimivoiman mittaamiseen testi lienee hyvä, sillä leuanveto on hyvin tavallinen liike. Tehomittauksissa kehonpaino oli kuitenkin melko lähellä maksimia suurella osaa tutkittavista. Osa tutkittavista ei pystynyt tekemään yhtään leukaa lisäpainolla, joten tehotesti toteutettiin 1 RM kuormalla. Tämä ei mittaa teho-ominaisuuksia luotettavasti ja kuorma suhteessa maksimiin on jokaisella henkilöllä eri. Tämä testi lienee korostanut kevyempiä pelaajia. Kun samanaikaisesti pituus ja paino korreloivat kiekon nopeuteen, voidaan olettaa, että tämä tutkimus aliarvioi yläraajojen vetävien lihasten teho-ominaisuuksien vaikutusta laukaukseen. Tulevissa tutkimuksissa tulisikin harkita esimerkiksi ylätaljan käyttöä vetävien lihasten testaamiseksi. Ylätalja saattaa kuitenkin olla hankala maksimivoiman mittaamiseen, kun kuorma on kehon painoa suurempi.

Liikeanalyysissä on menetelmänä useita virhelähteitä, jotka on hyväksyttävä. STA, markkeriasettelu, segmenttiparametrit, suodatus ja niin edelleen. Sama tutkija asetti markkerit kaikille

tutkittaville, joten mahdollisen virheen voidaan olettaa olevan systemaattinen. Segmenttiparametreinä käytettiin Viconin oletusasetuksia, jotka pohjautuvat Dempsterin malliin. Tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu kinetiikkaa, joten segmenttiparametrit vaikuttavat vain massakeskipisteeseen, jonka laukaisulinjan suuntaista nopeutta tarkasteltiin. Voidaan olettaa, että segmenttiparametreista johtuva virhe on niin pieni, ettei se vaikuta massakeskipisteen nopeuden korrelaatioihin. Data suodatettiin 15 Hz taajuudella. Liian matalien suodatustaajuuksien (6 Hz) on havaittu jopa heikentävän datan laatua raakadataan verrattuna (Schreven ym. 2015).

Kiekon nopeuksien vertailtavuus muihin tutkimuksiin saattaa olla heikentynyt. Laboratoriossa videokameraa ei voitu asettaa kauemmaksi kuvaustasosta. Tämän seurauksena kalibrointitason pisteet ovat eri etäisyydellä kamerasta ja näin pikselin skaalattu koko kalibrointitasossa vaihtelee kuvan eri kohdissa. Maksimaaliset kiekon nopeudet saavutettiin lähellä kuvan reunaa eli kalibroidun alueen ulkopuolella. Tästä mahdollisesti aiheutuva virhe on tässä tutkimuksessa systemaattinen kaikissa laukauksissa. Tämän tutkimuksen tulokset ovat siis täysin vertailukelpoiset keskenään. Muissa tutkimuksissa on käytetty tutkaa kiekon nopeuden mittaamiseen, joten tulokset eivät välttämättä ole täysin vertailukelpoisia muuhun kirjallisuuteen.

Kyseessä oli Hockey Base Oy:n kanssa yhteistyössä toteutettu tutkimus. Puolet tutkittavista olivat olleet heidän laukaisuvalmennuksessaan. Tämä saattoi suunnata tuloksia heidän opettamansa laukauksen suuntaan. Näin kävi varmasti ainakin YA-laukauksessa, jossa Hockey Base pelaajat laukoivat merkitsevästi paremmin. Toisaalta tämän laukauksen osalta tämä ei ollut ongelma, sillä tutkimuksessa selvitettiin tekijöitä, jotka liittyvät parempaan laukaukseen. Hockey Basen opettama tekniikka YA-laukauksessa toimi paremmin, koska muissa laukauksissa ei havaittu eroja ryhmien välillä.

Jääkiekon laukauksen tekniikkaa on pelaajien kinematiikan osalta tutkittu erittäin vähän. Tämän tutkimuksen tuloksia onkin hankala verrata kirjallisuuteen. Osa tutkimuksista, joissa on tutkittu mailaa tai teknisiä muuttujia, on toteutettu heikosti. Esimerkiksi mailan ominaisuuksien vaikutuksia tarkasteltaessa eri kätisyyksillä laukoville on ollut erilaiset mailat (Kays & Smith 2017), hyvin eri pituiset tutkittavat ovat käyttäneet saman mittaista mailaa (Wu ym. 2003) tai sukupuolen vaikutusta voimaominaisuuksien tai tutkittavien koon sekä kiekon nopeuden korrelaatioihin ei eritelty (Wu ym. 2003). Myös teho-ominaisuuksien mittaamisessa on puutteita (Bezak & Pridal 2017), sillä vakiokuorman käyttäminen suosii voimakkaampia tutkittavia.

8 YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kiekon nopeuteen vaikuttavia biomekaanisia tekijöitä ja voimaominaisuuksia jääkiekon ranne- ja lyöntilaukauksessa. Matala ja etukumara asento oli tärkeä tekijä rannelaukauksissa. Vaikka lyöntilaukauksissa ei havaittu korrelaatioita, lienee matala ja etukumara asento tärkeä, sillä asento oli matalampi ja etukumarampi kuin rannelaukauksissa. Ylävartalon kääntö sivulta eteen oli kiekon nopeutta selittävä tekijä molemmissa rannelaukaisutyypeissä. YA-laukauksessa vartalon linjauksien kohdistuminen maalia kohti korreloi vahvasti kiekon nopeuteen. Yläkäden voimakas veto taakse ja venymislyhenemissyklin hyödyntäminen olivat tärkeitä tekijöitä laadukkaassa laukauksessa. Lyöntilaukauksessa yläkäden olkanivelen data ei ollut käyttökelpoista, mutta voidaan olettaa, että sama pätee myös lyöntilaukaukseen. Yllättävän harvan nivelen kulmanopeudet korreloivat kiekon nopeuteen. Suurempi mailan taipuma oli yhteydessä kiekon nopeuteen kaikissa laukauksissa.

Yläraajojen voimantuotto oli tärkeää laukauksen kannalta. Penkkipunnerrus ei ollut niin tärkeä rannelaukauksissa kuin lyöntilaukauksessa ja leuanvedon teho ei ollut lyöntilaukauksessa yhtä tärkeä kuin rannelaukauksissa. Ylävartalon vetävien lihasten teho-ominaisuudet olisivat saattaneet osoittautua tärkeiksi toisenlaisella testausmenetelmällä.

Tulevaisuudessa tarvitaankin lisää tutkimusta jääkiekon laukaisutekniikoista. Erityisesti suoraan luistelusta/liu'usta lauottavista laukauksista tarvitaan tutkimustietoa, sillä suuri osa pelitilanelaukauksista suoritetaan liikkeestä. Myös suoraan syötöstä lauotuista laukauksista tarvitaan tutkimustietoa. Voimantuoton alun ja kiekon irtoamisen välillä tapahtuvia liikkeitä tulisi tutkia. Myös nivelten maksimaalisten kulmanopeuksien ja kehon osien maksimaalisten liikenopeuksien ajoituksia suhteessa toisiinsa ja laukauksen keston tulisi selvittää. Voimaominaisuuksien vaikutuksesta kiekon nopeuteen on vähäistä, yksipuolista ja osin ristiriitaista tutkimustietoa. Tärkeiden voimaominaisuuksien selvittämiseksi tarvitaan lisää tutkimusta. Erityisesti vartalon kiertoon vaikuttavien lihasten voimaa tulisi tutkia.

LÄHTEET

- Aurand, A. M., Dufour, J. S. & Marras, W. S. 2017. Accuracy map of an optical motion capture system with 42 or 21 cameras in a large measurement volume. *Journal of Biomechanics* 58, 237–240.
- Bezak, J. & Pridal, V. 2017. Upper body strength and power are associated with shot speed in men's ice hockey. *Acta Gymnica* 47 (2), 78–83.
- Buckeridge, E., LeVangie, M. C., Stetter, B., Nigg, S. R. and Nigg, B. M. 2015. An On-Ice Measurement Approach to Analyse the Biomechanics of Ice Hockey Skating. *PLoS One* 10 (5), e0127324. doi: 10.1371/journal.pone.0127324
- Chiari, L., Croce, U. D., Leardini, A. & Cappozzo, A. 2005. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 2: Instrumental errors. *Gait and Posture* 21 (2), 197–211.
- Chu, Y., Sell, T. C. & Lephart, S. M. 2010. The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Sciences* 28 (11), 1251–1259.
- de Leva, P. 1996. Adjustments to Zatsiorsky–Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics* 29 (9), 1223–1230.
- de Subijana, C. L., Juárez, D., Mallo, J. & Navarro, E. 2010 Biomechanical analysis of the penalty-corner drag-flick of elite male and female hockey players. *Sports Biomechanics* 9 (2), 72–78.
- Eichelberger, P., Ferraro, M., Minder, U., Denton, T., Blasimann, A., Krause, F. & Baur, H. 2016. Analysis of accuracy in optical motion capture – A protocol for laboratory setup evaluation. *Journal of Biomechanics* 49 (10), 2085–2088.
- Elliott, B. C., Alderson, J. A. & Denver, E. R. 2007. System and modelling errors in motion analysis: Implications for the measurement of the elbow angle in cricket bowling. *Journal of Biomechanics* 40 (12), 2679–2685
- Enoka, R. M. 2008. *Neuromechanics of human movement*. 4. painos. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Gilenstam, K., Henriksson-Larsén, K. & Thorsen, K. 2009. Influence of stick stiffness and puck weight on puck velocity during slap shots in women's ice hockey. *Sports Engineering* 11 (3), 103–107.

- Good, E. S. & Suntay, W. J. 1983. A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. *Journal of biomechanical engineering* 105 (2), 136–144.
- Hamill, J., Caldwell, G. E. & Derrick, T. R. 1997. Reconstructing digital signals using Shannon's sampling theorem. *Journal of Applied Biomechanics* 13 (2), 226–238.
- Hamill, J. & Selbie, W. S. 2004. Three-dimensional kinematics. Teoksessa D. G. E. Robertson, G. E. Caldwell, J. Hamill, G. Kamen & S. N. Whittlesey (toim.) *Research methods in biomechanics*. Champaign, IL: Human Kinetics, 35–52.
- Hamill, J., Selbie, W. S. & Kepple, T. M. 2014. Three-dimensional kinematics. Teoksessa D. G. E. Robertson, G. E. Caldwell, J. Hamill, G. Kamen & S. N. Whittlesey (toim.) *Research methods in biomechanics*. 2. painos. Champaign, IL: Human Kinetics, 35–59.
- Hannon, A., Michaud-Paquette, Y., Pearsall, D. J. & Turcotte, R. A. 2011. Dynamic strain profile of the ice hockey stick: comparisons of player calibre and stick shaft stiffness. *Sports Engineering* 14 (2), 57–65.
- Ibrahim, R., Faber, G. S., Kingma, I. & van Dieën, J. H. 2016. Kinematic analysis of the drag flick in field hockey. *Sports Biomechanics* 16 (1), 45–57.
- Kays, B. T., & Smith, L. V. 2017. Effect of ice hockey stick stiffness on performance. *Sports Engineering* 20 (4), 245–254.
- Kennedy, P. W., Wright, T. L. & Smith G. A. 1989. Comparison of film and video techniques for three-dimensional DLT repredictions. *International Journal of Sport Biomechanics* 5, 457–460.
- Kristianslund, E., Krosshaug, T. & van den Bogert, A. J. 2012. Effect of lowpass filtering on joint moments from inverse dynamics: Implications for injury prevention. *Journal of Biomechanics* 45 (4), 666–671.
- Lazzeri, M., Kayser, B. & Armand, S. Kinematic predictors of wrist shot success in floorball/unihockey from two different feet positions. *Journal of Sport Sciences* 34 (21), 2087–2094.
- Lindsay, D. M., Mantrop, S. & Vandervoort, A. A. 2008. A Review of Biomechanical Differences between Golfers of Varied Skill Levels. *International Journal of Sports Science & Coaching* 3 (1), 187–197.
- 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 (2), 87–100.

- Macaulay, C. A. J., Katz, L., Stergiou, P., Stefanyshyn, D. & Tomaghelli, L. 2017. Kinematic and kinetic analysis of overhand, sidearm and underhand lacrosse shot techniques. *Journal of Sports Sciences* 35 (23), 2350–2356.
- Manal, K. & Gardinier, J. 2007. The Ray Projection Method: A Numerical Approach for Determining Ideal Camera Placement. *Journal of Applied Biomechanics* 23 (1), 79–84.
- Marques, M. C., van den Tilaar, R., Vescovi, J. D. & Gonzalez-Badillo, J. J. 2007. Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2 (4), 414–422.
- McMaster, D.T., Gill, N., Cronin, J. & McGuigan, M. 2014. A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Medicine* 44 (5), 603–623.
- Michaud-Paquette, Y., Magee, P., Pearsall, D. J. & Turcotte, R. A. 2011. Whole-body predictors of wrist shot accuracy in ice hockey: a kinematic analysis. *Sports Biomechanics* 10 (1), 12–21.
- Michaud-Paquette, Y., Pearsall, D. J. & Turcotte, R. A. 2009. Predictors of scoring accuracy: ice hockey wrist shot mechanics. *Sports Engineering* 11 (2), 75–84.
- Miyaguchi, K. & Demura, S. 2012. Relationship between upper-body strength and bat swing speed in high-school baseball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26 (7), 1786–1791.
- Pearsall, D. J., Montgomery, D. L., Rothsching, N. & Turcotte, R. A. 1999. The influence of stick stiffness on the performance of ice hockey slap shots. *Sports Engineering* 2 (1), 3–11.
- Robertson, D. G. E. 2014. Body segment parameters. Teoksessa D. G. E. Robertson, G. E. Caldwell, J. Hamill, G. Kamen & S. N. Whittlesey (toim.) *Research methods in biomechanics*. 2. painos. Champaign, IL: Human Kinetics, 63–78.
- Robertson, D. G. E. & Caldwell, G. E. 2014. Planar kinematics. Teoksessa D. G. E. Robertson, G. E. Caldwell, J. Hamill, G. Kamen & S. N. Whittlesey (toim.) *Research methods in biomechanics*. 2. painos. Champaign, IL: Human Kinetics, 9–33.
- Schreven, S., Beek, P. J. & Smeets, J. B. J. 2015. Optimising filtering parameters for a 3D motion analysis system. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 25 (5) 808–814.
- Selbie, W. S., Hamill, J. & Kepple, T. M. 2014 *Three-Dimensional Kinetics*. Teoksessa D. G. E. Robertson, G. E. Caldwell, J. Hamill, G. Kamen & S. N. Whittlesey (toim.) *Research methods in biomechanics*. 2. painos. Champaign, IL: Human Kinetics, 151–176.

- SJL & IIFH. 2014. Jääkiekon virallinen sääntökirja 2014–2018. Viitattu 27.7.2018. http://www.leijonat.fi/files/Jaakiekkosaannot/Jaakiekon_virallinen_saantokirja_2014-18.pdf
- Stagni, R., Fantozzi, S., Cappello, A. & Leardini, A. 2005. Quantification of soft tissue artefact in motion analysis by combining 3D fluoroscopy and stereophotogrammetry: a study on two subjects. *Clinical Biomechanics* 20 (3), 320–329.
- Tinmark, F., Hellström, J., Halvorsen, K. & Thorstensson, A. 2010. Elite golfers' kinematic sequence in full-swing and partialswing shots. *Sports Biomechanics* 9 (4), 236–244.
- Vicon. 2019. Angle definitions. Nexus 2.8 documentation. <https://docs.vicon.com/display/Nexus28/Angle+definitions>
- Villasenor, A., Turcotte, R. A. & Pearsall, D. J. 2006. Recoil Effect of the Ice Hockey Stick During a Slap Shot. *Journal of Applied Biomechanics* 22 (3), 202–211.
- Virmavirta, M. & Isolehto, J. 2014. Determining the location of the body's center of mass for different groups of physically active people. *Journal of Biomechanics* 47 (8), 1909–1913.
- Windolf, M., Götzen, N. & Morlock, M. 2008. Systematic accuracy and precision analysis of video motion capturing systems—exemplified on the Vicon-460 system. *Journal of Biomechanics* 41 (12), 2776–2780.
- Worobets, J. T., Fairbairn, J. C. & Stefanyshyn, D. J. 2006. The influence of shaft stiffness on potential energy and puck speed during wrist and slap shots in ice hockey. *Sports Engineering* 9 (4), 191–200.
- Wu, G. & Cavanagh, P. R. 1995. ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. *Journal of Biomechanics* 28 (10), 1257–1261.
- Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., Whittle, M., D'Lima, D. D., Cristofolini, L., Witte, H., Schmid, O. & Stokes, I. 2002. ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. *Journal of Biomechanics* 35 (4) 543–548.
- Wu, G., van der Helm, F. C., Veeger, H. E., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A. R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F. W. & Buchholz, B. 2005. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics* 38 (5), 981–992.

Wu, T.-C., Pearsall, D., Hodges, A., Turcotte, R., Lefebvre, R., Montgomery, D. & Bateni, H. 2003. The performance of the ice hockey slap and wrist shots: the effects of stick construction and player skill. *Sports Engineering* 6 (1), 31–40.

LIITTEET

LIITE 1.

Biomekaanisissa muuttujissa käytetyt lyhenteet

dASFZ = alakäden olkapään markkerin korkeus – sormen markkerin korkeus

dYSFZ = yläkäden olkapään markkerin korkeus – sormen markkerin korkeus

tE = esi-irrotuksen kesto

TaipumaMax = suurin mailan segmenttien välinen kulma

TaipumanopMax = suurin mailan segmenttien välinen kulmanopeus

PKneeX = potkaisevan polven koukistus-ojennus

PHipX = potkaisevan lonkan koukistus-ojennus

PHipY = potkaisevan lonkan lähennys-loitonnus

PHipZ = potkaisevan lonkan rotaatio

TKneeX = tukijalan polven koukistus-ojennus

THipX = tukijalan lonkan koukistus-ojennus

THipY = tukijalan lonkan lähennys-loitonnus

THipZ = tukijalan lonkan rotaatio

TFootZ = tukijalan ja laboratorion Y-akselin (laukaisulinjan) välinen kulma

PelX = lantion etukallistus suhteessa laboratorion koordinaatistoon

PelY = lantion sivukallistus suhteessa laboratorion koordinaatistoon

PelZ = lantion kierto suhteessa laboratorion koordinaatistoon

SpineX = lantion ja ylävartalon välinen koukistus-ojennus

SpineY = lantion ja ylävartalon välinen sivukallistus

SpineZ = lantion ja ylävartalon välinen kierto

ThxX = ylävartalon etukallistus suhteessa laboratorion koordinaatistoon

ThxY = ylävartalon sivukallistus suhteessa laboratorion koordinaatistoon

ThxZ = ylävartalon kierto suhteessa laboratorion koordinaatistoon

AEIbX = alakäden kyynärnivelen koukistus-ojennus

YEIbX = yläkäden kyynärnivelen koukistus-ojennus

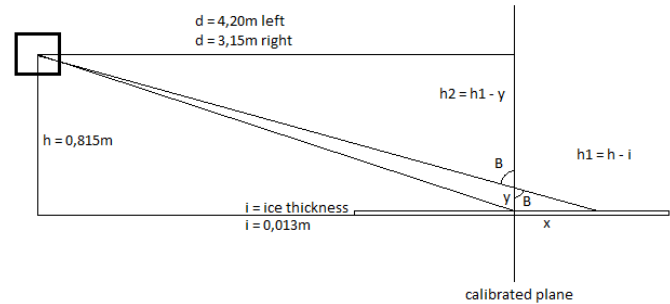
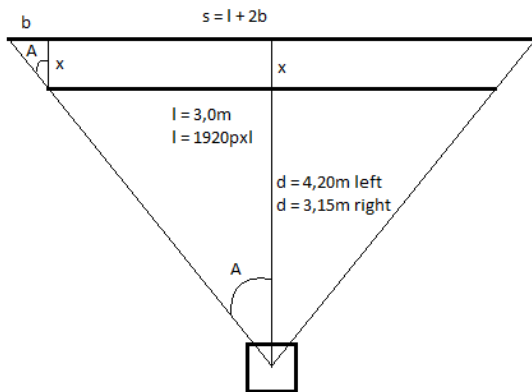
YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus-ojennus

YShoY = yläkäden olkanivelen loitonnus-lähennys

YShoZ = yläkäden olkanivelen rotaatio

vCOMY = massakeskipisteen Y-akselin (laukaisulinjan) suuntainen nopeus
vELBYmax = yläkäden olkapään markkerin Y-akselin (laukaisulinjan) suuntainen nopeus
PKneeXnop = potkaisevan polven koukistus-ojennuksen kulmanopeus
PHipXnop = potkaisevan lonkan koukistus-ojennuksen kulmanopeus
PHipYnop = potkaisevan lonkan lähennys-loitonnuksen kulmanopeus
THipYnop = tukijalan lonkan lähennys-loitonnuksen kulmanopeus
SpineXnop = lantion ja ylävartalon välisen koukistus-ojennuksen kulmanopeus
ThxZnop = ylävartalon kierron kulmanopeus suhteessa laboratorion koordinaatistoon
AEIbXnop = alakäden kyynärnivelen koukistus-ojennuksen kulmanopeus
YShoXnop = yläkäden olkanivelen koukistus-ojennuksen kulmanopeus
YShoYnop = yläkäden olkanivelen loitonnuksen lähennyksen kulmanopeus
YShoZnop = yläkäden olkanivelen rotaation kulmanopeus

LIITE 2.



Kun kiekko kulkee kalibrointitason edessä tai takana, pikseliä vastaava matka poikkeaa kalibroidusta. Toisin sanoen: kiekon kulkiessa muualla kuin kalibrointitasossa, kiekon todellinen nopeus poikkeaa liikeanalyysin laskemasta nopeudesta. Kiekon todellinen nopeus v_{tod} voidaan laskea, kun tiedetään liikeanalyysin laskema nopeus, kuvan leveys kalibrointilinjassa sekä kuvan leveys laukaisulinjassa:

$$\frac{v}{l} = \frac{v_{tod}}{s}$$

jossa v on liikeanalyysillä saatu kiekon nopeus, l on kuvan todellinen leveys kalibrointilinjalla, v_{tod} on kiekon todellinen nopeus ja s on todellisen kiekon laukaisulinjan kuvassa näkyvän osan leveys.

Tästä saadaan:

$$v_{tod} = \frac{v * s}{l}$$

Jotta yhtälö voidaan laskea, on selvitettävä s :

$$s = l + 2b$$

jossa $2b$ on s :n osa, joka ylittää l :n. $2b$ voidaan jakaa tasaisesti kuvan kumpaankin reunaan, jolloin molemmissa reunoissa on b . Kun s on x etäisyydellä l :stä, muodostuu suorakulmainen kolmio, jonka kateetit ovat b ja x . x :n ja hypotenuusan välinen kulma on A . b voidaan laskea, kun tiedetään x sekä kulma A :

$$\tan A = \frac{b}{x}$$

$$b = x \tan A$$

x on samansuuntainen kameran kanssa ja hypotenuusa kulkee kuvan reunaa pitkin, joten A saadaan yhtälöstä:

$$\tan A = \frac{0,5l}{d}$$

$$A = \tan^{-1} \frac{0,5l}{d}$$

$$A = 19,654^\circ \text{ left ja } A = 25,463^\circ \text{ right}$$

jossa l on kuvan todellinen leveys kalibrointilinjalla ja d on kameran etäisyys kalibrointilinjasta ja A on d:n ja hypotenuusan välinen kulma.

x saadaan laskettua, kun liikeanalyysillä lasketaan kiekon vertikaalinen etäisyys kalibrointilinjasta kuvaustasossa. Tämä arvo on y. Kun kiekon ja kameran välille piirretään suora, tämä suora leikkaa kuvaustason y etäisyydellä halutusta laukauslinjasta. Tästä saadaan suorakulmainen kolmio, jonka pidempi kateetti on kiekon todellinen etäisyys kalibrointitasosta eli x. Kuvasta saadaan yhtälöt:

$$\tan B = \frac{d}{h_2}$$

$$\tan B = \frac{x}{y}$$

jossa B on kuvatason kateetin sekä hypotenuusan välinen kulma, d on kameran etäisyys kalibrointitasosta, h_2 on kameran sekä kiekon kalibrointitason pisteen välinen vertikaalinen etäisyys, x on kalibrointitason ja kiekon todellisen paikan horisontaali etäisyys ja y on jään sekä kiekon kalibrointitason pisteen välinen vertikaalietäisyys.

Saadaan:

$$\frac{x}{y} = \frac{d}{h_2}$$

$$x = \frac{dy}{h_2}$$

$$x = \frac{dy}{h_1 - y}$$

jossa h_1 on kameran ja jään vertikaalinen etäisyys.

Nopeus saadaan siis kirjoitettua muotoon:

$$v_{tod} = \frac{v * s}{l}$$

$$v_{tod} = \frac{v * (l + 2b)}{l}$$

$$v_{tod} = \frac{v * (l + 2x \tan A)}{l}$$

A ja l tiedetään ja v ja x lasketaan laukauskohteisesti.

LIITE 3.

TAULUKKO 4. Polvi- ja lonkkakulmat sekä tukijalan kulma laukaisuun nähden laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja minimiarvot, muutokset sekä liikelajaudet asteina AY-laukauksessa. PKneeX = potkaisevan polven koukistus, PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PHipY = potkaisevan lonkan lähennys, PHipZ = potkaisevan lonkan sisäkierto, TKneeX = tukijalan polven koukistus, THipX = tukijalan lonkan koukistus, THipY = tukijalan lonkan lähennys, THipZ = tukijalan lonkan sisäkierto, TFootZ = tukijalan ja laboratorion sagittaaliakselin välinen kulma (sisäkierto positiivinen)

	PA		KEA/TA		LKL		MAX		MIN		ΔPA-KEA/TA		ΔKEA/TA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
PKneeX	44.11	11.00	35.72	13.05	39.78	13.82	70.76	23.31	27.26	10.34	-8.40	12.04	4.06	15.37	43.51	23.86
PHipX	79.02	12.03	39.91	14.84	2.98	7.38	79.02	12.03	1.07	8.34	-39.11	13.34	-36.93	10.75	77.95	10.70
PHipY	-22.45	4.98	-22.33	6.93	-13.77	7.85	-7.12	8.73	-31.18	5.08	0.13	8.34	8.56	11.09	24.06	10.81
PHipZ	9.65	12.06	1.60	15.05	-7.40	11.50	14.13	12.02	-13.54	10.86	-8.05	16.55	-9.00	11.68	27.67	7.69
TKneeX	40.46	18.95	47.48	10.27	50.21	8.80	61.30	8.43	32.42	10.49	7.02	20.68	2.73	7.21	28.88	9.34
THipX	70.74	10.24	86.58	7.11	91.22	9.88	100.43	11.46	70.28	9.63	15.83	9.73	4.65	5.16	30.15	12.99
THipY	-3.79	7.47	-9.03	6.40	15.82	4.85	17.03	5.06	-18.52	7.96	-5.24	6.89	24.85	4.79	35.54	6.36
THipZ	-0.24	12.13	-3.92	10.64	0.28	13.76	10.02	12.96	-7.77	10.90	-3.69	4.15	4.20	6.91	17.78	8.22
TFootZ	11.95	30.24	7.86	27.65	16.25	24.67	32.68	28.80	-1.39	26.69	-4.10	19.89	8.40	8.60	34.07	14.45

TAULUKKO 5. Lantion ja rintakehän absoluuttiset kulmat sekä niiden väliset suhteelliset kulmat laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja mini-
miarvot, muutokset sekä liikelaajuudet asteina AY-laukauksessa. PelX = lantion etukallistus, PelY = lantion sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), PelZ = lantion kierto (yläkäden puoli positiivinen), SpineX = vartalon koukistus, SpineY = vartalon lateraalikoukistus (alakäden puoli positiivinen), SpineZ = vartalon kierto (positiivinen, kun ylävartalo lantiota enemmän alakäden puolella), ThxX = ylävartalon etukallistus, ThxY = ylävartalon sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), ThxZ = ylävartalon kierto (yläkäden puoli positiivinen)

	PA		KEA/TA		LKL		MAX		MIN		ΔPA-KEA/TA		ΔKEA/TA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
PelX	38.59	16.06	51.33	8.42	47.16	11.16	57.21	12.41	34.76	13.56	12.74	12.58	-4.18	5.74	22.45	10.55
PelY	-38.89	20.43	-21.02	21.36	-20.00	18.72	-16.80	19.94	-40.68	18.06	17.87	6.63	1.03	5.07	23.88	5.75
PelZ	-26.51	25.24	-8.31	17.16	9.58	19.13	11.50	19.52	-28.85	23.57	18.20	12.12	17.89	6.06	40.36	10.78
SpineX	5.88	6.15	-0.86	8.46	-7.64	7.79	10.35	6.98	-10.03	8.05	-6.74	6.46	-6.78	6.47	20.37	5.52
SpineY	16.40	5.72	24.75	6.08	10.97	7.89	25.48	6.00	-10.84	13.07	8.35	5.44	-13.78	6.82	36.32	13.39
SpineZ	1.99	3.89	5.11	6.30	-15.69	5.03	7.47	4.29	-27.02	6.45	3.12	5.19	-20.80	5.53	34.49	6.57
ThxX	29.58	28.50	39.81	13.52	43.66	9.02	55.78	10.67	24.08	23.08	10.23	19.03	3.85	8.66	31.70	20.41
ThxY	-54.29	21.48	-43.63	21.44	-32.42	21.38	-20.01	21.79	-55.02	21.73	10.66	6.04	11.20	5.60	35.01	11.93
ThxZ	-36.55	33.96	-22.34	19.95	21.67	17.83	27.66	17.60	-41.23	30.66	14.22	20.16	44.01	8.01	68.89	22.51

TAULUKKO 6. Yläraajojen nivelkulmat laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja minimiarvot, muutokset sekä liikelajaudet asteina AY-laukauksessa. AEIbX = alakäden kynnärnivelen koukistus, YEIbX = yläkäden kynnärnivelen koukistus, YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus, YShoY = yläkäden olkanivelen loitonnuks, YShoZ = yläkäden olkanivelen sisäkierto

	PA		KEA/TA		LKL		MAX		MIN		ΔPA-KEA/TA		ΔKEA/TA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
AEIbX	36.54	9.83	66.60	7.13	49.10	5.37	68.65	6.93	25.74	3.38	30.06	11.23	-17.51	8.70	42.91	8.63
YEIbX	86.95	9.25	91.23	9.53	112.14	6.49	125.33	8.20	82.58	6.53	4.28	12.56	20.91	9.05	42.75	9.29
YShoX	13.29	9.63	-7.29	15.45	2.46	14.77	18.31	10.27	-17.54	13.09	-20.57	16.70	9.75	8.78	35.85	9.20
YShoY	14.47	13.22	57.96	11.38	37.09	13.27	60.63	10.37	11.55	11.88	43.49	13.11	-20.87	13.86	49.08	12.31
YShoZ	51.37	8.61	39.23	11.10	-5.80	10.84	57.34	9.12	-10.94	9.83	-12.14	12.23	-45.03	12.95	68.28	11.04

TAULUKKO 7. Polvi- ja lonkkakulmat sekä tukijalan kulma laukaisuun nähden laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja minimiarvot, muutokset sekä liikelaajuudet asteina YA-laukauksessa. PKneeX = potkaisevan polven koukistus, PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PHipY = potkaisevan lonkan lähennys, PHipZ = potkaisevan lonkan sisäkierto, TKneeX = tukijalan polven koukistus, THipX = tukijalan lonkan koukistus, THipY = tukijalan lonkan lähennys, THipZ = tukijalan lonkan sisäkierto, TFootZ = tukijalan ja laboratorion sagittaaliakselin välinen kulma (sisäkierto positiivinen)

	PA		KEA/TA		LKL		MAX		MIN		Δ PA-KEA/TA		Δ KEA/TA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
PKneeX	57.13	31.41	24.98	29.00	70.08	31.36	104.48	40.26	17.20	26.69	-32.16	31.81	45.11	32.14	87.28	43.27
PHipX	66.40	22.28	20.81	14.06	25.97	13.54	72.83	17.36	13.22	14.44	-45.59	23.28	5.16	15.73	59.61	24.33
PHipY	-5.00	8.62	-5.27	6.45	-16.89	12.48	5.71	6.52	-23.49	10.16	-0.26	11.07	-11.62	14.09	29.20	10.04
PHipZ	-2.11	11.73	-3.24	12.46	-1.17	17.65	6.05	14.02	-10.08	14.02	-1.14	8.96	2.07	8.68	16.13	5.21
TKneeX	39.01	9.74	45.91	9.80	54.08	10.74	62.80	8.92	35.52	8.02	6.90	10.65	8.17	10.43	27.29	9.58
THipX	62.87	13.35	86.61	9.67	85.76	18.04	98.70	13.55	57.54	13.69	23.74	18.24	-0.85	11.47	41.16	21.86
THipY	-17.44	7.77	-14.95	7.15	-43.87	5.51	-7.97	4.33	-44.85	5.51	2.49	13.19	-28.92	7.11	36.88	4.63
THipZ	0.90	10.54	14.63	10.23	11.89	8.91	20.88	9.58	-1.81	10.50	13.73	10.56	-2.74	8.95	22.68	8.09
TFootZ	-49.14	27.14	-14.24	17.57	-19.72	12.67	-0.81	11.45	-54.73	21.02	34.89	36.95	-5.48	10.95	53.92	26.37

TAULUKKO 8. Lantion ja rintakehän absoluuttiset kulmat sekä niiden väliset suhteelliset kulmat laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja minimiarvot, muutokset sekä liikelaajuudet asteina YA-laukauksessa. PelX = lantion etukallistus, PelY = lantion sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), PelZ = lantion kierto (yläkäden puoli positiivinen), SpineX = vartalon koukistus, SpineY = vartalon lateraalikoukistus (alakäden puoli positiivinen), SpineZ = vartalon kierto (positiivinen, kun ylävartalo lantiota enemmän alakäden puolella), ThxX = ylävartalon etukallistus, ThxY = ylävartalon sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), ThxZ = ylävartalon kierto (yläkäden puoli positiivinen)

	PA		KEA/TA		LKL		MAX		MIN		ΔPA-KEA/TA		ΔKEA/TA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
PelX	47.16	8.92	54.42	9.69	49.30	9.40	57.62	9.82	44.98	9.91	7.26	7.01	-5.12	3.40	12.64	5.53
PelY	-20.17	12.28	-11.13	11.82	-9.73	10.01	-5.69	10.70	-27.35	9.81	9.04	13.23	1.40	3.99	21.66	7.79
PelZ	-11.53	14.03	11.10	9.47	34.41	10.24	35.71	9.84	-11.96	14.11	22.64	12.69	23.30	8.49	47.67	14.88
SpineX	6.54	5.19	-4.90	9.75	-16.31	8.35	7.78	4.63	-17.10	8.38	-11.44	7.17	-11.41	4.23	24.88	6.30
SpineY	22.01	10.19	29.83	4.31	25.70	5.59	33.43	3.96	12.80	6.73	7.82	10.33	-4.13	5.77	20.63	6.02
SpineZ	0.46	7.44	12.08	7.22	-0.57	5.58	13.97	6.93	-13.54	5.29	11.62	5.98	-12.65	5.95	27.50	9.26
ThxX	48.98	15.63	46.69	14.73	49.71	11.12	64.14	10.72	40.86	15.41	-2.29	9.58	3.02	8.86	23.28	14.94
ThxY	-42.49	11.38	-40.56	9.86	-39.84	11.08	-30.99	8.65	-45.87	10.21	1.93	5.98	0.73	4.45	14.89	4.82
ThxZ	-10.72	17.46	-6.61	14.87	31.68	11.67	41.78	9.50	-14.33	18.76	4.11	12.62	38.30	11.14	56.11	23.90

TAULUKKO 9. Yläraajojen nivelkulmat laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja minimiarvot, muutokset sekä liikelaajuudet asteina YA-laukauksessa. AEIbX = alakäden kyynärnivelen koukistus, YEIbX = yläkäden kyynärnivelen koukistus, YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus, YShoY = yläkäden olkanivelen loitonnuks, YShoZ = yläkäden olkanivelen sisäkierto

	PA		KEA/TA		LKL		MAX		MIN		Δ PA-KEA/TA		Δ KEA/TA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
AEIbX	41.22	11.90	61.26	11.52	43.36	8.54	63.92	10.04	26.26	4.04	20.04	14.28	-17.90	10.88	37.66	11.96
YEIbX	90.12	8.42	89.81	10.96	103.53	8.18	120.76	8.91	81.52	12.27	-0.31	11.66	13.72	8.13	39.24	11.93
YShoX	12.31	9.90	9.93	10.64	22.19	13.42	30.56	10.50	-4.93	10.05	-2.38	15.66	12.26	11.05	35.49	9.01
YShoY	22.30	14.41	64.41	12.85	34.68	12.95	67.48	14.41	14.33	12.28	42.11	11.66	-29.74	13.12	53.16	13.72
YShoZ	44.51	14.01	34.99	13.13	2.53	12.24	53.39	7.48	-7.98	13.01	-9.52	20.92	-32.46	14.50	61.37	12.59

TAULUKKO 10. Polvi- ja lonkkakulmat sekä tukijalan kulma laukaisuun nähden laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja minimiarvot, muutokset sekä liikelaajuudet asteina lyöntilaukauksessa. PKneeX = potkaisevan polven koukistus, PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PHipY = potkaisevan lonkan lähennys, PHipZ = potkaisevan lonkan sisäkierto, TKneeX = tukijalan polven koukistus, THipX = tukijalan lonkan koukistus, THipY = tukijalan lonkan lähennys, THipZ = tukijalan lonkan sisäkierto, TFootZ = tukijalan ja laboratorion sagittaaliakselin välinen kulma (sisäkierto positiivinen)

	PA		LJA		LKL		MAX		MIN		Δ PA-LJA		Δ LJA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
PKneeX	49.52	11.96	27.71	12.01	40.04	17.43	69.36	26.23	19.36	9.22	-21.81	15.02	12.33	10.10	50.00	28.17
PHipX	75.21	9.46	12.80	9.55	7.88	9.05	75.21	9.46	6.74	8.90	-62.41	10.14	-4.92	4.70	68.47	9.58
PHipY	-12.25	6.92	-18.24	8.64	-12.78	10.56	0.37	10.56	-27.37	8.51	-5.99	10.03	5.46	4.48	27.74	8.17
PHipZ	0.91	9.99	-10.10	11.46	-10.12	9.79	4.02	11.43	-15.91	8.92	-11.00	8.97	-0.03	6.16	19.93	6.28
TKneeX	55.43	10.66	47.57	10.25	52.48	9.23	63.27	10.10	43.85	8.19	-7.86	12.88	4.91	3.33	19.41	8.18
THipX	80.47	12.40	96.09	6.92	99.12	8.42	110.47	8.52	79.82	11.17	15.62	11.30	3.03	2.78	30.66	11.23
THipY	-32.01	8.50	12.69	5.09	15.23	5.18	17.71	4.34	-32.54	8.33	44.70	8.34	2.54	3.22	50.25	8.85
THipZ	-4.75	11.55	-3.85	15.17	2.31	14.53	9.05	15.35	-7.88	13.08	0.90	7.28	6.17	4.15	16.94	8.22
TFootZ											7.44	15.69	4.23	3.65	24.69	13.24

TAULUKKO 11. Lantion ja rintakehän absoluuttiset kulmat sekä niiden väliset suhteelliset kulmat laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja minimiarvot, muutokset sekä liikelaaajuudet asteina lyöntilaukauksessa. PelX = lantion etukallistus, PelY = lantion sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), PelZ = lantion kierto (yläkäden puoli positiivinen), SpineX = vartalon koukistus, SpineY = vartalon lateraalikoukistus (alakäden puoli positiivinen), SpineZ = vartalon kierto (positiivinen, kun ylävartalo lantiota enemmän alakäden puolella), ThxX = ylävartalon etukallistus, ThxY = ylävartalon sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), ThxZ = ylävartalon kierto (yläkäden puoli positiivinen)

	PA		LJA		LKL		MAX		MIN		ΔPA-LJA		ΔLJA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
PelX	41.55	8.79	49.32	11.11	48.59	12.71	63.01	16.16	37.84	8.32	7.76	11.64	-0.73	4.06	25.17	9.91
PelY											10.66	8.26	-3.19	2.91	17.25	5.45
PelZ											44.62	10.55	-1.97	5.20	49.92	10.52
SpineX	5.31	5.90	-3.18	7.84	3.44	9.94	11.50	7.69	-4.42	7.35	-8.49	7.43	6.62	4.49	15.92	5.68
SpineY	-7.56	4.58	7.59	6.29	1.68	10.74	10.54	5.82	-20.10	7.49	15.15	8.32	-5.91	6.97	30.64	6.29
SpineZ	32.96	4.86	-5.51	4.84	-25.34	4.05	33.02	4.77	-31.88	7.55	-38.47	4.37	-19.83	5.16	64.90	9.52
ThxX	52.54	7.79	48.63	11.92	52.73	12.68	61.85	9.21	42.57	11.33	-3.90	10.14	4.10	5.15	19.27	6.88
ThxY											4.86	7.02	4.64	5.42	24.61	9.57
ThxZ											76.13	11.27	21.88	3.76	105.73	15.03

TAULUKKO 12. Yläraajojen nivelkulmat laukauksen eri vaiheissa, maksimi- ja minimiarvot, muutokset sekä liikelaajuudet asteina lyöntilaukauksessa. AEIbX = alakäden kyynärnivelen koukistus, YElbX = yläkäden kyynärnivelen koukistus, YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus, YShoY = yläkäden olkanivelen loitonuus, YShoZ = yläkäden olkanivelen sisäkierto

	PA		LJA		LKL		MAX		MIN		ΔPA-LJA		ΔLJA-LKL		ROM	
	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD	ka.	SD
AEIbX	48.69	13.62	56.96	9.87	47.41	7.72	61.16	11.64	26.64	4.46	8.27	12.89	-9.55	6.43	34.51	13.67
YElbX	60.91	11.74	116.72	6.19	120.49	4.30	128.12	6.18	60.91	11.74	55.80	14.10	3.77	5.93	67.20	12.49
YShoX			-13.53	13.46	-28.65	14.32							-15.11	6.18		
YShoY			57.54	9.48	37.56	10.33							-19.98	7.15		
YShoZ			0.62	11.88	-6.03	13.17							-6.66	10.98		

TAULUKKO 13. Tärkeimmät tutkittavien taustamuuttujat sekä kaksiulotteisen liikeanalyysin muuttujat, jotka korreloivat merkitsevästi laukauksen maksiminopeuteen vähintään yhdessä laukaisutyypissä. tE = esi-irrotuksen kesto, TaipumaMax = suurin mailan segmenttien välinen kulma, TaipumanopMax = suurin mailan segmenttien välinen kulmanopeus.

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
Taso	.287	.264	.567*	.034	.557*	.031
Pituus	.706**	.002	.688**	.007	.614*	.015
Paino	.744**	.001	.732**	.003	.567*	.028
tE	.404	.108	.635*	.015		
TaipumaMax	.659**	.004	.688**	.007	.525*	.044
TaipumanopMax	.404	.107	.626*	.017	.286	.302

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 14. Tärkeimmät kolmiulotteisen liikeanalyysin muuttujat laukauksen alkaessa, jotka korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vähintään yhdessä laukaisutyypissä. dASFZ = alakäden olkapään markkerin korkeus vähennettynä sormen markkerin korkeudella, dYSFZ = yläkäden olkapään markkerin korkeus vähennettynä sormen markkerin korkeudella, PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PelX = lantion etukallistus, YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus, vCOMY = massakeskipisteen y-suuntainen lineaarinopeus (laukaisusuuntaan negatiivinen), PHipYnop = potkaisevan lonkan lähennyksen nopeus

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
dASFZ					-.629*	.012
dYSFZ					-.546*	.035
PHipX	.662**	.004	.538*	.047	.504	.056
PelX	.360	.155	.631*	.016	.107	.704
YShoX	.532*	.028	-.138	.637		
vCOMY	-.213	.411	-.609*	.021	-.254	.362
PHipYnop	-.218	.400	-.143	.626	-.564*	.028

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 15. Tärkeimmät 3D-liikeanalyysin muuttujat, jotka korreloivat merkitsevästi kiekon nopeuteen vähintään yhdessä laukaisuutyypissä voimantuoton alkaessa. PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PHipY = potkaisevan lonkan lähennys, PKneeX = potkaisevan polven koukistus, PelX = lantion etukallistus, PelY = lantion sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), SpineY = vartalon lateraalikoukistus (alakäden puoli posit.), ThxX = ylävartalon etukallistus, ThxZ = ylävartalon kierto (yläkäden puoli posit.), TFootZ = tukijalan ja laboratorion sagittaaliakselin välinen kulma (sisäkierto posit.), THipX = tukijalan lonkan koukistus, THipY = tukijalan lonkan lähennys, TKneeX = tukijalan polven koukistus, YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus, YShoY = yläkäden olkanivelen loitonuus, vCOMY = massakeskipisteen y-suuntainen lineaarinopeus (laukaisusuuntaan negatiivinen)

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
PHipX	.309	.228	.332	.246	.543*	.037
PHipY	.064	.808	.626*	.017	-.171	.541
PKneeX	.497	.050	-.596*	.025	.246	.376
PelX	.627**	.007	.736**	.003	.307	.265
PelY	.015	.955	.613*	.020		
SpineY	.172	.510	.587*	.027	.011	.970
ThxX	.230	.374	.684**	.007	.214	.443
ThxZ	.015	.955	.604*	.022		
TFootZ	-.157	.548	.874***	< .001	.275	.321
THipX	.554*	.021	.521	.056	.304	.271
THipY	.015	.955	.745**	.002	-.204	.467
TKneeX	.137	.599	.632*	.021	.179	.524
YShoX	.358	.158	.538*	.047	.225	.420
YShoY	.083	.751	.591*	.026	-.032	.909
vCOMY	.032	.903	-.635*	.015	-.307	.265

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 16. Tärkeimmät kolmiulotteisen liikeanalyysin muuttujat, jotka korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vähintään yhdessä laukaisu-tyypissä kiekon irtoamishetkellä osa 1/2. dYSEZ = yläkäden olkapään markkerin korkeus vähennettynä kyynärpään markkerin korkeudella, PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PelX = lantion etukallistus, PelY = lantion sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), PelZ = lantion kierto (yläkäden puoli positiivinen), ThxX = ylävartalon etukallistus, ThxY = ylävartalon sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), ThxZ = ylävartalon kierto (yläkäden puoli positiivinen), TFootZ = tukijalan ja laboratorion sagittaaliakselin välinen kulma (sisäkierto positiivinen), THipX = tukijalan lonkan koukistus, TKneeX = tukijalan polven koukistus.

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
dYSEZ	.500*	.041	.222	.446	-.214	.443
PHipX	.350	.168	-.332	.246	.568*	.027
PelX	.365	.149	.609*	.021	.204	.467
PelY	-.015	.955	.697**	.006		
PelZ	.189	.468	.732**	.003		
ThxX	.385	.127	.635*	.015	.404	.136
ThxY	.199	.445	.596*	.025		
ThxZ	.184	.480	.771**	.001		
TFootZ	-.289	.260	.769**	.002	.321	.243
THipX	.390	.122	.604*	.022	.289	.296
TKneeX	.422	.092	.604*	.029	.168	.550

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 17. Tärkeimmät kolmiulotteisen liikeanalyysin muuttujat, jotka korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vähintään yhdessä laukaisutyypissä kiekon irtoamishetkellä osa 2/2. YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus, YShoY = yläkäden olkanivelen loitonuus, YShoZ = yläkäden olkanivelen sisäkierto, vCOMY = massakeskipisteen y-suuntainen lineaarinopeus (laukaisusuuntaan negatiivinen), SpineXnop = vartalon koukistuksen nopeus, ThxZnop = ylävartalon kierron nopeus (yläkäden suunta positiivinen), YShoXnop = yläkäden olkanivelen koukistuksen nopeus.

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
YShoX	.201	.439	.565*	.035	.225	.420
YShoY	-.507*	.038	-.103	.725	.018	.950
YShoZ	-.623**	.008	-.187	.523	-.418	.121
vCOMY	-.120	.646	-.604*	.022	-.354	.196
SpineXnop	.551*	.022	.266	.358	.014	.960
ThxZnop	-.309	.228	-.292	.311	-.557*	.031
YShoXnop	-.574*	.016	-.574*	.032	-.089	.752

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 18. Tärkeimmät kolmiulotteisen liikeanalyysin muuttujat, joiden maksimiarvot korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vähintään yhdessä laukaisuutyypissä. vELBYmax = yläkäden kyynärpään markkerin maksimaalinen y-suuntainen lineaarinopeus, AEIbX = alakäden kyynärnivelen koukistus, PelX = lantion etukallistus, PelZ = lantion kierto (yläkäden puoli positiivinen), ThxX = ylävartalon etukallistus, THipX = tukijalan lonkan koukistus, YShoY = yläkäden olkanivelen loitonuus, AEIbXnop = alakäden kyynärnivelen koukistuksen nopeus, PKneeXnop = potkaisevan polven koukistuksen nopeus, SpineXnop = vartalon koukistuksen nopeus, YShoYnop = yläkäden olkanivelen loitonnuksen nopeus, YShoZnop = yläkäden olkanivelen sisäkierron nopeus

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
vELBYmax	.368	.147	.631*	.016	.311	.260
AEIbX	-.086	.743	-.323	.260	-.521*	.046
PelX	.583*	.014	.754**	.002	.161	.567
PelZ	.191	.462	.758**	.002		
ThxX	.488*	.047	.631*	.016	.479	.071
THipX	.475	.054	.675**	.008	.379	.164
YShoY	.098	.708	.547*	.043		
AEIbXnop	.319	.213	-.059	.840	-.529*	.043
PKneeXnop	-.086	.743	.635*	.015	-.207	.459
SpineXnop	.255	.323	.692**	.006	-.189	.499
YShoYnop	.544*	.024	.666**	.009		
YShoZnop	.564*	.018	.684**	.007		

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 19. Tärkeimmät kolmiulotteisen liikeanalyysin muuttujat, joiden minimiarvot korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vähintään yhdessä laukaisutyypissä. dASFZ = alakäden olkapään markkerin korkeus vähennettynä sormen markkerin korkeudella, PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PHipY = potkaisevan lonkan lähennys, PKneeX = potkaisevan polven koukistus, PelX = lantion etukallistus, ThxX = ylävartalon etukallistus, YShoX = yläkäden olkanivelen koukistus, PHipXnop = potkaisevan lonkan koukistuksen nopeus, THipYnop = tukijalan lonkan lähennyksen nopeus, YShoXnop = yläkäden olkanivelen koukistuksen nopeus, YShoYnop = yläkäden olkanivelen loitonnuksen nopeus

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
dASFZ					-.546*	.035
PHipX	.397	.115	-.297	.303	.518*	.048
PHipY	-.537*	.026	-.266	.358	-.132	.639
PKneeX	.597*	.015	-.49	.075	.361	.187
PelX	.284	.269	.582*	.029	.268	.334
ThxX	.265	.305	.666**	.009	.375	.168
YShoX	.404	.107	.705**	.005		
PHipXnop	-.297	.248	-.622*	.018	.307	.265
THipYnop	-.701**	.002	-.556*	.039	.243	.383
YShoXnop	-.657**	.004	-.398	.159		
YShoYnop	-.515*	.035	-.609*	.021		

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 20. Tärkeimmät kolmiulotteisen liikeanalyysin muuttujat, joiden muutosarvot välillä PA-KEA/TA/LJA korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vähintään yhdessä laukaisutyypissä. PHipX = potkaisevan lonkan koukistus, PKneeX = potkaisevan polven koukistus, PelY = lantion sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), SpineY = vartalon lateraalikoukistus (alakäden puoli positiivinen), ThxY = ylävartalon sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), ThxZ = ylävartalon kierto (yläkäden puoli positiivinen), YShoY = yläkäden olkanivelen loitonnuks, YShoYnop = yläkäden olkanivelen loitonnuksen nopeus

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
PHipX	-.277	.282	-.640*	.014	-.075	.791
PKneeX	.054	.837	-.714**	.004	-.214	.443
PelY	.755***	< .001	.631*	.016	0	1
SpineY	.311	.224	.565*	.035	-.243	.383
ThxY	.645**	.005	.305	.288	.414	.125
ThxZ	-.164	.529	.534*	.049	.025	.930
YShoY	.228	.379	.552*	.041		
YShoYnop	.436	.080	.574*	.032		

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 21. Tärkeimmät kolmiulotteisen liikeanalyysin muuttujat, joiden muutosarvot välillä KEA/TA/LJA-LKL korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vähintään yhdessä laukaisutyypissä. PHipY = potkaisevan lonkan lähennys, PKneeX = potkaisevan polven koukistus, SpineY = vartalon lateraalikoukistus (alakäden puoli positiivinen), ThxY = ylävartalon sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), THipX = tukijalan lonkan koukistus, YShoY = yläkäden olkanivelen loitonuus,

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
PHipY	-.025	.926	-.591*	.026	-.261	.348
PKneeX	.022	.933	.644*	.013	-.329	.232
SpineY	-.282	.273	-.736**	.003	.132	.639
ThxY	.23	.374	.723**	.003	.204	.467
THipX	.216	.406	.552*	.041	.214	.443
YShoY	-.444	.074	-.705**	.005	-.114	.685

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

TAULUKKO 22. Tärkeimmät kolmiulotteisen liikeanalyysin muuttujat, joiden vaihteluvälit korreloivat merkitsevästi laukaisunopeuteen vähintään yhdessä laukaisutyypissä. AEIbX = alakäden kyynärnivelen koukistus, PeIY = lantion sivukallistus (yläkäden puoli positiivinen), SpineZ = vartalon kierto (positiivinen, kun ylävartalo lantiota enemmän alakäden puolella), YShoY = yläkäden olkanivelen loitonuus

Muuttuja	AY (n = 17)		YA (n = 14)		L (n = 15)	
	r	p	r	p	r	p
AEIbX	-.010	.970	-.292	.311	-.582*	.023
PeIY	.561*	.019	.314	.274	.236	.398
SpineZ	-.498*	.042	-.451	.106	-.161	.567
YShoY	.257	.319	.846***	< .001		

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001