

PESÄPALLON PERUSLYÖNNIN LIIKEANALYYSI

Juha-Pekka Kulmala

Kandidaatin tutkielma

Biomekaniikka

Kevät 2006

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Mikko Virmavirta

TIIVISTELMÄ

Pesäpallon lyönti on vaativa suoritus, jota on tutkittu hyvin vähän. Lyönnin onnistumiseksi osuma palloon on ensisijaisen tärkeää. Lyönnin kovuus määräytyy osuman lisäksi lähinnä mailan nopeudesta. Lyönnin tärkein vaihe on lyöntikierto, jonka aikana lyöjän täytyy siirtää vauhdin horisontaalinen nopeus vartalon oikea-aikaiseksi kiertonopeudeksi ja edelleen käsien kautta mailan kulmanopeudeksi. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pesäpallon lyönnin tekniikkaa tarkastelemalla lyöntikierron aikaista vartalon asentoa sekä eri segmenttien ja mailan nopeuksia sekä liikkeiden ajoitusta. Koehenkilöinä toimi viisi pesäpalloilijaa, jotka suorittivat useita lyöntejä valitsemistaan syötöistä. Lyöntisuoritukset kuvattiin kahdella high speed -kameralla (200 Hz) sivusta etu- ja takaviistosta lyöntisuuntaan nähden. Liikeanalyysillä tarkasteltavaksi suoritukseksi valittiin lyönti, jossa pallon lähtönopeus tutkalla mitattuna kasvoi suurimmaksi. Vartalonkierto alkoi ensin lantiosta, jonka suurin keskimääräinen kiertonopeus oli 563 °/s. Seuraavaksi kiertyivät hartiat ja kädet saavuttaen kiertonopeudet 1006 °/s ja 1456 °/s . Viimeisenä alkoi mailan heilautus 0.08 s ennen osumaa. Mailan suurin lineaarinen nopeus 47.2 m/s ajoittui keskimäärin 0.015 s ennen osumaa. Osumahetkellä mailan ja käsien välinen jättökulma oli 128°. Pallon keskimääräinen lähtönopeus oli 43.4 m/s (155.9 km/h). Mailan pään nopeuden nousu lisäsi lineaarisesti pallon lähtönopeutta. Voima mailan heilautukselle tuotettiin kineettisen ketjun avulla, jonka toiminnassa on melko suuria yksilöllisiä eroja. Kovassa lyönnissä vartalon ja erityisesti ranteiden toiminnan oikea ajoitus näyttäisi olevan merkittävässä roolissa.

Avainsanat: Pesäpallo, Lyönti, tekniikka, liikeanalyysi

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	5
2 PESÄPALLON PERUSLYÖNNIN TEKNIikka.....	6
2.1 Vauhti.....	6
2.2 Lyöntikierto.....	6
3 LYÖNTISUORITUKSEN BIOMEKANIikka.....	7
3.1 Reaktiivoimat.....	7
3.2 Segmenttien biomekaniikka.....	8
3.2.1 Kineettinen ketju ja segmenttien liike.....	8
3.2.2 Lihasaktiivisuudet.....	10
3.3 Venymis-lyhenemissyklus.....	12
4 PALLON LÄHTÖNOPEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	13
4.1 Mailan nopeus.....	13
4.2 Osumakohta.....	14
4.4 Mailan elastisuus.....	15
4.3 Mailan hitausmomentti.....	15
4.5 Otteen puristusvoima.....	15
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	17
6 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	18
6.1 Mittausasetelma.....	18
6.2 Liikeanalyysi.....	18

7	TULOKSET.....	20
7.1	Mailan ja pallon nopeudet.....	20
7.2	Vartalon ja mailan kulmat.....	22
7.3	Vartalon kiertonopeudet.....	24
7.4	Liikkeiden ajoitus.....	26
8	POHDINTA.....	27
9	LÄHTEET.....	32

1 JOHDANTO

Pesäpallossa kova lyöntinopeus on usein yksi tärkeimpiä hyvän lyöjän ominaisuuksia. Kova lyönti vaikeuttaa ulkokentän sijoittumista ja pallon kiinni saamista. Pesäpallon lyönnissä vaaditaan räjähtävää voimaa ja nopeutta sekä ennen kaikkea taitoa. Pelitilanteissa lyöntiä vaikeuttaa syötön yllätyksellisyys, korkeus sekä pallon sijainti syöttölautasen sallimissa rajoissa. Lisäksi joissakin tilanteissa lyöjä voi joutua tekemään lyöntisuorituksen väärästäkin syötöstä.

Pesäpallon lyöntisuorituksen biomekaniikasta on olemassa tutkimus (Luhtanen 1984), jossa tutkittiin eri-ikäisten pesäpalloilijoiden lyöntisuorituksia. Muita biomekaanisia tutkimuksia pesäpallon lyönnistä ei ole julkaistu. Eri tasoisten pelaajien lyöntejä analysoimalla voidaan löytää suoritusten välisiä eroja hyvän ja huonon lyöntitekniikan välillä. Tämän perusteella voidaan määrittää tiettyjä hyvän lyöntitekniikan tunnuspiirteitä.

Kokenut valmentaja osaa erottaa silmämääräisesti lyöntisuorituksessa ilmeneviä eroja hyvän ja huonon lyöjän välillä, mutta silmän erottelukyky ei riitä näin lyhyen ja suuria liikenopeuksia sisältävän liikkeen tarkkaan havainnoitiin. Lyöntisuorituksen kinemaattisten muuttujien tarkempaan analysointiin voidaan hyödyntää liikeanalyysiä, jonka avulla eri segmenttien liikkeitä voidaan tarkastella tarkemmin.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää pesäpallon lyönnin tekniikkaa tarkastelemalla lyöntikierron aikaista vartalon asentoa sekä eri segmenttien ja mailan nopeuksia, liikerataa sekä liikkeiden ajoitusta. Lisäksi pyritään selvittämään eri lyöjien suoritusten perusteella, mitkä tekijät lyöntisuorituksessa vaikuttavat merkittävimmin mailan nopeuteen ja siten pallon lähtönopeuteen.

2 PESÄPALLON PERUSLYÖNNIN TEKNIikka

2.1 Vauhti

Vauhti alkaa alkuasennosta, jossa lyöjä pitää mailaa rennosti olkapäällä ja on osittain selkä lyöntisuuntaan päin kääntyneenä. Takaa katsottuna vasemmalta lyövällä pelaajalla käsien ote mailan päästä on useimmiten sellainen, että vasen käsi on oikean alapuolella. Alkuasennossa jalat ovat suunnilleen hartioden leveydellä toisissaan. (Piirainen 1999.)

Lyöntisuoritus lähtee liikkeelle kolmen askeleen rytmikkäällä ja kiihtyvällä vauhdilla. Ensimmäinen askel (rytmiaskel) otetaan etummaisella jalalla eteen. Askel on melko lyhyt ja sen avulla säädellään lyöntisuuntaa sekä sovitetaan vauhti syötön mukaiseksi. Toinen askel (ristiaskel) otetaan takimmaisella jalalla etujalan ohi taakse. Kolmas askel (lyöntiaskel) otetaan taas etummaisella jalalla sopivan etäisyyden päähän syöttölautasesta. Vauhdin pituudessa on yksilöllisiä eroja eri lyöjien kesken. (Piirainen 1999.)

2.2 Lyöntikierto

Varsinainen lyöntikierto alkaa viimeisen lyöntiaskeleen aikana voimakkaasta vastakierrosta (hartialinja kiertyy lyöntisuuntaan nähden vastakkaiseen suuntaan) painon ollessa takimmaisella jalalla. Etu- eli tukijalan lähestyessä maata lantio alkaa kiertyä eteenpäin, jonka jälkeen vartalo ja hartiat alkavat kiertyä voimakkaasti lyöntisuuntaa kohti. Etu- eli tukijalan koskettaessa maata alkaa käsien kiertyminen alemman käden olkavarsi edellä mailan jäädessä vielä taakse. Kynärpäiden ja ranteiden ojentuminen alkaa hieman ennen palloon osumishetkeä, jolloin myös maila alkaa ojentumaan käsien jatkoksi. Mailan osuessa palloon käsien tulisi olla täysin ojentuneena ja mailan käsien jatkona hartialinjan korkeudella. Osumahetkellä mailan nopeus tulisi olla suurin. (Piirainen 1999.)

Palloon osumisen jälkeen seuraa *saattovaihe*, jonka aikana mailan liike jatkuu vartalon takapuolelle. Lyöjän painopiste siirtyy tukijalan yli eteen ja samalla takajalka siirtyy tukijalan viereen tai sen eteen. (Piirainen 1999.)

3 LYÖNTISUORITUKSEN BIOMEKANIikka

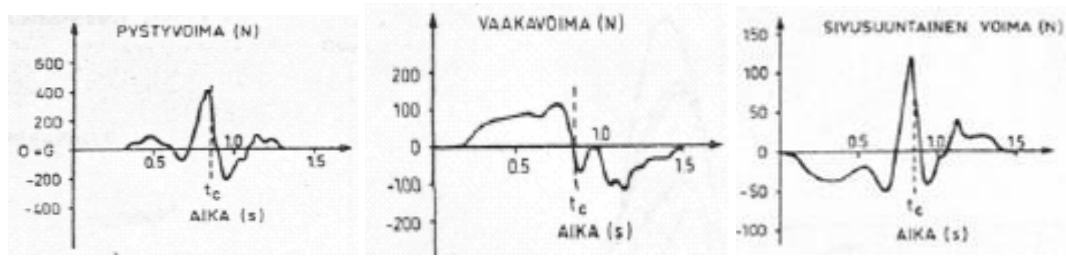
3.1 Reaktivoimat

Pesäpallon lyöntisuoritus alkaa kolmen askeleen vauhdilla. Lyöntikierron aikana jaloista kohdistuu alustaan pysty- vaaka- ja sivusuuntaisia voimia. Lyönnin viimeisen askeleen aikana lyöjän paino siirtyy takajalalta etu- eli tukijalle, joka toimii osumavaiheessa ”pönkkänä” kiertoliikkeen suorittamiselle.

Luhtanen (1984) mittasi F-A- ikäisten pesäpalloilijoiden paikaltaan suoritettua pesäpallon lyöntikierron tuottamia reaktivoimia yhden voimalevyanturin avulla. Hän raportoi reaktivoimien kasvavan vanhemmissa ryhmissä (taulukko 1). Lisäksi vanhemmissa ryhmissä maksimivoimat ajoittuvat lähemmäksi osumahetkeä. Pysty- ja sivusuuntaiset voimat saavuttivat maksimiarvonsa keskimäärin vähän ennen palloon osumishetkeä. Vaakavoimien arvot olivat muuttuneet negatiiviseksi ennen palloon osumishetkeä (kuva 1). Tällä jarruttavalla voimalla pystytään tehostamaan kiertoliikkeitä tuottavia voimia, kiihtyvyyksiä ja nopeuksia. (Luhtanen 1984.)

TAULUKKO 1. Paikaltaan suoritettua lyöntikierron aiheuttamat reaktivoimien maksimiarvot (Luhtanen 1984).

Ikäryhmä	Pystyvoima (N)	Vaakavoima (N)	Sivusuuntainen voima (N)
F	94±25	29±10	47±22
E	145±21	30±14	55±4
D	213±45	24±8	103±22
C	400±125	65±17	110±27
B	430±139	17±25	167±23
A	367±21	133±06	135±19



KUVA 1. Pysty-, vaaka- ja sivusuuntaisten reaktiivoimien käyttäytyminen paikaltaan suoritettun lyönnin aikana (Luhtanen 1984).

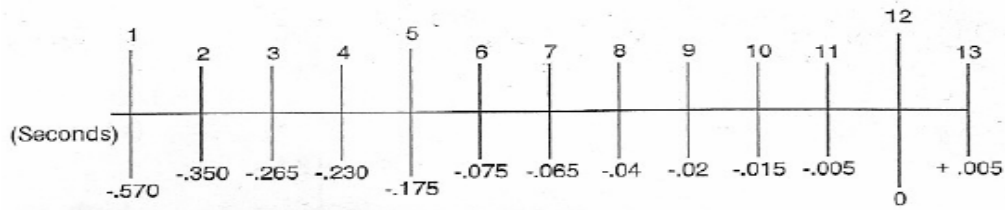
Welch ym. (1995) tarkasteli baseball-lyönnin aikaisia alustan reaktiivoimia. Lyöjän tukijalan kokonaisvoimaksi maahan osumishetkellä saatiin keskimäärin 1007 N (n. 123 % lyöjän kehon painosta). Osumahetkellä tukijalan voima oli 709 N (84 % kehon painosta). Takimmaisena jalan voimat olivat selvästi pienempiä. (Welch ym. 1995.)

3.2 Segmenttien biomekaniikka

3.2.1 Kineettinen ketju ja segmenttien liike

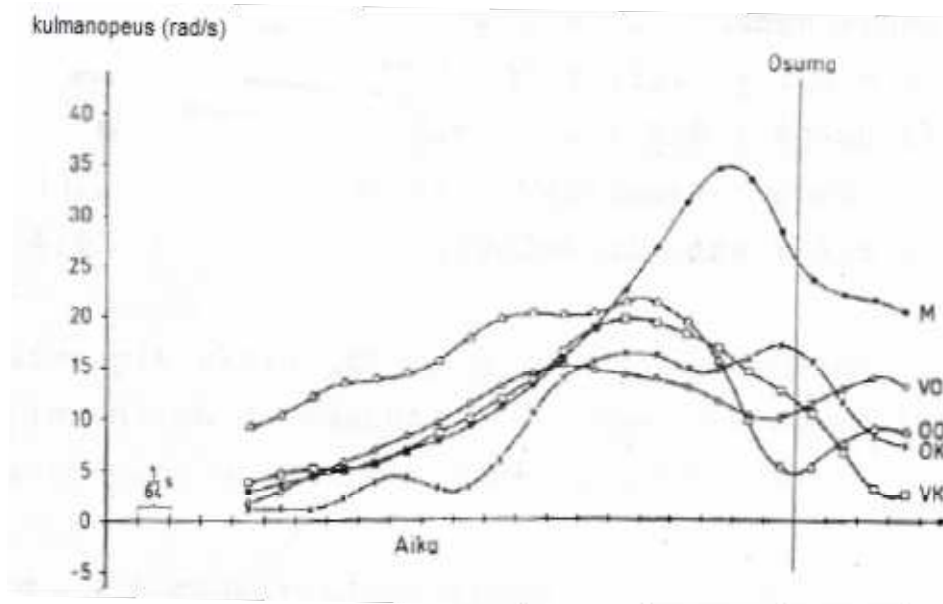
Tukijalan törmäysvoiman sekä kehon liike-energia siirtyminen vartalon alaosaan aina mailaan asti voidaan nähdä kineettisenä ketjuna, jossa kiertomomentit etenevät lyöjää pitkin alhaalta ylöspäin. Lyöntikierron kineettisessä ketjussa lonkan liike-energia siirtyy ensin hartioihin, sitten käsiin ja lopulta mailaan. Kun alemman segmentin liike hidastuu, niin ylemmän segmentin liike kiihtyy ja energia siirtyy ketjussa eteenpäin. (Welch ym. 1995.)

Kineettisen ketjun toimintaa kuvaa kehon eri nivelpisteiden maksimaalisten nopeuksien ajankohta (Valleala 2002). Welch ym. (1995) mukaan baseball-lyönnissä alempien segmenttien maksiminopeudet saavutetaan ennen ylempien segmenttien nopeuksia. Eri segmenttien liikkeen ajoitusta ennen osumahetkeä on kuvattu kuvassa 2. Hän mittasi myös vartalon segmenttien kiertoa ja kiertonopeutta. Lyönnin aikainen kokonaiskierron määrä lantiossa oli 111° , hartioissa 118° ja käsissä 139° . Maksimaalinen kiertonopeus oli lantiossa $714^\circ/\text{s}$, hartioissa $937^\circ/\text{s}$ ja käsissä $1160^\circ/\text{s}$. (Welch ym. 1995.)



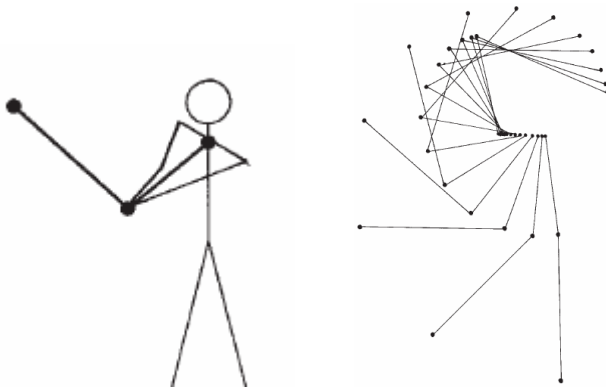
KUVA 2. Eri segmenttien liikkeen ajoitus ennen osumaa baseball-lyönnissä: 1) tukijalkajalka ilmaan, 2) lonkan maksimaalinen kierto, 3) olkapäiden maksimaalinen kierto, 4) käsien maksimaalinen kierto, 5) tukijalka alas, 6) lantion suurin kulmanopeus, 7) olkapäiden ja käsien suurin kulmanopeus, 8) mailan maksiminopeus pysty- ja sivusuunnassa, 9) mailan suurin kulmanopeus, 10) mailan suurin lineaarinen nopeus ja oikean kyynärnivelen suurin ojennusnopeus, 11) mailan suurin lyöntisuuntainen nopeus, 12) osuma, 13) suurin vasemman kyynärnivelen ojennusnopeus. (Welch ym. 1995.)

Liike-energian siirtymistä segmentiltä toiselle havaitaan myös pesäpallon lyönnissä. Vasemmalta lyötäessä ylävartalon liikkeistä aluksi dominoivia ovat olkavarsien, etenkin oikean olkavarren liike. Kun olkavarren kulmanopeus hidastuu, oikean kyynärvarren kulmanopeus lisääntyy (kuva 3). (Luhtanen 1984.)



KUVA 3. Pesäpallomailan sekä kyynär- ja olkavarsien kulmanopeudet lyöntisuorituksen aikana (M = maila, OO = oikea olkavarsi, VO = vasen olkavarsi, OK = oikea kyynärvarsi ja VK = vasen kyynärvarsi) (Luhtanen 1984).

Käsien ja ranteiden toiminta. Lyöntisuorituksessa vartalon liike-energia siirtyy mailaan käsien ja lopulta ranteiden kautta. Golf-lyönnissä mailan heilautusta on kuvattu kaksivipuisen, yksisaranaisen heilurimallin avulla (kuva 4). Ylempi vipu kuvaa lyöjän käsiä, jotka kiertyvät vartalon akselin (keskiö hartioiden puolivälissä) ympäri. Alempana vipuna toimii maila ja saranana rannenivel. (Penner 2002.) Optimaalisella ranteiden käytöllä pystytään Springs ym. (2000) mukaan lisäämään Golf-lyönnissä mailan pään nopeutta 9%. Tässä ns. ”delayed release” -tekniikassa ranteet pyritään pitämään ylöspäin käännettynä mahdollisimman pitkään alas heilautusvaiheessa, vaikka keskipakoisvoima pyrkiikin suurentamaan maila-käsikulmaa ja ”vapauttamaan” ne vain hetkeä ennen osumaa. Tällöin kulmanopeus osumahetkellä saadaan maksimoitua (Springs ym. 2000).

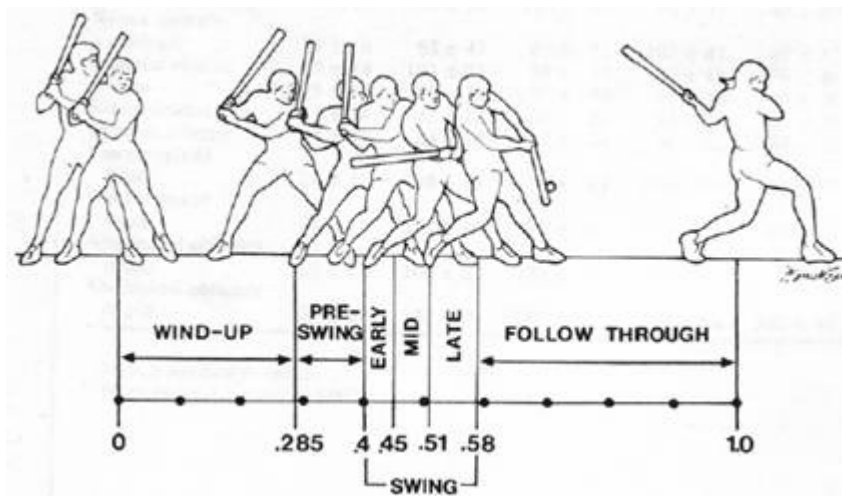


KUVA 4. Lyöntisuorituksen kaksivipuinen heilurimalli (Penner 2002).

3.2.2 Lihasaktiivisuudet

EMG:n (elektromyografia) avulla voidaan rekisteröidä liikkeen aikaista lihasaktiivisuutta. Tämän avulla saadaan tietoa eri lihasten osallistumisesta suoritukseen sekä aktiivisuuden ajoituksesta suorituksen eri vaiheissa. Pesäpallon lyönnin aikaisista lihasaktiivisuuksista ei ole julkaistu tutkimuksia. Shaffer ym. (1993) tutki pinta-EMG-elektrodien avulla baseball-lyönnin aikaista lihasaktiivisuutta suorituksen eri vaiheissa (kuva 5). Hän havaitsi, että lyöntisuorituksen aikana lihasten korkea lihasaktiivisuus siirtyy jaloista vartalon alaosiin ja lopulta ylävartaloon sekä käsiin. Erityisen korkea aktiivisuus oli keskivartalon lihaksilla. Tämän perusteella voidaan todeta, että selkä- ja vatsalihaksilla tärkeä osuus kineettisen energian siirtämisessä alavartalosta ylöspäin sekä vartalon sta-

biloinnissa lyönnin aikana. Taulukossa 2 on kuvattu lihasaktiivisuuden määrää baseball-lyönnin eri vaiheissa. (Shaffer ym. 1993.)



KUVA 5. Baseball-lyönnin eri vaiheet (Shaffer ym. 1993).

TAULUKKO 2. Baseball-lyönnin eri vaiheiden lihasaktiivisuus prosentteina suhteessa kunkin lihaksen maksimaalisen supistuksen arvoon (Shaffer ym. 1993).

Muscle	Phase					
	Wind-Up	Pre	Early	Middle	Late	Follow-Through
Semimembranosus	46 ± 30	157 ± 68	90 ± 62	69 ± 45	59 ± 59	39 ± 59
Biceps femoris	44 ± 36	154 ± 76	100 ± 71	57 ± 47	43 ± 40	31 ± 23
Gluteus maximus	25 ± 19	132 ± 53	125 ± 45	65 ± 37	45 ± 40	26 ± 31
Vastus medialis						
obliques	26 ± 16	63 ± 47	85 ± 52	107 ± 47	97 ± 32	78 ± 30
Posterior deltoid	17 ± 14	101 ± 91	88 ± 37	82 ± 45	76 ± 40	26 ± 25
Triceps	25 ± 17	46 ± 39	92 ± 50	73 ± 35	38 ± 28	23 ± 14
Supraspinatus	13 ± 14	32 ± 18	28 ± 20	32 ± 24	32 ± 25	25 ± 21
Serratus anterior	18 ± 10	33 ± 28	32 ± 24	39 ± 32	39 ± 32	21 ± 15
Erector spinae (lead)	24 ± 17	94 ± 38	171 ± 93	136 ± 78	98 ± 78	58 ± 48
Erector spinae (trail)	24 ± 15	127 ± 34	176 ± 89	131 ± 66	85 ± 55	68 ± 69
Abdominal obliques (lead)	22 ± 15	109 ± 82	132 ± 92	108 ± 77	101 ± 53	101 ± 51
Abdominal obliques (trail)	30 ± 24	142 ± 70	168 ± 116	129 ± 63	132 ± 91	134 ± 71

Mean ± standard deviation.

Numbers are in percentage MMT. (=maximum muscle test)

3.3 Venymis-lyhenemissyklus

Pesäpallon lyöntisuorituksessa vauhdin aikana vartaloa kierretään ensin lyöntisuuntaan nähden vastakkaiseen suuntaan, jonka jälkeen vartaloa aletaan kiertämään eteenpäin alavartalosta lähtien. Näin lyönnin eteenpäin kierron vaiheeseen saadaan lisää voimaa venymis-lyhenemissyklusta hyödyntäen.

Venymis-lyhenemissyklus tarkoittaa lihaksen venymistä ennen supistumisvaihetta. Näin tapahtuu lähes kaikessa ihmiselle luonnollisessa liikkeessä. Kun lihasta venytetään ennen lyhenemissupistumista (esim. vertikaalihinnoitus kevennyksellä), se pystyy tuottamaan suuremman positiivisen työn verrattuna suoritukseen, jossa lyhenemissupistus suoritetaan ilman venytystä (esim. vertikaalihinnoitus ilman kevennystä). (Enoka 2002.)

Enoka (2002) ehdottaa neljää mekanismia, jotka saattavat selittää venymislyhenemissykluksessa saavutettavaa suurempaa positiivista työtä:

- 1) voimantuottoajan lisääntyminen venymisvaiheen edeltäessä lyhenemisvaihetta
- 2) lihaksen elastisiin komponentteihin venymissupistuksen aikana varastoituvan energian käyttö lyhenemissupistuksen aikana
- 3) poikittaissiltojen, jotka saavat aikaan lihassolun supistumisen, hetkellisesti suurempi voimantuotto esivenytyksen seurauksena
- 4) lihaksen nopean venytyksen synnyttämän venytysrefleksin aiheuttama lihasaktiivisuuden ja voimantuoton lisääntyminen.

4 PALLON LÄHTÖNOPEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Pesäpallon lyönnin jälkeinen pallon lähtönopeus riippuu osuman tarkkuudesta sekä pituus että korkeussuunnassa (osuma-alue), mailan nopeudesta, hitausmomentista, elastisuudesta sekä otteen puristusvoimasta osumahetkellä (Luhtanen 1984). Kun eri pelaajat tekevät lyöntisuorituksen samalla mailalla, erot lyöntinopeudessa johtuvat pääasiassa mailan nopeudesta osumahetkellä sekä osuman tarkkuudesta. Tutkimuksessaan Luhtanen (1984) mittasi pesäpallon lähtönopeudeksi (A-nuoret) paikaltaan lyötäessä $28,2 \pm 1,8$ m/s. Vuoden 2005 itä-länsiottelussa suoritettua lyöntikilpailussa pallon lähtönopeus oli parhaillaan 179 km/h (49,7 m/s) (Pesäpalloliitto 2005, www-lähde).

4.1 Mailan nopeus

Kun lyönnissä pyritään saamaan pallolle suuri lähtönopeus, on mailan nopeus osumahetkellä saatava mahdollisimman suureksi. Mailan osumakohdan lineaarinen nopeus osumahetkellä riippuu mailan osumakohdan kiertoradan säteestä (käsien ja mailan osumakohdan yhteispituus) sekä mailan kulmanopeudesta. Kiertoradan säteen maksimointiseksi täytyy kädet ojentaa ja mailan on oltava käsien suuntaisesti. Tämän jälkeen mailan lineaarisista nopeutta voidaan kasvattaa enää kulmanopeutta nostamalla. (Hume ym. 2005.) Toisaalta kiertoradan sädettä voitaisiin kasvattaa myös siirtämällä osumakohtaa mailan distaaliseen suuntaan, mutta tällöin pallon lähtönopeus jää pienemmäksi osumakohdan siirtyessä pois optimaaliselta osuma-alueelta (Weyrich ym. 1989).

Luhtanen (1984) mittasi mailan lineaarisia nopeuksia osumahetkellä. Vanhimmat ikäryhmät saavuttivat suurimmat mailan osumakohdan lineaariset nopeudet, jotka olivat keskimäärin 24 m/s (taulukko 3). Mailan maksiminopeudet ajoittuivat kaikissa ikäryhmissä keskimäärin 33-44 ms ennen osumaa. Prosentuaalinen kulmanopeuden lasku mailan painopisteen kohdalla maksiminopeudesta osumahetken nopeuteen oli nuorimassa ryhmässä noin 18 % ja vanhimmassa ryhmässä noin 6 %. (Luhtanen 1984.)

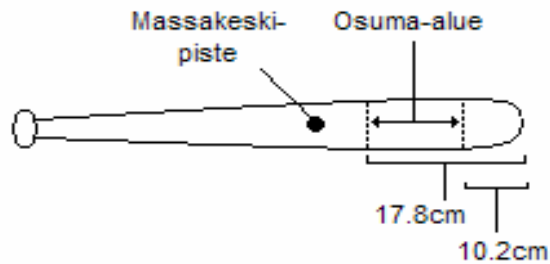
TAULUKKO 3. Mailan lineaarinen nopeus osumahetkellä sekä maksiminopeuden ajoitus ennen osumaa (Luhtanen 1984).

Mailan lineaarinen nopeus osumahetkellä (m/s)				
ryhmä	käsiotteen kohdassa	mailan painopisteen kohdassa	mailan osumakohdassa	maksiminopeuden ajoitus ennen osumaa (ms)
F	2,5±0,8	8,2±0,6	12,1±1,5	44±7
E	1,6±0,3	10,7±0,5	16,7±0,8	31±0
D	3,4±0,6	13,9±1,0	20,5±1,9	36±6
C	3,7±0,8	13,9±1,3	19,5±2,7	41±8
B	5,5±0,3	15,8±0,7	24,0±1,7	34±6
A	4,8±1,1	14,9±1,5	22,1±1,4	33±2

Welch ym. (1995) raportoivat tutkimuksessaan baseball-lyönnissä mailan lineaarisesti nopeudeksi osumahetkellä keskimäärin 29 m/s. Mailan maksiminopeus 31 m/s ajoittui 0,015s ennen osumaa. Mailan suurin kulmanopeus käsiin nähden oli 1588 /s ja ajoittui 0.020s ennen osumaa. (Welch ym. 1995.) Nicholls ym. (2005) mittasivat baseball-lyönnissä pallon lähtönopeudeksi alumiinimailalla lyötäessä keskimäärin 61,5 m/s ja 50,9 m/s lyötäessä puumailalla. Erot lähtönopeuksissa alumiini- ja puumailojen välillä johtuivat tutkijoiden mukaan alumiinimailan pienemmästä hitausmomentista verrattuna puumailaan, jolloin alumiinimailan nopeus osumahetkellä saatiin puumailaa suuremmaksi. (Nicholls ym. 2005).

4.2 Osumakohta

Pallon oikea osumakohta on mailan nopeuden ohella toinen merkittävä lähtönopeuteen vaikuttava tekijä. Lähtönopeuden maksimoimiseksi lyönnissä pallon tulee osua mailan poikittaissuunnassa keskelle mailaa sekä pituussuunnassa mailan osuma-alueelle. Tällöin energian siirtyminen palloon on optimaalista. Mailan optimaalisen osuma-aleen sijainti vaihtelee eri mailojen kesken. Crisco ym. (2002) tutkivat tietyn baseball-mailan ominaisuuksia. Heidän mukaan kyseisessä mailassa optimaalinen osuma-alue on mailan distaalaisesta päästä mitattuna 10,2–17,8 cm (kuva 6). Baseball-lyönnissä pallon osuessa osuma-alueen ulkopuolelle lähtönopeus laskee keskimäärin 4,5 m/s jokaista 2,5 cm kohden. (Crisco ym. 2002.)



KUVA 6. Baseball-mailan optimaalinen osuma-alue (Crisco ym. 2002).

4.3 Mailan elastisuus

Mailojen erilaisista materiaaleista sekä valmistustekniikasta johtuvat elastiset ominaisuudet vaikuttavat pallon lähtönopeuteen. Baseball-lyönnissä Crisco ym. 2002 mukaan alumiinimailan elastisuus on puumailaa parempi ja siksi pallon lähtönopeus suurempi. Weyrich ym. (1989) mukaan lyötäessä saman hitausmomentin omaavalla alumiini- ja puumailalla, saavutetaan suurempi pallon lähtönopeus puumailalla.

4.4 Mailan hitausmomentti

Mailan hitausmomentti lyötäessä koostuu mailan massasta, pituudesta, painopisteen paikasta sekä käsiotteen sijainnista (Luhtanen 1984). Hitausmomentin ollessa pieni mailan maksimaalinen nopeus saadaan suuremmaksi kuin suuremman hitausmomentin mailalla. Jos kahden eri mailan elastiset ominaisuudet sekä nopeus osumahetkellä ovat samat, saavutetaan suurempi pallon lähtönopeus suuremman hitausmomentin mailalla. (Shaw 2004.)

4.5 Otteen puristusvoima

Otteen puristusvoiman merkitys pallon lähtönopeuteen on epäselvä. Pesäpallossa aiheuta ei ole tutkittu. Weyrich ym. (1989) ovat todenneet tutkimuksessaan, että baseballin

lyöntisuorituksessa otteen tiukka puristus lisää pallon lähtönopeutta verrattuna löysään otteeseen, varsinkin lyötäessä alumiinimailalla. Puumailalla lyötäessä otteen tiukkuudella oli vähemmän vaikutusta pallon lähtönopeuteen (Weyrich ym. 1989). Shaw (2004) toteaa, että tiukan otteen avulla saadaan hieman suurempi (korkeintaan 1,5 mph/h) pallon lähtönopeus rentoon otteeseen verrattuna. Golf-lyönnin pituuden maksimoimisessa Hume ym. (2005) toteavat, että otteen mailasta tulee olla rento.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksessa tarkoituksena oli tarkastella liikeanalyysin avulla lyöntisuorituksen aikaista vartalon toimintaa. Vartalon asentoa sekä eri segmenttien ja mailan nopeuksia sekä liikkeiden ajoitusta selvitettiin lyöntikierron aikana. Lisäksi pyrittiin selvittämään eri lyöjien suoritusten perusteella, mitkä edellä mainitut tekijät vaikuttavat pesäpallon peruslyönnissä merkittävimmin mailan nopeuteen ja siten pallon lähtönopeuteen.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Mittausasetelma

Mittaukset suoritettiin Jyväskylän Hipposhallissa 22.4.2006. Koehenkilöinä oli viisi pesäpalloilijaa. Henkilöt tekivät useita lyöntisuorituksia valitsemistaan syötöistä. Analysoitavaksi suoritukseksi valittiin se, jossa lyönnin lähtönopeus oli suurin. Suorituksista analysoitiin lyöntikierron aikaisia kehonosien ja mailan nopeuksia, kulmia sekä liikkeiden ajoitusta.

6.2 Liikeanalyysi

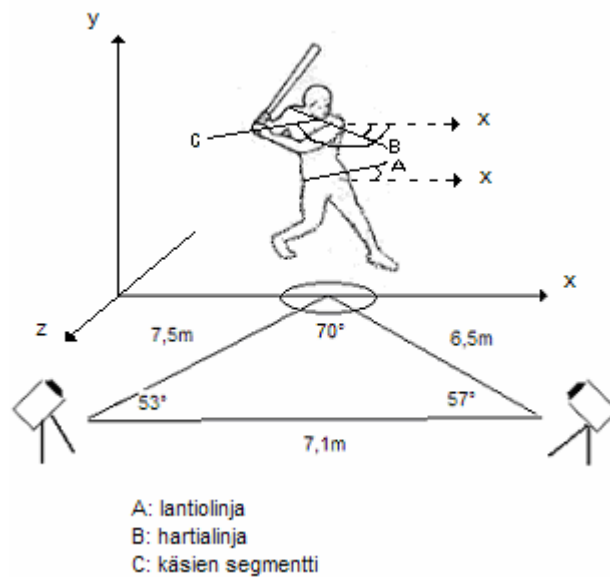
Lyöntisuoritukset kuvattiin kahdella high speed –kameralla (Peak System) kuvanopeudella 200 kuvaa/sek. Toinen kamera sijoitettiin kuvaamaan suoritusta etuviistosta lyöntisuuntaan nähden ja toinen takaviistosta lyöntisuuntaan nähden kuvan 7 mukaisesti. Lyöjän nivelpisteet merkattiin teipillä liikeanalyysin tekoa varten. Kameroiden ajallinen synkronisointi toteutettiin mailan ja pallon osumakontaktin aiheuttaman äänisignaalin perusteella, joka rekisteröitiin radiopuhelimen avulla videonauhalle.

Kahden kameran taltioimasta kuvasta tehtiin Peak Motus-tietokoneohjelman (versio 8.5) avulla kolmiulotteinen liikeanalyysi. Ohjelma määrittäi kolmiulotteiset koordinaatit Direct Linear Transformation (DLT) –tekniikan avulla. Koordinaatit suodatettiin Butterworth –suodattimella 10 Hz taajuudella. Mailan pään koordinaattien suodattamisessa käytettiin 20 Hz taajuutta, koska nopeus nousi hetkellisesti niin suureksi. Koordinaatisto asetettiin siten, että x-akseli oli lyönnin suuntaisesti, y-akseli pystysuunnassa ja z-akseli syvyysuunnassa (kuva 7).

Liikeanalyysissä käytettiin 17 segmentin mallia (De Leva 1996). Lantiolinja määritettiin kulkemaan vasemmasta lonkkanivelestä oikeaan ja hartialinja vasemmasta olkanivelestä oikeaan. Vartalolinja määritettiin hartialinjan puolivälistä lantiolinjan puoliväliin. Käsi-
en yhteinen segmentti määritettiin hartialinjan puolivälistä ranteiden keskelle. Lantio-,

hartia- ja käsisegmenttien kiertoa tarkasteltiin x-akseliin nähden kuvan 7 mukaisesti. Segmenttien välinen nivelkulmakulma ilmoitettiin siten, että täydellinen ojennus on 180° .

Mailan liikettä tarkasteltiin mailan kulmanopeuden ja mailan pään lineaarisen nopeuden avulla. Mailan kulmanopeus määritettiin sekä x-akseliin nähden että suhteessa käsien segmenttiin. Mailan ja käsien segmentin välinen kulma ilmoitettiin siten, että kulma on 180° , jos maila on suoraan käsien jatkona. Mailan pään lineaarinen nopeus saatiin yhdistämällä kaikkien tasojen suuntaiset nopeudet resultanttinopeudeksi.



KUVA 7. Kameroiden ja koordinaatiston sijoitus. Lyöntisuoritus tehtiin x-akselin suunnassa. Segmenttien kulma ilmoitettiin positiivisena, kun se ei ollut vielä ylittänyt x-akselin tasoa (kuvassa hartialinja ja käsien segmentti). Kulma ilmoitettiin negatiivisena, kun segmentti oli ylittänyt x-akselin tason (kuvassa lantaihinja).

7 TULOKSET

Analysoitavaksi suoritukseksi valittiin kaikilta koehenkilöiltä lyönti, jonka lähtönopeus tutkalla mitattuna oli suurin. Liikeanalyysin avulla lyöjästä tehtiin kolmiulotteinen segmenttimalli, jonka liikkeiden perusteella määritettiin kehonosien ja mailan nopeuksia ja kulmia sekä liikkeiden ajoitusta.

7.1 Mailan ja pallon nopeudet

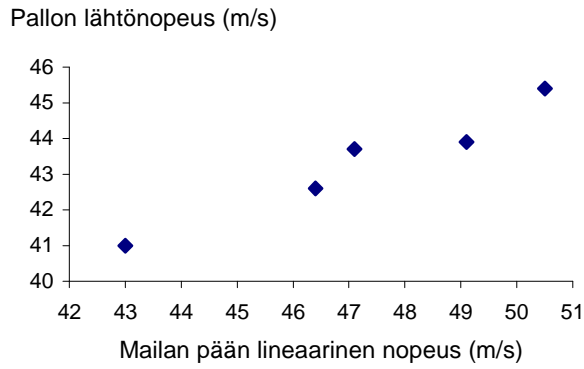
Mailan ja pallon nopeudet on esitetty taulukossa 4. Lyöjällä 3 mailan lineaarinen nopeus oli suurin kuten myös pallon lähtönopeus. Lyöjällä 1 mailan lineaarinen nopeus oli matalin, jolloin myös pallon lähtönopeus jäi alhaisimmaksi. Pallon lähtönopeus tutkalla mitattuna kasvoi melko tasaisesti suhteessa mailan pään lineaariseen nopeuteen (kuva 8).

Mailan maksiminopeuden ajoitus tapahtui kaikilla hieman ennen osumaa (kuvat 9 ja 10). Pallon lähtönopeudet olivat tutkalla mitattuna pienemmät kuin liikeanalyysillä johdun tutkan matalammasta näytetaajuudesta verrattuna liikeanalyysiin (50 vs. 200 Hz). Tästä johtuen pallon maksiminopeuden määrittäminen tapahtui tutkalla noin metrin välein, kun liikeanalyysillä se tapahtui noin 25 cm välein.

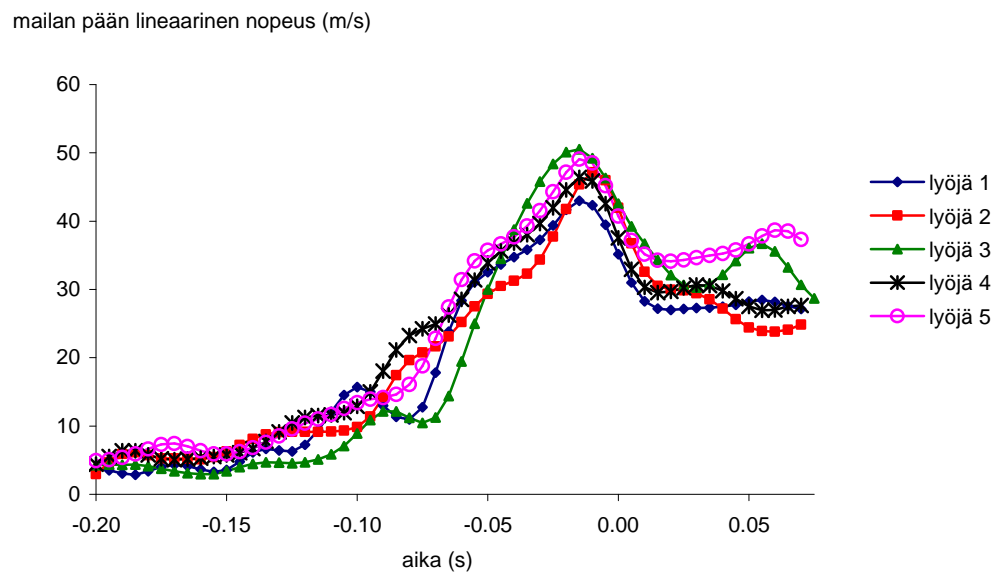
TAULUKKO 4. Mailan ja pallon maksimaaliset nopeudet sekä suluissa ajoitus ennen osumaa.

	lyöjä 1	lyöjä 2	lyöjä 3	lyöjä 4	lyöjä 5	KA
mailan suurin kulmanopeus käsiin nähden (%s)	1468 (-0.010 s)	1387 (-0.005 s)	1708 (-0.030s)	997 (-0.020 s)	1282 (-0.020 s)	1368 (-0.017 s)
mailan pään suurin lineaarinen nopeus (m/s)	43.0 (-0.015 s)	47.1 (-0.010 s)	50.5 (-0.020 s)	46.4 (-0.015 s)	49.1 (-0.015 s)	47.2 (-0.015 s)
pallon lähtönopeus tutkalla (m/s ja km/h)	41.0 147.8	43.7 157.2	45.4 163.6	42.6 153.5	43.9 157.9	43.3 155.9
pallon lähtönopeus liikeanalyysillä (m/s ja km/h)	42.1 151.6	44.4 160.9	*	*	44.9 161.6	

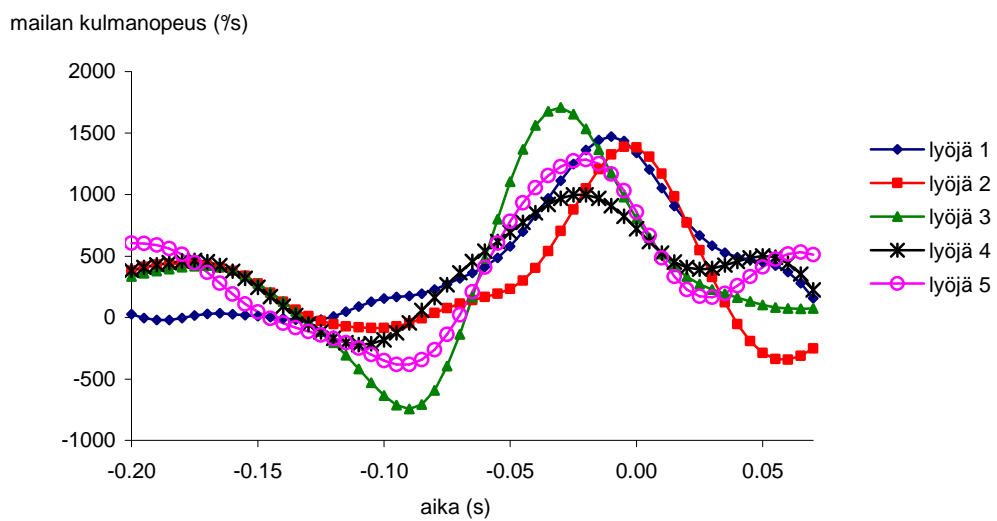
* Digitointi epäonnistunut pallon jäädessä osumishetkellä pimentoon syöttäjän taakse.



KUVA 8. Mailan pään lineaarinen nopeus ja pallon lähtönopeus tutkalla mitattuna.



KUVA 9. Mailan pään lineaarinen nopeus.



KUVA 10. Mailan kulmanopeus käsien segmenttiin nähden.

7.2 Vartalon ja mailan kulmat

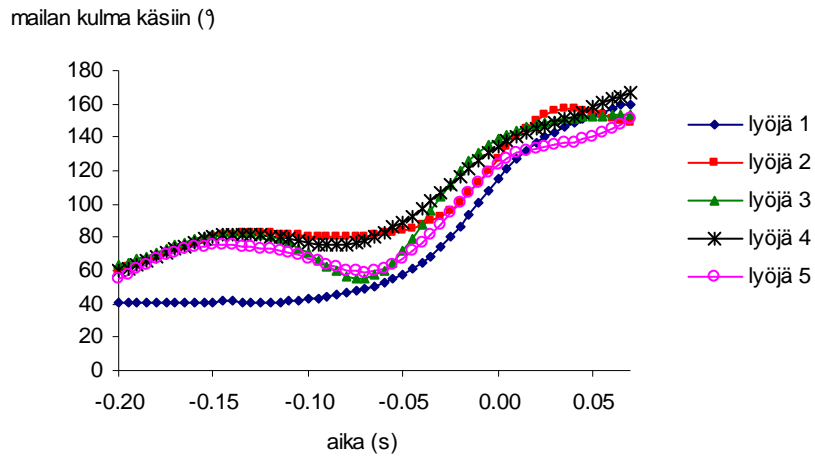
Vartalon segmenttien kiertokulmat x-akseliin nähden on esitetty sekä suurimmalla vastakierron hetkellä (taulukko 5) että osumishetkellä (taulukko 6). Vastakierron aikana vartalon kulma x-akseliin oli suurimmillaan, josta se pieneni kohti osumaa mentäessä. Lyönnin aikana vartalo kiertyi lantiosta keskimäärin 60° , hartioista 126° ja käsistä 145° . Tukijalka oli osumahetkellä melko suorassa polvikulman ollessa keskimäärin 161° . Vasen kyynärnivel ojentui oikeaa enemmän (167° vs. 126°). Käsien ja mailan välinen kulma pieneni ennen mailan kiihdytyksen aloittamista lyöjillä 3 ja 5 (kuva 11). Osumahetkellä käsien ja mailan välinen kulma oli keskimäärin 128° (taulukko 6). Lyöjien vartalon asento osumahetkellä tai hieman ennen on esitetty kuvassa 12.

TAULUKKO 5. Vastakierron aikaiset suurimmat vartalon segmenttien kulmat asteina x-akseliin nähden sekä suluissa aika ennen osumaa.

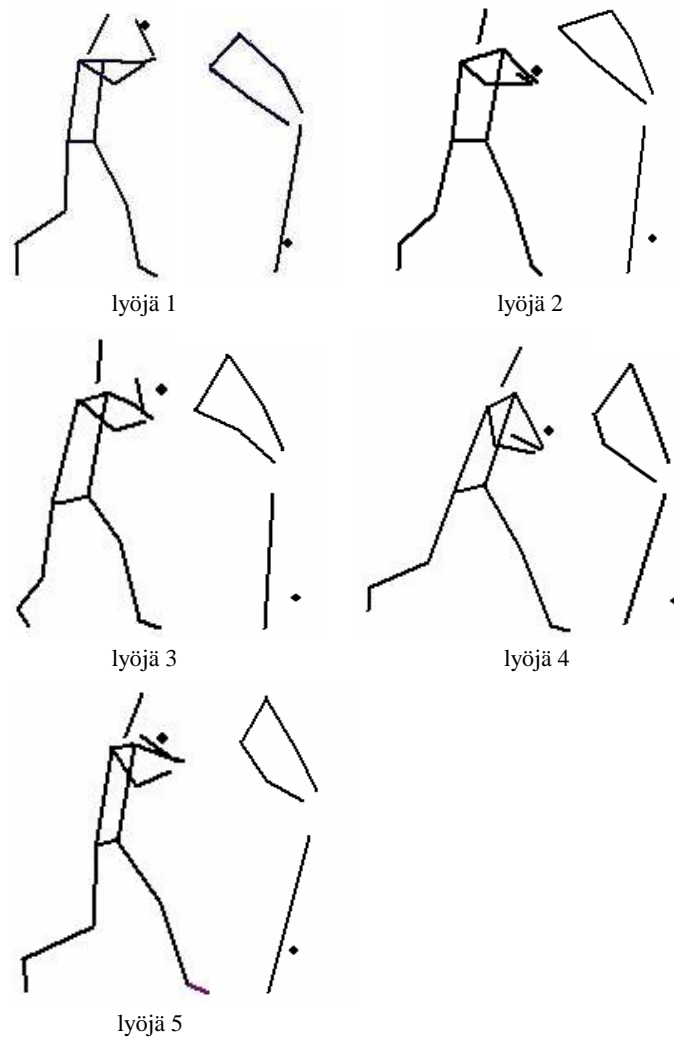
	lyöjä 1	lyöjä 2	lyöjä 3	lyöjä 4	lyöjä 5	KA
lantion kulma x-aks. nähden	20 (-0.150 s)	42 (-0.255 s)	37 (-0.265 s)	35 (-0.220 s)	23 (-0.225 s)	31.4 (-0.223 s)
hartioiden kulma x-aks. nähden	55 (-0.200 s)	77 (-0.200 s)	75 (-0.195 s)	84 (-0.200 s)	76 (-0.190 s)	73.4 (-0.197 s)
käsien kulma x-aks. nähden	199 (-0.150 s)	204 (-0.150 s)	211 (-0.150)	217 (-0.140 s)	213 (-0.140 s)	208.8 (0.146 s)

TAULUKKO 6. Vartalon ja käsien kulmat asteina osumishetkellä sekä suluissa segmenttien kokonaiskiertomäärä asteina.

	lyöjä 1	lyöjä 2	lyöjä 3	lyöjä 4	lyöjä 5	KA
lantion kulma x-aks. nähden	-32 (52)	-21 (63)	-17 (55)	-16 (51)	-54 (77)	-28 (59.6)
hartioiden kulma x-aks. nähden	-51 (106)	-17 (96)	-66 (141)	-63 (147)	-64 (140)	-52.2 (126)
käsien kulma x-aks. nähden	40 (159)	54 (150)	79 (132)	63 (132)	57 (154)	58.6 (145.4)
vasen polvi	163	168	144	169	162	161.2
oikeapolvi	112	119	123	117	113	116.8
vasen kyynärnivel	153	167	170	172	172	166.8
oikea kyynärnivel	120	147	120	128	117	126.4
käsien ja mailan välinen kulma	115	127	139	134	123	127.6



KUVA 11. Mailan ja käsien segmentin välinen kulma ennen osumaa.



KUVA 12. Lyöjien vartalon asento osumahetkellä lyöntisuuntaan nähden kohtisuoraan sivulta sekä ylhäältä. Ylhäältäpäin on esitetty vain hartialinja, kädet sekä maila. Lyöntisuunta on suoraan oikealle.

7.3 Vartalon kiertonopeudet

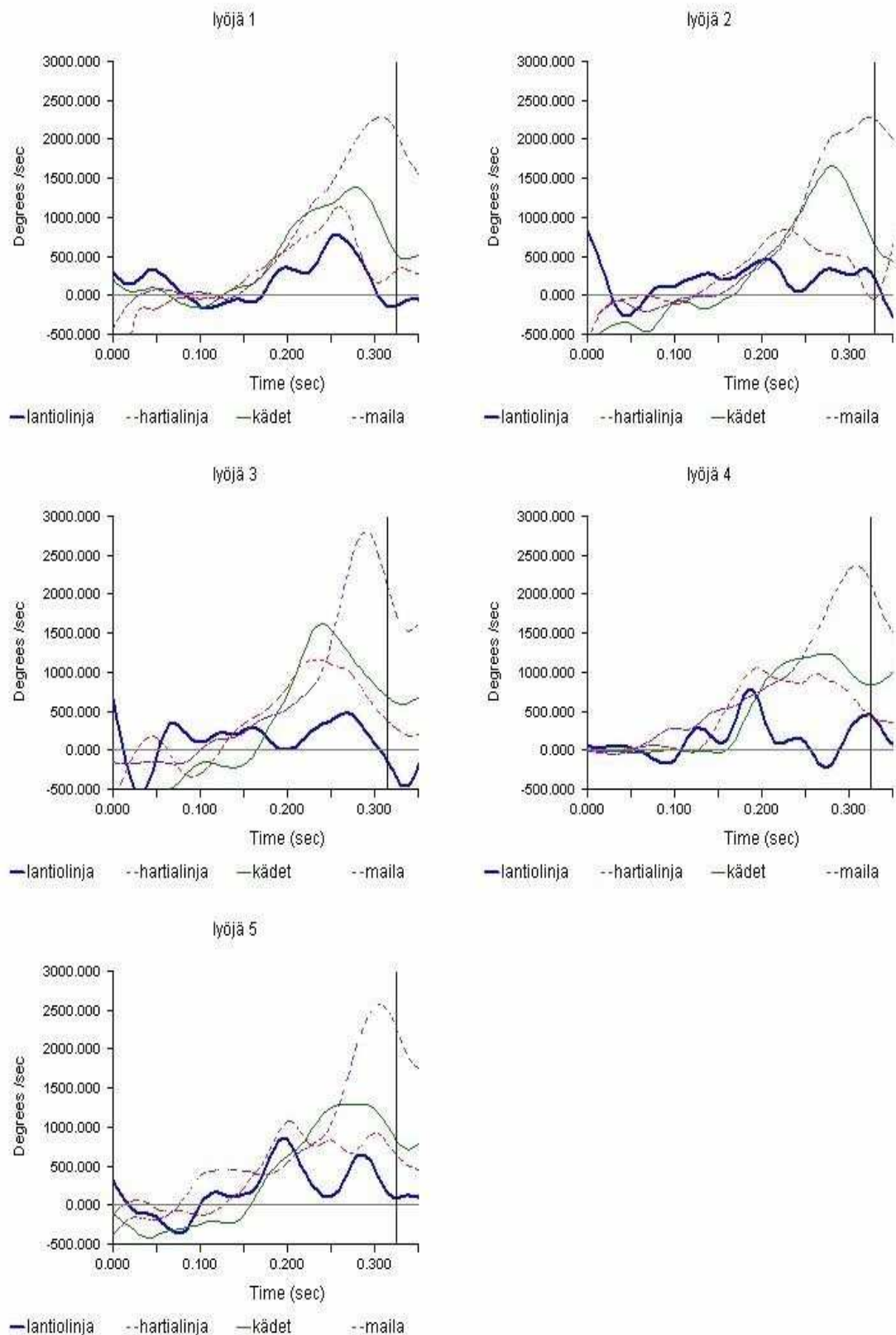
Lantion suurin kiertonopeus oli keskimäärin $563^{\circ}/s$, hartioiden $1006^{\circ}/s$ ja käsien segmentin $1456^{\circ}/s$ (taulukko 7). Segmenttien suurimman kiertonopeuden ajoitus vaihteli hieman lyöjittäin. Lantion suurin kiertonopeus ajoittui muilla paitsi lyöjillä 3 ja 4 ennen hartioiden suurinta kiertonopeutta. Lyöjää 5 lukuun ottamatta käsien suurin nopeus ajoittui hartioiden suurimman nopeuden jälkeen.

Kuvassa 13 esitetään lantio-, hartia-, ja käsisegmenttien kulmanopeus x-akseliin nähden. Kulmanopeudet kasvoivat alemmasta segmentistä ylempään siirryttäessä kineettisen ketjun periaatteen mukaisesti. Mailan suurin kulmanopeus ajoittui lyöjää 2 lukuun ottamatta ennen osumahetkeä.

Lyönnin aikana Segmenttien eteenpäin kiertoa edelsi vaihe, jossa liike hetken on vastakkaissuuntaista ennen kierron aloittamista. Erityisen selkeä vastakierto (venymislyhenemissyklus) nähdään kuvassa 13 lyöjän 3 segmenttien kierrossa, jossa kulmanopeudet ennen lyöntikierron alkamista ovat negatiivisia.

TAULUKKO 7. Segmenttien ja mailan maksimaaliset kulmanopeudet x-akseliin nähden sekä suluissa ajoitus ennen osumaa.

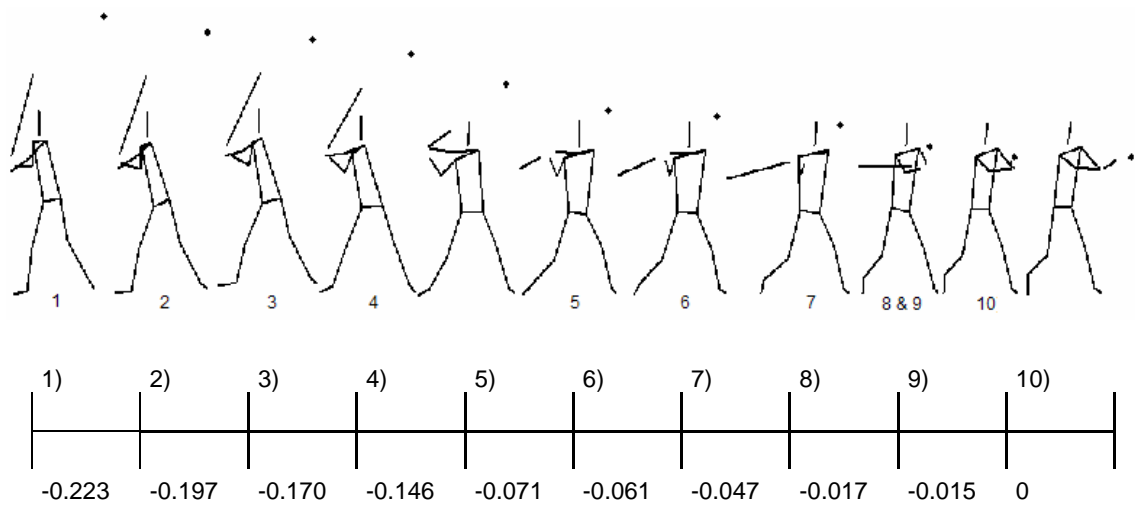
	lyöjä 1	lyöjä 2	lyöjä 3	lyöjä 4	lyöjä 5	KA
lantiolinja (%s)	774 (-0.075 s)	460 (-0.125 s)	478 (-0.050 s)	451 (-0.010 s)	651 (-0.045 s)	563 (-0.061 s)
hartialinja (%s)	1140 (-0.070 s)	835 (-0.105 s)	1158 (-0.085 s)	969 (-0.070 s)	927 (-0.025 s)	1006 (-0.071 s)
käsien segmentti (%s)	1382 (-0.055 s)	1664 (-0.050 s)	1708 (-0.030 s)	1239 (-0.055 s)	1287 (-0.045 s)	1456 (-0.047 s)
maila (%s)	2284 (-0.020 s)	2280 (-0.005 s)	2802 (-0.030 s)	2367 (-0.020 s)	2570 (-0.025 s)	2460 (-0.020 s)



KUVA 13. Segmenttien ja mailan kulmanopeudet lyönnin aikana x-akseliin nähden. Osumahetki on kuvattu pystyviivalla.

7.4 Liikkeiden ajoitus

Kuvassa 14 on kuvattu lyöntiin liittyvien tapahtumien keskimääräinen ajallinen järjestys sekä lyöjän asento kyseisellä hetkellä. Vartalon kierto alkoi ensin lantion kierrosta, jonka jälkeen tapahtui hartioiden ja käsien kierto, sekä lopuksi mailan kierto. Suurimman kiertonopeuden ajoitus tapahtui hieman yllättäen hartioissa ennen lantiota, mutta kuitenkin käsien segmentissä viimeisenä. Mailan suurin lineaarinen nopeus saavutettiin 0.015 s ennen osumaa.



KUVA 14. Kuvasarja ja aikajana segmenttien liikkeen ajoituksesta (s) ennen osumaa pesäpallon lyönnissä: 1) lantion suurin vastakierto, 2) hartioiden suurin vastakierto, 3) tukijalka maahan, 4) käsien suurin vastakierto, 5) hartioiden suurin kiertonopeus, 6) lantion suurin kiertonopeus, 7) käsien suurin kiertonopeus, 8) mailan suurin kulmanopeus käsiin nähden, 9) mailan pään suurin lineaarinen nopeus ja 10) osuma palloon.

8 POHDINTA

Liike-analyysin avulla pesäpallon lyönnin aikaista vartalon toimintaa voidaan tutkia tarkemmin. Eri lyöjien suoritustekniikkaa analysoimalla voidaan löytää hyvän lyöntitekniikan tunnuspiirteitä, jotka ovat yhteydessä pallon lähtönopeuteen. On kuitenkin syytä pitää mielessä, että lyöntitekniikka on vain yksi suorituskykyyn vaikuttava tekijä. Muita tekijöitä ovat esimerkiksi hermolihaskäytännön suorituskyky ja antropometriset tekijät unohtamatta psykologisia tekijöitä, joiden merkitys pelitilanteessa nousee usein ratkaisevaan rooliin.

Lyöntisuorituksen tarkastelu

Mailan ja pallon nopeudet. Mailan pään lineaarinen nopeus oli keskimäärin 47.2 m/s ja pallon lähtönopeus 43.3 m/s. Nopeudet ovat huomattavasti suurempia kuin Luhtasen (1984) tutkimuksessa paikaltaan lyötäessä, jossa mailan osumakohdan nopeus oli 24 m/s ja lyöntien lähtönopeus 28.2 /s. Vauhdin avulla pallon lähtönopeus näyttäisi lisääntyvän lähes kaksinkertaiseksi. Myös mailojen ja pallojen kehittyminen saattaa lisätä lähtönopeutta. Pallon lähtönopeus oli lähes suoraan suhteessa mailan lineaariseen nopeuteen edellyttäen, että osuma palloon oli optimaalinen. Videokuvasta katsottuna lyöjän 5 osuma palloon ei ollut täydellinen, koska pallon lähtösuunta oli alaviistoon. Tästä johtuen pallon saama lähtönopeus oli vain hieman suurempi (tutkalla 0.2 m/s ja liike-analyysillä 0.5 m/s) kuin lyöjällä 2, vaikka mailan pään lineaarinen nopeus oli 2 m/s suurempi.

Pientä vaikutusta pallon lähtönopeuteen saattaa olla myös mailojen erilaisilla ominaisuuksilla sekä otteen puristusvoimalla. Mailan pienellä hitausmomentilla saavutetaan suurempi mailan nopeus, mutta toisaalta pallon lähtönopeus suhteessa mailan nopeuteen jää pienemmäksi, kuin lyötäessä suuremman hitausmomentin mailalla (Shaw 2004). Lisäksi mailojen erilaiset elastiset ominaisuudet vaikuttavat hieman pallon lähtönopeuteen (Shaw 2004). Pesäpallossa eri mailojen merkitys lähtönopeuteen lienee baseball-tutkimuksiakin pienempi mailojen vähäisemmästä variaatiosta johtuen. Tässä tutkimuk-

sessä käytetyt mailat olivat saman painoisia. Otteen puristusvoiman merkitystä ei tämän tutkimuksen perusteella voida arvioida. Oletettavasti sen merkitys pallon ja mailan lyhyestä kontaktiajasta johtuen on samankaltainen kuin baseballissakin eli hyvin pieni.

Vartalon toiminta. Vartalon segmenttien (lantio, hartiat & kädet) kierrolla tuotetaan voimaa mailan heilautukselle, joten sillä on hyvin tärkeä merkitys pallon lähtönopeuden kannalta. Lyöjien vartalon kierto lyöntisuorituksessa noudatti pääpiirteittäin kineettisen ketjun periaatetta. Kineettisessä ketjussa kiertomomentit etenevät lyöjää pitkin alhaalta ylöspäin (Welch ym. 1995). Tuloksista nähdään, että alemman segmentin kierto alkoi ennen ylemmän segmentin kiertoa lukuun ottamatta lyöjää 1, jolla hartioiden kierto ja käsien kierto alkoivat ennen lantiota. Lyöntikierrossa lantion liike-energia siirtyy hartioiden ja käsien segmenteille sekä lopulta mailaan. Samalla kiertoliikkeen nopeus kasvaa siirryttäessä alhaalta ylöspäin.

Vartalon segmenttien suurimman nopeuden ajoituksessa oli melko paljon vaihtelua eri lyöjien välillä. Ainoastaan lyöjällä 2 suurin kiertonopeus ajoittui alemmassa segmentissä selkeästi ennen ylempää segmenttiä, kuten optimaalisessa lyöntikierrossa tulisi tapahtua. Toisaalta lajeissa, joissa lyöntikierron ajoitusta on tutkittu (golf & baseball), lyöntisuoritus tehdään paikaltaan. Sen sijaan pesäpallossa lyönti tehdään kolmen askeleen vauhdilla, mikä saattaa vähentää lantion kierron merkitystä liike-energian tuottamisessa.

Pesäpallo- ja Baseball -lyöntejä (Welch ym. 1995) verrattaessa voidaan havaita muutamia selkeitä eroja vartalon toiminnassa. Pesäpallossa lantion, hartioiden ja käsien suurimmat vastakierrot ajoittuivat lähemmäksi osumaa kuin baseballissa (0.223 vs. 0.350, 0.197 vs. 0.265 ja 0.146 vs. 0.230 s ennen osumaa). Tukijalan kontakti maahan tapahtui lähes samaan aikaan sekä pesäpallo- että baseball-lyönnissä. Segmenttien suurimpien kiertonopeuksien ajoitukset olivat myös melko lähellä toisiaan. Eroa löytyy lähinnä käsistä, jotka saavuttivat suurimman nopeuden pesäpallossa lähempänä osumaa kuin baseballissa (0.047 vs. 0.065 s). Mailan suurin lineaarinen nopeus ajoittui kummassakin lyönnissä 0.015 s ennen osumaa. Pesäpallon lyönnissä lantion kokonaiskierto oli 60°, kun baseballissa se oli 111°. Vastaavat maksimaaliset kiertonopeudet olivat 563°/s ja 714°/s. Hartioissa kiertoa tapahtui pesäpallossa 126° ja baseballissa 118°. Kulmanopeudet olivat 1006°/s ja 937°. Käsien kiertoa pesäpallossa oli 145° ja baseballissa 139°, kulmanopeuksien ollessa 1456°/s ja 1160°/s.

Pesäpallon lyönnissä vauhdin eli lineaarisen nopeuden merkitys liike-energian tuottamisessa on baseballia suurempi. Pesäpallossa vartalonkierto tapahtuu baseballia myöhemmin ja lantion kierron määrä ja kiertonopeus ovat pienempiä kuin baseball-lyönnissä. Vauhdin ansiosta hartiat ja kädet kiertyvät kuitenkin suuremmalla nopeudella kuin pesäpallossa kuin ilman vauhtia tehtävässä baseball-lyönnissä, jossa lantion kierron merkitys korostuu, koska vauhdista saatua liike-energia ei voida hyödyntää ylempien segmenttien liikkeen tuotossa.

Tutkimuksen pienestä koehenkilömäärästä johtuen on vaikeaa päätellä onko vartalon segmenttien maksimaalisella kiertonopeudella tai kierron määrällä yhteyttä mailan maksimaaliseen nopeuteen ja pallon lähtönopeuteen. Kuitenkin voisi olettaa, että suurilla segmenttien kiertonopeuksilla sekä kierron määrällä olisi yhteyttä mailan maksiminopeuteen.

Käsien toiminta. Mailan pään nopeus osumahetkellä riippuu kiertoradan säteestä (käsi- ja mailan yhteispituus) sekä mailan kulmanopeudesta. Käsien ja mailan yhteispituutta voidaan kasvattaa ojentamalla kädet sekä pitämällä maila käsien suuntaisesti. Tutkimuksessa vasemman kyynärnivelen kulma oli keskimäärin 167° ja oikean 126° . Luhtasen (1984) tutkimuksessa vastaavat kulmat olivat paikaltaan lyödessä 164° ja 150° . Paikaltaan lyödessä erityisesti oikea käsi näyttäisi ojentuvan enemmän, mikä saattaa johtua tekniikan muuttumisesta lyöntisuorituksen ollessa erilainen ilman vauhtia. Baseball-lyönnissä kädet näyttäisivät sen sijaan olevan osuma hetkellä melko koukistettuina vasemman kyynärnivelen kulman ollessa 147° ja oikean 127° .

Käsien ja mailan ojentamisella saatu muutamien senttien etu mailan ja käsien yhteispituudessa vaikuttaa mailan pään lineaariseen nopeuteen melko vähän. Paljon merkittävämpi tekijä sen sijaan on mailan kulmanopeus lyöntisuuntaan nähden osumahetkellä. Saattaakin olla mahdollista, että käsien, etenkin oikean käden vajaa ojentaminen mahdollistaa tehokkaamman ranteiden käytön mailan kulmanopeuden kiihdyttämiseksi. Mailan jättökulma oli osumahetkellä keskimäärin 128° . Näyttäisi siltä, että mailan kulmanopeus laskee mailan ojentuessa käsien jatkoksi. Tällöin osuman on optimaalista tapahtua hetkellä jolloin kulmanopeus on suurimmillaan eli ennen mailan täyttä ojentamista.

Ranteiden toiminta. Ranteiden toiminnalla on tärkeä merkitys lyöntisuorituksessa, koska niiden kautta vartalon liike-energia siirretään mailaan. Golf-lyönneissä optimaalisella ranteiden käytöllä on todettu olevan mailan nopeutta lisäävä vaikutus mm. ”delayed release” –teorian kautta (mm. Hume ym. 2005, Sprigings ym. 2000). Tässä tutkimuksessa lyöjillä 3 ja 5 havaittiin mailan kulmanopeuden nousun tapahtuvan muita lyöjiä myöhemmin sekä lyhyemmässä ajassa ja he myös saavuttivat suurimmat mailan lineaariset nopeudet sekä kulmanopeudet x-akseliin nähden. Tämä tukisi ”delayed release” –teorian merkitystä myös pesäpallossa. Toisaalta mailan maksiminopeuden ajoitus heillä näyttäisi tästä huolimatta ajoittuvan jopa aikaisemmin kuin muilla, mikä on teorian vastaista. Lyöjillä 3 ja 5 suurta mailan nopeutta saattaisi selittää myös venymis-lyhenemisykleksen hyödyntäminen ranteiden ja mailan vastakierrossa, joka nähdään käsien ja maila välisen kulman pienenemisenä ennen mailan kiihdytystä.

Tulosten kriittinen tarkastelu

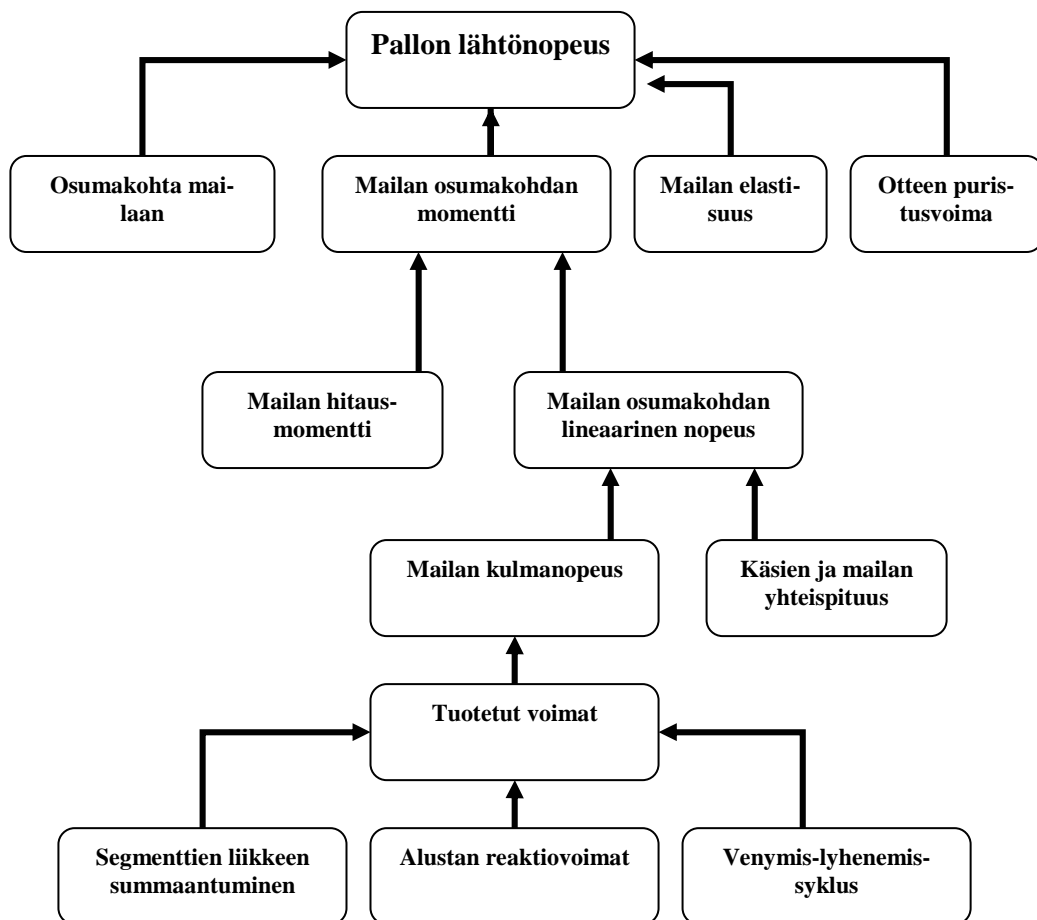
Tutkimuksen virhelähteet liittyvät liikeanalyysiin. Nivelpisteiden sijainnin arvioinnissa tapahtuva inhimillisen virheen mahdollisuus on aina olemassa. Virheen mahdollisuus kasvoi etenkin lyöntikierron alussa ja lopussa, jolloin nivelpisteitä jäi pimentoon toisesta kamerasta katsottuna. Osumavaiheessa nivelpisteiden näkyvyys kummastakin kamerasta oli hyvä. Lisäksi liikeanalyysissä käytetystä suodatuksesta johtuen mailan maksiminopeuden liian aikainen ajoitus ennen osumaa saatettiin yliarvioida, koska mailan osuessa palloon mailan nopeus laskee todella nopeasti. Tasaisen liikkeen periaatetta noudattava suodatin pyöristää nopeuspiikin pois, jolloin maksimaalinen nopeus voi siirtyä aikaisemmaksi.

Yhteenveto

Eri lyöjillä on nähtävissä pallon lähtönopeuteen vaikuttavia yksilöllisiä eroja lyöntitekniikassa. Pallon lähtönopeutta voidaan lisätä suurentamalla mailan pään lineaarisesta nopeuta osumahetkellä. Tämä tapahtuu pääasiassa mailan kulmanopeutta lisäämällä. Voima mailan heilautukselle tuotetaan vauhdin ja vartalonkierron avulla ns. kineettisen ketjun välityksellä, jossa segmentit kiertyvät järjestyksessä alhaalta ylöspäin ja samalla

niiden kiertonopeus kasvaa. Kuvassa 15 esitetään pallon lähtönopeuteen vaikuttavat osatekijät.

Optimaalisen lyöntitekniikan perusteellisemmaksi selvittämiseksi tarvitaan kuitenkin suurempi koehenkilömäärä, jolloin voitaisiin selvittää esimerkiksi vartalon kiertonopeuksien sekä kierron määrän yhteyttä mailan nopeuteen. Lisäksi käsien ja ranteiden merkitys lyöntisuorituksessa kaipaa lisäselvitystä.



KUVA 15. Pallon lähtönopeuteen vaikuttavat tekijät.

7 LÄHTEET

- Crisco J.J., Greenwald R.M., Blume J.D., & Penna L.H. 2002. Batting performance of wood and metal baseball bats. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34(10), 1675–1684.
- De Leva P. 1996. Adjustment to Zatsiorsky-Seuyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 29(6), 1223-1230.
- Enoka R.M. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Human kinetics.
- Hughes S.S., Lyons B.C. & Mayo J.J. 2004. Effect of rip strength and grip strengthening exercises on instantaneous bat velocity of baseball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 18(2), 298-301.
- Hume P.A., Keogh J. & Reid D. 2005. The role of biomechanics in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine* 35(5), 429-449.
- Luhtanen P. 1984. Pesäpallon lyönnin biomekaaninen malli sekä peruslyönnin biomekaanisen mallin kehittyminen pesäpallolijoilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
- Pesäpalloliitto. 2005. (www-lähde). <http://www.pesis.fi/artikkeliarkisto/?num=29553>
- Piirainen K. 1999. Pelinomaisilla harjoituksilla pesäpallon taitajaksi. Jyväskylän yliopisto. Liikuntakasvatuksen laitos. Pro Gradu-tutkielma.
- Nicholls R.L., Miller K. & Elliott B.C. 2005. Numerical analysis of maximal bat performance in baseball. *Journal of Biomechanics*. (painossa).
- Penner A.R. 2002. *The physics of golf*. Malaspina University-College. Physics Department. (www-lähde). stacks.iop.org/RoPP/66/131
- Shaffer B., Jobe F.W., Pink M. & Perry J. 1993. Baseball batting: an electromyographic study. *Clinical Orthopaedics and Research* 292, 285-293.
- Shaw R.H. 2004. Laboratory and field experimental investigations of the relationship of baseball bat properties on batted-ball speed. University of Massachusetts Lowell. Department of Mechanical Engineering.
- Sprigings E.J & Neal R.J. 2000. An insight into the importance of torque in driving the golfball: a simulation study. *Journal Applied Biomechanics* 16 (4), 356-66

- Valleala R. 2002. Keihäänheittosuorituksen biomekaaniset muuttujat ja niiden ilmeneminen kahden eri heittäjän suorituksissa. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu-tutkielma.
- Welch C.M., Banks S.A., Cook F.F. & Draovits P. 1995. Hitting a baseball: biomechanical description. *Journal Orthopaedic & Sport Physical Therapy* 22(5), 193-201.
- Weyrich A.S., Messier S.P., Ruhmann B.S. & Berry M.J. 1989. Effects of bat composition, grip firmness, and impact location on postimpact ball velocity. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 21(2), 199-205.