

MAALIVAHDIN ENNAKOIVA TOIMINTA JALKAPALLON RANGAISTUSLAUKAUKSEN AIKANA

Marko Hänninen

Liikuntateknologian Pro Gradu

Kevät 2008

Liikuntabiologian laitos, Vuotech

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat Timo Järvillehto & Jukka Salmi

TIIVISTELMÄ

Hänninen, Marko Juhani. Maalivahdin ennakoiva toiminta jalkapallon rangaistuslaukauksen aikana. Liikuntabiologian laitos, Vuotech. Jyväskylän yliopisto. 2008, 74 s.

Jalkapallon rangaistuslaukaus on nopea ja stressaava tilanne niin torjuntaan valmistuvalle maalivahdille kuin rangaistuslaukaukseen keskittyvälle pelaajallekin. Tästä johtuen informaation prosessointiin ja motorisen toiminnan käynnistämiseen ei ole paljon aikaa pelaajan palloon osumisen jälkeen, joten *ennakointiprosessi* muodostanee keskeisen roolin maalivahdin ja pelaajan onnistuneessa suorituksessa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää uusi, eri laitteistoista integroitu mittausjärjestelmä ja käyttää sitä tutkimaan eri-ikäisten maalivahtien ennakoivan toiminnan muodostumista ja toimintaeroja rangaistuslaukauksen aikana mahdollisimman luonnollisissa olosuhteissa. Koehenkilöinä oli oikeakätisiä maalivahteja; nuori maalivahti (ikä 9 vuotta ja 2 vuotta kokemusta maalivahtina), harjoitellut maalivahti (ikä 16 vuotta ja 9 vuotta kokemusta maalivahtina) ja kokenut maalivahti (ikä 49 vuotta ja 43 vuotta kokemusta maalivahtina sekä yhä vieläkin suomen 2. divisioonan tasoinen maalivahti).

Tutkimuksessa kehitetyllä uudella integroidulla mittausjärjestelmällä rekisteröitiin ja tallennettiin synkronoidusti maalivahdin torjuntaliikkeet ja pelaajan laukaisuliikkeet kahdella erillisellä High Speed -kameralla ja maalivahdin silmänliikkeet EyeLink II -järjestelmällä. Samanaikaisesti, synkronoidusti, tallennettiin lihasten lihasaktiivisuus neljästä kehon oikeanpuoleisesta eri lihaksesta; etureiden vastus lateralis -lihaksesta (VL), pohkeen ulommasta lateral gastrocnemius -lihaksesta (LG), etusäären tibialis anterior -lihaksesta (TA) ja niskan/yläselän trapezius-lihaksesta (TR) EMG-dataloggerilla sekä sydämen sykkeen R–R-intervalli sykemittarilla. Kaikki tutkimustapahtumat tallennettiin videokameralle, jonka avulla analysoitiin torjuntasektorit ja pallon osumasektorit sekä maalivahdin laskennalliset torjuntaprosentit. Lisäksi pallon lentonopeus analysoitiin laskennallisesti High Speed -kamera nauhoitteista suhteessa osumasektoreihin.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että uudella integroidulla mittausjärjestelmällä voidaan havainnoida maalivahdin rangaistuslaukaukseen liittyvää ennakoivaa toimintaa sekä eri-ikäisten; nuoren, harjoitelleen ja kokeneen maalivahdin toimintaeroja ja taidonhallintaa. Alustavista tuloksista havaittiin;

- 1) Kokeneen ja harjoitelleen maalivahdin rangaistuslaukauksen aikaiset liikeradat ovat Jalkapallomaalivahdin tekniikat -oppikirjan mukaisia, sitä vastoin nuorella maalivahdilla havaitaan puutteita torjuntaan liittyvissä liikeradoissa.
- 2) Kokenut maalivahti aloitti rangaistuslaukauksessa valmiusasentojen (-2428±820) ja torjunta-asentojen (-879±507) valmistautumisen ajallisesti aikaisemmin kuin harjoitellut ja nuori maalivahti suhteessa pelaajan palloon osumiseen.
- 3) Kokeneen maalivahdin esiaktiivisuuksien alkuaikajankohta ja lihasaktiivisuuksien maksimiarvo (EMG) havaitaan etureidestä vastus lateralis -lihaksesta (VL), pohkeesta ulommasta lateral gastrocnemius -lihaksesta (LG), etusäärestä tibialis anterior -lihaksesta (TA) ja niskan/yläselän trapezius-lihaksesta (TR) ajallisesti huomattavasti aikaisemmin kuin nuorelta maalivahdilta.
- 4) Kokeneen maalivahdin keskimääräinen fiksaatioiden lukumäärä (3.2 ± 1.9 kertaa/rangaistuslaukaisu) ja fiksaatioiden kokonaiskesto (4294 ± 2983 ms/rangaistuslaukaisu) on suurempi rangaistuslaukauksen aikana kuin harjoitelleella ja nuorella maalivahdilla.
- 5) Kokeneella maalivahdilla ennakoivassa toiminnassa fiksaatioiden lukumäärällä (maksimissaan 5 fiksaatiota/rangaistuslaukaisu), fiksaatioiden aloitusajankohdalla (noin -4000...-3000 ms) ja fiksaatioiden suoritusjärjestyksellä oli merkitystä pallon osumasektorin ennakointiin maalivahdin eduksi.

Näiden havaittujen maalivahdin ennakoivan toiminnan, taidonhallinnan ja toimintaerojen alustavien tulosten pohjalta kokenut maalivahti saavutti tutkimuksessa myös muiden tutkijoiden tutkimuksiin perustuen (torjuntaprosentti > 30 %) erittäin hyvää tasoa olevan 45,00 % suuruisen torjuntaprosentin. Harjoitelleen maalivahdin torjuntaprosentti oli samoten hyvää luokkaa 38,46 %, sitä vastoin nuoren maalivahdin torjuntaprosentti luokiteltiin *ei onnistuneet maalivahdit* -luokitukseen tuloksella 26,32 %.

Avainsanat: maalivahti, rangaistuslaukaus, ennakoiva toiminta

Hänninen, Marko Juhani. Goalkeeper's anticipatory organization during the penalty kick in soccer. Sports Technology Program, Department of Biology of Physical Activity. University of Jyväskylä, Vuokatti. 2008, 74 pages.

The penalty kick in soccer is quick and stressful situation for both the goalkeeper and the kick performing player. This implies that there is not much time for information processing or adjustment of motor action after the player's kick and, therefore, anticipatory processes play probably a central role in successful performance of the goalkeeper and player.

The purpose of the present experiment was to develop a new integrated test system and use it to study goalkeeper's anticipatory organization and the performance characteristics between young, practiced and experienced goalkeepers during the penalty kick in as normal soccer environment as possible. In this study, we had three subjects, they were all right-handed and they all have experience in taking penalty kicks; one young (age 9 years and with minimum of 2 years practicing soccer), one practiced (age 16 years and with minimum of 9 years practicing soccer) and one experienced goalkeeper (age 49 years and with minimum of 43 years practicing soccer and still playing Finnish 2nd division level).

The developed new integrated test system was used to capture goalkeeper's and player's motions simultaneously by two High Speed DV cameras and to track goalkeeper's eye movements with the EyeLinkII -tracker. In order to record the instant of activation of muscles in relation to performance, EMG was recorded from right leg m. tibialis anterior (TA), m. lateral gastrocnemius (LG), m. vastus lateralis (VL) and neck/arm m. trapezius (TR) with the EMG -data logger/system and additionally, heart rate's R-R interval was synchronously collected with heart rate monitor. Finally, all the events were recorded with the video camera. The velocity of the ball and the accuracy of the kick and position of the goalkeeper in relation to the goal were assessed with the help of High Speed DV camera, and manually analyzed from video records by ten different sectors painted to the crossbar of the goal.

The results showed that the new integrated test system can be used to study goalkeeper's anticipatory organization during the penalty kick and also to measure

successfully the performance characteristics between young, practiced and experienced goalkeepers. Preliminary results showed that;

- 1) Experienced and practiced goalkeepers' body movements were according the Goalkeeper's instruction book (fin. Jalkapallomaalivahdin tekniikat -oppikirjan) during the penalty kick, while on the contrary young goalkeeper wasn't.
- 2) Experienced goalkeeper started organizing his body for the standby position (-2428 ± 820) and the save position (-879 ± 507) earlier than young and practiced goalkeepers before the player kicked the ball.
- 3) Experienced goalkeeper's onset of the pre-activity and maximum value of the post-activity (EMG) measured from right leg m. tibialis anterior (TA), m. lateral gastrocnemius (LG), m. vastus lateralis (VL) and neck/arm m. trapetzius (TR) started earlier than in the young goalkeeper.
- 4) Experienced goalkeeper's average amount of fixations (3.2 ± 1.9 times/penalty kick) and total duration of fixations (4294 ± 2983 ms/ penalty kick) were higher than young and practiced goalkeepers' during the penalty kicks.
- 5) Experienced goalkeeper's individual anticipatory organization test setup indicated that the amount of fixations (maximum 5 fixation/penalty kick), onset of the fixations (approximately $-4000 \dots -3000$ ms) and order of the different fixation targets were crucial for anticipating the ball's hitting sector in advance and this feature led on to the goalkeeper's successful performance.

Those analyzed results based on the goalkeeper's anticipatory organization, skilled action and performance characteristics showed that the experienced goalkeeper can be reach penalty save percent as high as 45,00 %. The successful goalkeepers' level (penalty save percent > 30 %) has been noted by other researchers in their own research. The practiced goalkeeper's save percent was also high, 38,46 %, while on the contrary the young goalkeeper belongs to the non successful goalkeeper classification with the penalty save percent 26,32 %.

Keywords: goalkeeper, penalty kick, anticipatory organization

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	2
SISÄLTÖ	6
1 JOHDANTO	8
2 RANGAISTUSLAUKAUS JA MAALIVAHTI	10
3.1 Rangaistuslaukaus ja pallon liikenopeus	10
3.2 Maalivahdin tekniikat	11
3.3 Maalivahdin torjuntasektorit	12
3.4 Maalivahdin strategiat rangaistuslaukauksessa	13
3.5 Laukaisijan strategiat rangaistuslaukauksessa	13
3 MAALIVAHDIN TOIMINNAN ORGANISOINTI	15
3.1 Taito-ominaisuudet	15
3.2 Hermolihasjärjestelmä	16
3.3 Reaktionopeus	20
3.3.1 Reaktionopeuteen vaikuttavat tekijät	22
3.4 Ennakointi	22
3.5 Point of No Return -käsite	26
3.6 Silmänliikkeet ja fiksaatiot.....	29
3.7 Lihasaktiivisuus (EMG).....	33
3.8 Syke ja HRV.....	35
4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	39
5 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	40
4.1 Tutkimusryhmä ja koehenkilöt.....	40
4.2 Testiprotokolla.....	41
4.3 Laitteisto, tiedonkeruu ja -prosessointi	45
4.4 Tilastollinen käsittely.....	46
5 TULOKSET	47
5.1 Integroitu mittausjärjestelmä.....	47
5.2 Maalivahdin ennakoivan toiminnan organisointi	49
5.3 Maalivahtien toimintaerot ja taidonhallinta	53
6 POHDINTA	59

7	LÄHTEET.....	69
8	LIITE 1: Nuoren maalivahdin HRV-analyysi.....	73

1 JOHDANTO

Useissa urheilulajeissa; jääkiekossa, pesäpallossa, kriketissä, squashissa ja tenniksessä on useita eri pelinaikaisia suorituksia, joissa tapahtuman reagointiin, ajoituksiin ja suorituksen vaatimaan toimintaan jää todella minimaalisesti aikaa, jopa vain muutamia satoja millisekunteja (Kulmala 2006; Land ym. 2000; Panchuk ym. 2006; Jackson ym. 2007; Abernethy ym. 2001). Jalkapallossa yksi tällainen nopea tapahtuma on rangaistuslaukaisu.

Rangaistuslaukaus. Jalkapallossa tasaisissa otteluissa voittaja voi ratketa jopa yhteen puolustavan joukkueen rangaistusalueella tehtyyn sääntöjen vastaiseen virheeseen, josta yleensä tuomitaan rangaistuslaukaus hyökkävälle joukkueelle. Useista rangaistuslaukauksista muodostuvaa rangaistuslaukaisukilpailua käytetään suurissa arvoturnauksissa pudotuspeleissä, joissa ottelu on varsinaisen peli- ja jatkoajan jälkeen tasan, ottelun voittajan ja jatkoonpääsijän selvittämiseksi. Näiden erityispiirteiden johdosta rangaistuslaukaus synnyttää nopean ja stressaavan tilanteen niin torjuntaan valmistuvalle maalivahdille kuin rangaistuslaukaukseen keskittyvälle pelaajallekin. Morya ym. (2003) toteaa, että rangaistuslaukaukseen on kiinnitetty hyvin vähän huomiota, vaikkakin se rooli voi olla todella ratkaiseva suurissa arvoturnauksissa, kuten Jalkapallon Maailmanmestaruuskisoissa. Vielä 80-luvulla vain puolet Italian liigan pääsarjan joukkueista ottivat harjoittelussaan huomioon yksittäiset rangaistuslaukaukset. Huomioiden ammattipelaajien laukaisutarkkuuden ja maalivahdin torjuntaan tarvitseman ajanjakson on yllättävää, että pelaajat epäonnistuvat 25–33 % suorittamissaan rangaistuslaukauksissa (Kuhn 1988; Franks ja Hanvey 1997). Tätä tukee myös Savelsbergh ym. (2005), joka havainnoi simuloitussa ammattimaalivahtien avulla suoritettussa koejärjestelyissä epäonnistuneeksi rangaistuslaukauksien torjujiksi maalivahdit, joiden torjuntaprosentti on alle 30 % ja onnistuneiksi maalivahdit torjuntaprosenttiltaan 37–63 %. Toisaalta lajin, pelaajien ja maalivahtien fyysisten ominaisuuksien ja jopa pelivälineen eli jalkapallon pintamateriaalin muutoksista johtuva pallon liikenopeuden kasvu nopeuttaa entisestään peliä ja täten vähentää rangaistuslaukaustapahtumaan liittyviä pelaajan ja maalivahdin vaatimia reaktioaikoja.

Täten nopeisiin tapahtumiin eri urheilulajeissa, kuten tähänkin maksimissaan vain muutamia satoja millisekunteja kestävään rangaistuslaukaukseen, vaaditaan tapahtumaan liittyvää ennakointia ja vihjeitä. Järvilehto (1994) esitteli kirjassaan eliö-ympäristö - järjestelmän teorian (eng. organism–environment -theory), joka muodostaa vain ja ainoastaan yhden järjestelmän teorian perinteisen kahden järjestelmän oletuksesta eli ärsyke–vaste -järjestelmä teoria (eng. stimulus–response -theory). Tämä eliö-ympäristö -järjestelmän vaihtoehtoinen teoria tuo uusia näkemyksiä myös urheilulajien ja siihen liittyvän tutkimuksen saralle. Järvilehto ym. (2007) ”organism–environment” -teoria, jossa hermojärjestelmä ei ole vain järjestelmä, joka vastaan ympäristön ärsykkeeseen (eng. stimuli), vaan järjestelmä organisoituu ennakoita kehon elementtien ja ympäristön aineiden kanssa tulevan tapahtuman vaatimaksi vasteeksi (eng. response). Tämän ennakointiprosessin hallinta ja organisoituminen voi osaltaan selittää rangaistuslaukauksissa hyvin onnistuneiden maalivahtien nopeaa, oikea-aikaista, tuloksellista toimintakykyä ja eteenkin saavutettua *toiminnan tulosta*; torjuttua rangaistuslaukausta.

Tämän mahdollisimman luonnollisissa olosuhteissa toteutetun kenttätutkimuksen tarkoituksena oli kehittää uusi, eri järjestelmistä integroitu mittaus- ja analysointimenetelmä, jonka avulla voitaneen tutkia eri-ikäisten maalivahtien rangaistuslaukaukseen liittyviä *toimintaeroja, taidonhallintaa ja ennakoivan toiminnan muodostumista*. Tutkimuksen tulokset saattavat myös auttaa ymmärtämään yleisemminkin taidon hallintaan suuntautuvan oppimisen prosesseja ja sitä tukevaa valmentamista sekä olla pohjana ennakoivan toiminnan jatkotutkimuksiin eri taitolajien keskuudessa.

2 RANGAISTUSLAUKAUS JA MAALIVAHTI

3.1 Rangaistuslaukaus ja pallon liikenopeus

Rangaistuslaukaus. Jalkapallossa rangaistuslaukaus tuomitaan, kun puolustava joukkue rikkoo hyökkäävän joukkueen pelaajaa omalla rangaistusalueella sääntöjen vastaisesti. Rangaistuslaukaus suoritetaan yhden hyökkäävän joukkueen pelaajan voimin rangaistuspilkun etäisyyden ollessa nuorten sarjoissa 7.5 metriä maaliin, jonka korkeus on 2 metriä ja leveys 5 metriä. Aikuisten sarjoissa etäisyys on 11 metriä ja maalin korkeus on 2.44 metriä ja leveys 7.32 metriä. Rangaistuslaukauksen aikana muut pelaajat ryhtyvät rangaistusalueen ulkopuolelta. Nykysääntöjen mukaan puolustavan joukkueen maalivahti saa liikkua pystytolppien väliin merkityllä maaliviivalla vapaasti ennen rangaistuslaukaisua. Rangaistuslaukaus hyväksytään maaliksi vasta, kun koko pallo on ylittänyt maaliviivan ja epäonnistuneeksi mikäli maalivahti torjuu pallon. Toisaalta peli jatkuu normaalisti, mikäli maalivahdin torjunnan jälkeen pallo pysyy pelikentällä ja täten hyökkäävällä joukkueella on vielä suuri mahdollisuus päättää tilanne onnistuneeseen maalintekoon. (SUOMEN PALLOLIITTO 2007, 39–41.)

Pelipallo. Nuorten sarjoissa (alle E10) pelipallo on kooltaan 3 ja painoa pelipallolla on 270–320 grammaa ja hieman vanhempien sarjoissa (E11–D13) koko on 4 ja paino 340–390 grammaa. Sen sijaan aikuisten (sarjat yli C14) sarjoissa pelipallon koko on 5 ja paino vaihtelee 410–450 gramman välillä. (SUOMEN PALLOLIITTO 2007, 10–11; SUOMEN PALLOLIITTO 2006)

Jalkapallon liikenopeus. Jalkapalloon liittyvissä tutkimuksissa on pallon liikenopeuden todettu vaihtelevan rangaistuslaukauksessa noin 14–30 m/s (Savelsbergh ym. 2005; Morya ym. 2004; Physicsweb 1998) ja esimerkiksi nuorten sarjoissa 7.5 metrin etäisyydeltä suoritettavaan rangaistuslaukauksen torjuntaan jää maalivahdilla aikaa kokonaisuudessaan vain noin 250–535 ms ja täten muodostaen erittäin nopean tapahtumasarjan kokonaisuudessaan. Morya ym. (2003) toteaa pallon nopeuden olevan rangaistuslaukauksissa 75 km/h ja tätä nopeutta pidetään rajana onko rangaistuslaukaus

hidas vain nopea. Aikuisten maaleihin laukaistuna pallon lentorata rangaistuspiikulta maaliviivan ylitykseen vaatii siis noin 600 ms.

3.2 Maalivahdin tekniikat

Maalivahdin tekniikka koostuu seuraavista perustekijöistä:

1. Tasapaino on yksi tärkeimmistä maksiminopeuden ja tehon sekä varmuuden tekijöistä.
2. Joustaminen käsillä ja muillakin sääntöjen sallimilla vartalon osilla on tärkeä osa pallon hallintaa.
3. Maalivahdin pelin kokonaisuus on nykyaikaisessa jalkapallossa yhä enemmän aktiivisuutta pallon kanssa. Ennen pallon vangitsemista on jo otettava huomioon erilaisten syöttöjen mahdollisuudet. (SUOMEN PALLOLIITTO 1999, 5.)

Maalivahdin valmistautuessa torjuntaan kehon liikkeet muodostuvat kolmesta eri asennosta seuraavassa järjestyksessä:

1. *Valmiusasennossa* kaikki on lähes valmista; kädet riittävän leveällä, tasapaino hyvä ja paino lievästi päkiöillä.
2. *Torjunta-asennossa* kaikkien nivelten kulmat pienenevät ja asento on tasapainoinen, mikäli siitä pystyy tarvittaessa lähtemään juoksemaan sujuvasti.
3. *Lähtö-asennossa* maalivahti kallistaa ylävartaloaan ja lähtee valmistuneena juoksemaan palloa vastaan maaliltaan. (SUOMEN PALLOLIITTO 1999, 6–7.)

Heittäytyminen maahan kauas. Maalivahdin heittäytyessä maahan kauas laukauksen torjuakseen, torjunta-asento on matala ja jalkojen leveys hieman suurempi kuin normaalisti. Lisävauhdin saamiseksi torjuntaa, maalivahti voi ottaa pallopuoleisella jalalla lisäaskeleen vauhdin lisäämiseksi tai molemmilla jaloilla sivuttaisen hypyn. Käsien liikkeellä lisätään ponnistukseen vauhtia. Vartalo on ilmalennon aikana kyljittäin, ei vatsallaan ja ilmalennon aikana on kyettävä arvioimaan ylettykö pallon kahdella kädellä, molempien käsien ollessa kosketushetkellä pallon takana (varsinkin

pallon tullessa kovalla vauhdilla). Palloa, jota ei saada vangittua kahdella kädellä, ohjataan yhdellä kädellä pois maalilta. (SUOMEN PALLOLIITTO 1999, 18–19.)

Heittäytyminen ylös kauas. Maalivahdin heittäytyessä ylös kauas voi olla aikaa ottaa lisä-askelia torjunta-asennosta. Käsien liikkeellä tehostetaan ponnistusta ja kädet johtavat koko liikettä ja ne vievät lyhintä tietä palloon. Vartalon hallinta on tärkeää ilmalennon aikana ja maahantuloon valmistaudutaan vankalla otteella pallosta. Pallo ja kädet koskettavat ensimmäisenä maata ja niiden perässä muu vartalo kohtaa maan jäntevästi ja pyöreästi. (SUOMEN PALLOLIITTO 1999, 20–22.)

3.3 Maalivahdin torjuntasektorit

Rangaistuslaukaisijan osuma-alueet aikuisten sarjoissa käytettäviin maaleihin (leveys 11 metriä x korkeus 2.44 metriä) määritteli Savelsbergh ym. (2005) simuloitussa rangaistuslaukauksessa kuuteen suorakulmaiseen alueeseen, suuruudeltaan 0.81 m x 1.50 m. Tämän osuma-alue jaon mukaisesti jalkapallomaalin vasemman puolelta valittiin 1.5 metriä etäisyydeltä pystytolpasta alue maalivahdin suuntaan eli vaakatasoon ja valittu alue jaettiin vielä pystysuuntaisiin kolmeen erilliseen 0.81 metrin alueeseen, täten muodostaen kolme erillistä osuma-aluetta, sama jako toistettiin myös oikealle puolelle maalia saaden yhteensä kuusi erillistä osuma-aluetta. Näiden kuuden sektorien mahdollinen hahmottaminen ennakkoon lisättynä mahdollisesti rangaistuslaukaisijasta saatavien vihjeisiin esimerkiksi tukijalan paikka pallon suhteen ennen laukaisua, voivat auttaa maalivahtia päättämään jo ennakkoon torjunnan oikea suunta sekä ajoitus, täten lisäten huomattavasti tähän nopeaan tapahtumaan liittyvään maalivahdin suoritukseen liittyvään reagointiaikaa. Maalivahdin torjunta-alueeseen liittyviä sektorit voidaan havainnoida myös torjunta vaihtoehdoiksi (eng. alternatives). Järvilehto ym. (2007) toteaa: ”Kun koehenkilö hallitsee kokonaistapahtuman, tapahtuman eri vaihtoehdot aktivoituvat samanaikaisesti jo heti suorituksen alussa ja eri ympäristötapahtumat vain valitsevat näistä vaihtoehdoista sopivimman.” Maalivahdin rangaistuslaukaukseen ja yleensäkin eri pelitilanteisiin liittyviin torjunta-asentoihin on hyvä olla tietoinen eteenkin näiden harjoittelulla avulla systemaattisesti opittujen ”vaihtoehtojen” yhtäaikaisestä olemassaolosta ja niihin liittyvästä ”ärsykkeestä”.

3.4 Maalivahdin strategiat rangaistuslaukauksessa

Morya ym. (2003) tutkimuksessa todetaan Kuhnin (1988) mukaisesti, että maalivahdeilla on kaksi eri strategiaa:

1. Maalivahti päättää jo ennakkoon sattumanvaraisesti mihin kulmaan hän ”sukeltaa” hetki ennen rangaistuslaukausta tai rangaistuslaukaisijan osuessa palloon.
2. Maalivahti yrittää ennakoida pallon suunnan rangaistuslaukaisijasta saatavien *vihjeiden* (eng. cues) perusteella ja ”sukeltaa” vihjeiden antamaan suuntaan hieman ennen rangaistuslaukaisijan osumista palloon.

Strategia 2. Sovellettaessa maalivahdin strategiassa 2. on erittäin tärkeää milloin torjuntaan liittyvä ”sukeltaminen” alkaa. ”Sukeltamisen” liian aikainen toteuttaminen antaa mahdollisuuden rangaistuslaukaisijalle reagoida maalivahdin liikkeeseen ja muuttaa laukauksen suuntaa juuri ennen laukaisua. ”Sukellus” liian myöhään taas ei ehkä anna maalivahdille tarpeeksi aikaa laukauksen torjuntaan eteenkin, jos pallo osuu lähelle pystyolppaa ja/tai laukaisu on erittäin kova. Laukaisija saavuttaa parhaan lopputuloksen rangaistuslaukauksessa, jos maalivahdin liikkuminen maaliviivalla alkaa keskiarvoltaan noin 400 ms ennen palloon osumista. Laukaisijan onnistumisessa havaitaan alentumista, jos maalivahti aloittaa liikkumisen maaliviivalla vasta 150 ms ennen palloon osumista. (Morya ym. 2003.)

3.5 Laukaisijan strategiat rangaistuslaukauksessa

Morya ym. (2003) tutkimuksessa todetaan laukaisijoilla olevan samoten kaksi eri strategiaa:

1. Laukaisija päättää jo ennakkoon mihin hän rangaistuslaukauksen laukaisee ja ei välitä maalivahdin liikkeistä ennen rangaistuslaukaisua ns. avoin silmukka (eng. open loop). Tätä strategiaa käytti kyseiseen tutkimukseen osallistuneista pelaajista 22 %.

2. Laukaisija yrittää ottaa huomioon ennakkoon maalivahdin liikkeet ennen pallon osumista ja laukaista pallon maalin vastakkaiseen suuntaa mihin maalivahdin torjuntaliike on suuntautunut. Tätä strategiaa kutsutaan ns. suljetuksi silmukaksi (eng. closed loop) ja sitä käytti 78 % tutkimukseen osallistuneista pelaajista.

Van der Kamp (2006) on käyttänyt tutkimuksessaan strategiasta 1. nimitystä maalivahtiriippumaton (eng. keeper-independent) ja strategiasta 2. nimitystä maalivahtiriippuvainen (eng. keeper-dependent) suoritus. Tutkimuksessa todetaan myös rangaistuslaukaisijan suorituskyvyn heikkenemistä maalivahdin ennakkoinnin huomioonottamisessa liian myöhäisessä vaiheessa. Tämän liian myöhäisen laukaisusuunnan muutoksen on todettu tutkimuksessa lisäävän virhesuorituksia ja vähentävän laukaisutarkkuutta. Aikaisempien tutkimustulosten (Morya ym. 2003; Van der Kamp 2006; Savelsbergh ym. 2005) perusteella on niin torjuntaan valmistuvalle maalivahdille kuin rangaistuslaukaisua suorittavalle pelaajallekin elintärkeää eri liikesuorituksien oikea-aikainen ajoitus ja tapahtuvaan liittyvä ennakoiva toiminta.

3 MAALIVAHDIN TOIMINNAN ORGANISOINTI

3.1 Taito-ominaisuudet

Taito tarkoittaa kykyä omaksua erilaisia liikemalleja liikevarastoksi, käyttää omaksuttuja liikemalleja uusien liikkeiden oppimiseen, kehittää ihanteellinen suoritustekniikka sekä soveltaa opittua suoritustekniikkaa muuttumattomissa ja poikkeuksellisissa olosuhteissa ja tilanteissa. Taitava suoritus on kehittynyt yhteistyöstä keskushermoston ja aistitoimintojen välillä. (Rinkinen 2002, 15.)

Taidon opettaminen jaetaan kolmeen eri vaiheeseen (Sääkslahti ym. 2007);

- Kognitiiviseen eli varhaiseen vaiheeseen, jossa leikkimisen ja kokeilemisen sekä tutkimisen kautta lähestytään harjoiteltavaa lajia ja sen liikeratoja.
- Assosiatiiviseen eli välivaiheeseen, jossa toistojen ja niistä annattavien palautteiden avulla lajiin liittyviä taito-ominaisuuksia ja liikeratoja vakiinnutetaan.
- Automaatiovaiheeseen eli lopulliseen vaiheeseen, jossa liikerataan/suoritukseen vaadittava taito hallitaan ja lisähaasteita ”automatisoituun” liikkeeseen saadaan esim. suorituksen nopeutta lisäämällä.

Taitoa harjoiteltaessa on tärkeää tietää täten tarkasti tavoiteltava tekniikka. Yleensä tutkimuksiin on valittu joku varsin yksinkertainen liike, jonka onnistumista on ollut melko yksinkertaista arvioida esim. eri tavoin tapahtuvia pallonheittoja. Taidon kehittyessä segmenttien nopeudet ovat suurentuneet, nivelkulmat muuttuneet ja liikerata tasoittunut sekä muuttunut tarkoituksenmukaisemmaksi karsien ylimääräisiä liikkeitä. Taidon tutkimisen ongelmana on taidon laaja käsite ja vaikea mitattavuus, yleensäkin taitoa ja taidon oppimista on tutkittu suhteellisen vähän. (Rinkinen 2002, 5–6.)

Lajitaitavuuden harjoittelun pitää lisääntyä keskimäärin 7. ikävuodesta eteenpäin, mutta yleistaitojen ja koordinatiivisten edellytyksien kehittäminen ja vakiinnuttamista pitää jatkaa edelleen. Tekemällä paljon lajiharjoituksia hermoston, lihaksiston ja muiden

kudosten yhteistoiminta hioutuu yhteen ja suorituksesta tulee taidokas. Kokonaissuoritukseen rakentuvat lajit (esim. juoksu, hiihto, uinti, luistelu) ovat tärkeitä kaikille koko lapsuuden ajan. Mahdollisimman monen lajin osaaminen antaa laajan pohjan tehtäessä lopullista lajivalintaa 10–12 -vuotiaana tai hieman myöhemmin. (Mero ym. 2004, 245.)

Myös avoin, virikkeellinen ja palautettava antava valmentaja/valmennettava- tai opettaja/oppilas-suhteen avulla saadaan aikaan jatkuvasti kehittyvä optimaalinen harjoittelun tulos. Järvilehto toteaaakin (1994, 13): ”Opetustyössäni olen tullut siihen vakaaseen käsitykseen, että opettaminen on hedelmällistä ja oppiminen tehokkainta ainoastaan, jos opettaja ja oppilaat muodostavat yhden yksikön, jossa tapahtuva yhteistyö kehittää niin opettajaa kuin oppilastakin. Opettajan tehtävänä ei ole tiedonsiirto tai oppilaan arvostelu, vaan oppimisen mahdollisuuksien lisääminen.”

Lasten määritelmä hyvästä ohjaajasta jaetaan neljään eri osaa: 1) pitää hyvän järjestyksen 2) osaa auttaa asioiden oppimisessa 3) saa harjoituksen tuntumaan hyvältä 4) on kärsivällinen (SUOMEN PALLOLIITTO 2000). Täten taidon opettamisessa, kuten jalkapallomaalivahdin suorittamassa rangaistuslaukauksen torjunnassa, on alkeiden opettaminen on aloitettava järjestelmällisesti perusasioista. Tästä edetään leikkimielisesti suoritustekniikkaa asteittain kehittäen ja rakentavaa valmentajan palautetta hyväksikäyttäen oppimisprosessissa sekä lopulta yhdistäen rangaistulaukaukseen liittyvät osasuoritukset oikeaoppiseksi suoritustekniikaksi.

3.2 Hermolihasjärjestelmä

Hermosto, lihaksisto, jänteet, sidekudokset ja luut muodostavat keskeisen voimantuoton ja liikkumisen koneiston (Mero ym. 2004, 37).

Hermosto sisältää kaksi anatomisesti jaettavaa aluetta: 1) keskushermoston eli sentraalisen hermoston, johon kuuluvat kallon sisällä olevat aivot ja selkärangan luisen suojuksen sisällä oleva selkäydin 2) ääreishermoston eli perifeerisen hermoston, johon kuuluvat aivohermot, selkäydinhermot ja autonomisen hermoston hermot (Nienstedt ym. 1990, 317). Keskushermostosta viedään käskyjä joko motorisia hermoja

(liikehermoja) tai autonomisia hermoja pitkin kehon ääreisosiin ja sisäelimiin. Ääreishermoston eli perifeerisen hermoston reseptoreista tuodaan viestejä keskushermostoon sensorisia hermoja (tuntohermoja) pitkin. Autonominen hermoston, jaetaan sympaattiseen ja parasympaattiseen osaan. Sympaattinen hermosto kiihdyttää elintoimintoja ja parasympaattinen hidastaa niitä. Keskushermoston ylimmällä eli kortikaalisella aivotasolla taltioidaan ja taltioidaan tietoja, ihmisen henkinen kapasiteetti ja toiminnan keskus sijaitsee täällä. Selkäytimen jaokkeen etuosasta eli etujuuresta saavat alkuunsa motoriset hermot eli liikehermot, joiden aksonit vievät tietoa lihaksiin. Sensoriset hermot sen sijaan kulkeutuvat keskushermostoon selkäytimen takajuuren kautta vieden tietoa aivoihin päin. Motoriset ja sensoriset hermot ovat yhteydessä toisiinsa välittäjähermosolujen kautta ja niiden aktivaatiomuutosten avulla säädellään ärsyntyvyyttä ja refleksitoimintoja selkäytimen tasolla. Keskushermostosta tietoa viedään lihaksiin keskushermostosta lähteviä liikehermoja (α - ja γ -motoneuroneja) pitkin. Suurin osa ihmisen tahdonalaisista lihaksista saa hermotuksensa selkäytimestä (selkäydinhermot) ja vain pieni osa, lähinnä pään alueella olevista, lihaksista saa hermotuksensa suoraan aivohermoista. Tiedonsiirto hermolihasksiitoksessa muodostetaan hermosolujen avulla ja se koostuu runko-osasta (soma), tietoa soluun tuovista haaroista (dendriitit) ja tietoa ulos solusta vievistä haarasta (aksoni). Aksoni jakautuu haaroihin motorisessa päätelevyissä, lihassolujen päällä. (Mero ym. 2004, 37–41.)

Hermoimpulssin (aktiopotentiaalin) kulkunopeus on riippuvainen hermosolun paksuudesta eli mitä paksumpi hermosolu sen nopeampi kulku ja myeliinitupesta, myeliinitupellinen johtaa nopeammin (Enoka 2002, 235). Näin ollen hermoimpulssien johtumisnopeus voi vaihdella muutamasta metristä per sekunti yli 100 metriin per sekunti (Enoka 2002, 235) ja näillä eroilla on huomattavaa merkitystä nopeuden tuottamisessa urheilussa. Supistumiskäskey (aktiopotentiaali) tulee sähköisenä viestinä motorisia hermoja pitkin ja siirtyy kemiallisen välittäjäaineen, asetylkoliinin, avulla hermolihasksiitoksen kautta lihassoluihin (Enoka 2002, 232).

Voimantuoton biomekaaniset periaatteet (Mero ym. 2004, 53):

Lihasmekaaniset tekijät:

- lihastoiminta
- lihaspituus ja nivelkulma

- voima-aika -riippuvuus
- voima-nopeus -riippuvuus
- elastiset osat / esivenytys
- lihasrakenne

Hermostolliset tekijät:

- refleksitoiminta
- esiaktiivisuus
- hermoston kokonaispanos

Hermolihasjärjestelmälliset tekijät (kokonaisuus):

- lihasjäykkyys (muscle stiffness)

Lihastoiminta jaetaan lihaspituuden muutoksen perusteella: 1) isometriseen, jossa ei tapahdu liikettä ja lihaspituus ei muutu 2) dynaamiseen, jossa syntyy liikettä. Dynaaminen liike jaotellaan vielä eksentriseen liikkeeseen, jossa lihaspituus pitenee ja konsentriseen liikkeeseen, jossa lihaspituus lyhenee (Komi 2003, 5). Suurimman maksimivoiman lihas tuottaa eksentrisessä toiminnassa, sitten isometrisessä ja vähiten voimantuottoa havaitaan konsentrisessä toiminnassa (Enoka 2002, 273). Voiman ja sarkomeerin pituuden välisen yhteyden perusteella voidaan päätellä saman yhteyden vallitsevan myös lihassolun pituuden ja voiman välillä eli suurin voima tuotetaan sarkomeerin keskipituuksilla (Enoka 2002, 258).

Lihasten mekaanisen mallin ns. Hill-mallin vuodelta 1938 mukaan lihaksella on supistuva osa ja elastinen osa. Elastisilla osilla on kyky varastoida itseensä energiaa, kun aktiivista lihasta venytetään ja purkaa tämä varastoitunut energia ylimääräisenä voimana lihaksen supistuessa välittömästi venytyksen jälkeen (Enoka 2002, 259).

Komi (2003) mukaan Finni ym. (2001) on havainnoinut, että polven ojennusta tutkittaessa vastus lateralis -lihaksen (VL) lihassolukimppu lyheni konsentrisessä vaiheessa ja pitenee eksentrisessä vaiheessa. Lyhenemisen havaittiin konsentrisessä vaiheessa olevan pienempi suuruudeltaan ($2,9 \pm 1,4$ senttimetriä) kuin piteneminen ($5,1 \pm 1,6$ senttimetriä) eksentrisessä vaiheessa. Nämä pituuden muutokset eivät ole ehkäpä

riippuvaisia lyhenemisen tai pitenemisen nopeudesta. Kevennyshypyissä (eng. countermovement jumps, CMJ) käytetään hyväksi lihaksen pitenemistä ennen konsentrista vaihetta ja tätä kutsutaan yleisesti elastisuudeksi. Pudotushypyissä (eng. drop-jumps, DJ) todettiin lihaslukimpun lyhenevän ja varsinainen venymis-lyhenemis-sykli oli nopeampi. (Komi 2003, 193.)

Luurankolihaksella on luonnostaan kyky säätää voimantaso tarkasti tarpeen mukaan. Ominaisuus perustuu tosiasiaan, jossa lihasten supistuvien elementtien toimintanopeus on ratkaiseva tekijä. Kuorman ollessa pieni voima tuotetaan kasvattamalla lihaksen lyhenemisen nopeutta, vastaavasti kuorman ollessa suuri voimantuotto säädetään vähentämällä lihaksen lyhenemisnopeutta riittävästi. Tämä voiman ja lihaksen lyhenemisnopeuden välillä vallitsee riippuvuussuhde, voima–nopeussuhde (eng. force–velocity relationship), jonka ovat Fenn ja Mars (1935) havainnoineet ensimmäisenä. Voima–nopeussuhteella on suorassa suhteessa lihasolun toiminnalliseen yksikköön muutoksiin eli sarkomeerien poikittaissilloissa tapahtuviin mekanismeihin lihassupistuksen aikana. Eri lihasten lyhenemisnopeudet eroavat huomattavasti toisistaan muun muassa rakenteellista epäyhteneväisyyksistä johtuen. (Komi 2003, 123.)

On todettu lihasten syttymistiheyden (eng. firing rate) kasvavan suhteessa voimantuoton kasvuun. Tämä ominaisuus voi merkitä sitä, että lisääntynyt heräte aktiivisen lihaksen motoneuronialtaaseen lisää kaikkien motoristen yksiköiden syttymistiheyttä. Motoristen yksiköiden syttymistiheydessä on sopusointua sekä ajan että voiman suhteen, ominaisuus on nimeltään ”yhteisohjaus” (eng. common drive). Hermolihasjärjestelmä ei ohjaa aktiivisen lihaksen motorisia yksiköitä yksittäin vaan yhteneväisellä tavalla, toisin sanoen motoneuronialtaan vaikutusalueella motoristen yksiköiden syttymistiheys vaihtuu samanaikaisesti joko lisääntyen tai väheten. (de Luca ym. 1982.) On myös todettu aikaisemmin rekrytoitavien motoristen yksiköiden syttymistiheyden olevan suurempi kuin myöhemmin rekrytoitavien motoristen yksiköiden. Yksi selitys tälle on, että myöhemmin rekrytoituvia eli nopeita motorisia yksiköitä ohjataan pienemmällä syttymistiheydellä aluksi, koska ne väsyvät nopeammin kuin hitaat motoriset yksiköt. Nopeiden motoristen yksiköiden johdosta lihaksella on kyky varastoida voimantuottokapasiteettia lyhyisiin ajanjaksoihin kuten kilpailuihin ja hätätilanteisiin. (de Luca & Erim 1994.)

Lihasten venytys refleksin rooli voimantuotossa venymis-lyhenemis-syklin (eng. stretch-shortening cycle, SSC) aikana ja tähän liittyvä suorituksen aikainen potentiaali/tehokkuus riippuu kolmesta fundamentaalisesta ominaisuudesta;

1. oikein ajoitettu lihasten esiaktiivisuus ennen eksentristä vaihetta,
2. lyhyt ja nopea eksentrisen vaihe ja
3. välitön siirtyminen (lyhyt viive) venytys-vaiheen (eksentrisen) ja lyhenemis-vaiheen (konsentrisen) välillä. (Komi 2003, 195.)

3.3 Reaktionopeus

Kehon reaktionopeus on eräs nopeuden lajeista ja se jaotellaan nopeuden mukaan seuraavasti:

- 1) Reaktionopeus
- 2) Räjähävä nopeus
- 3) Liikkumisnopeus
 - maksimaalinen
 - submaksimaalinen

Reaktionopeudella tarkoitetaan kykyä reagoida nopeasti johonkin ärsykkeeseen esim. laukaus ja reagointi lähtötelineissä pikajuoksussa ja lähes kaikissa palloilulajeissa tarvitaan reaktionopeutta tehtäessä ratkaisuja pelin eri tilanteissa. (Mero ym. 2004, 293.)

Räjähävällä nopeudella tarkoitetaan lyhytaikaista, yksittäistä ja mahdollisimman nopeasti suoritettavaa liikesuoritusta. Se on ratkaisevasti riippuvainen nopeusvoimasta. Hyviä esimerkkejä ovat lyönnit, heitot, iskut, laukaukset ja hyppyjen ponnistukset. Liikkumisnopeudella tarkoitetaan nopeaa siirtymistä paikasta toiseen ja se voidaan jakaa maksimaaliseen (nopeudet 96–100% vetomatkan ennätyksestä eli maksimista) ja submaksimaaliseen (nopeudet yleensä 85–95% maksimista). (Mero ym. 2004, 293.)

Reaktionopeus jaetaan esimotoriseen ja motoriseen aikaan. Esimotorisella ajalla tarkoitetaan aikaa, mikä kuluu ärsykkeestä lihasaktiivisuuden (EMG) alkuun toiminnan suorittavissa lihaksissa. Motorinen aika on se aika, mikä kuluu lihasaktiivisuuden alusta voimantuoton alkuun. Tunnetuin reaktioajan mittaaminen on pikajuoksun kilpailutilanteessa, missä arvokilpailuissa saadaan välittömästi laukauksen jälkeen reaktioajat kuuloärsykkeeseen. Lyhyimmät reaktioajat pikajuoksussa ovat hieman yli 0.100 s ja kyseistä 0.100 s rajaa pidetään vilppilähdön rajana. (Keskinen ym. 2004, 164.)

Tyypilliset reaktioaikojen vaihtelualueet (esim. Mero ym. 1990) ovat seuraavat:

- Kuuloreaktio 0.100–0.160 s
- Näköreaktio 0.140–0.200 s
- Valintareaktio 0.180–0.240 s

Fiksaatio-puhe intervallin (FSI), jossa sana lausutaan sen näyttöpäätteeltä visuaalisen havainnoinnin jälkeen, olevan koetilanteissa 200–300 ms ja tämä vastaa jotakuinkin yksinkertaista visuaalista reaktioaikaa. Tutkimuksessa havaittiin, että puheen tuottaminen ärsykkeestä eli sanan tai ei-sanan näkeminen tietokoneen näytöltä oli lyhyempi ajallisesti kuin yksinkertainen napinpainallus sormenpäällä. (Järvilehto ym. 2007.) Rangaistuslaukauksessa maalivahdin reaktionopeuden ympäristön ”luomana ärsykeenä” (eng. stimuli) voi olla esimerkiksi katseen kohdistuminen pelaajan tukijalkaan hetki ennen laukausta aiheuttaen lihaksistossa esimotorisen jännityksen ja lihasten motorisen vasteen (eng. response), joka ilmenee esimerkiksi torjuntaan liittyvällä nopealla käsivarsien viennillä sivulle rangaistuslaukauksen torjunta-asennon muodossa ja jalkalihasten avulla suoritettavalla räjähtävällä ponnistuksella. Maalivahdin suorituksessa on myös suuri merkitys räjähtävällä nopeudella, mitä nopeammin yksittäinen torjuntaponnistus suoritetaan sitä nopeammin ja laajemmin voidaan peittää pallon laukaisusektori. Useissa urheilulajeissa; jääkiekossa, pesäpallossa ja jalkapallossa on useita eri pelinaikaisia suorituksia, joissa tapahtuman reagointiin ja suorituksen vaatimaan toimintaan jää todella minimaalisesti aikaa, jopa vain muutamia satoja millisekunteja.

3.3.1 Reaktionopeuteen vaikuttavat tekijät

Reaktioaika on yksi taitoon yhteydessä oleva motorisen kyvyn osa-alue. Henkilön kykyyn suoriutua fyysisistä toiminnoista, motorinen kompetenssi/pystyvyys, riippuu;

- sensorisista kyvyistä: kyky käyttää näkö-, kuulo-, tunto- ja liikeaisteja
- motorisista kyvyistä: kunto ja koordinaatio eli kyky suoriutua nopeasti tietyistä liikkeistä eri asennoissa, taito eli kyky tehdä liikkeitä optimaalisesti/nopeasti, reaktioaika
- kehon kokemisesta: kehon kaava (kyky hahmottaa omaa kehoa), kehon kuva (tietoisuus omasta kehosta). (Keskinen ym. 2004, 185.)

Reaktionopeuden kehittyminen painottuu voimakkaasti reaktioajan lyhenemiseen eli *hermoston kyky käsitellä viestiä ja kuljettaa sitä* paranee nopeasti lapsuudessa. Keskinen ym. (2004, 185) esittää Markosjan ja Wasjutina (1965) mukaisesti reaktioajan lyhenevän selvästi 6–10 –vuotiailla ja Mero ym. (1990) mukaisesti se lyhenee hieman myös 11–15 –vuotiailla. Murrosiän loppuvaiheessa hermoston kehittyminen loppuu lähes kokonaan ja se näkyy myös reaktioajan ”hermosto-osan” (esimotorisen ajan) lyhenemisen loppuna. Erityisesti motorisen ajan osuutta voidaan reaktionopeusharjoittelulla hieman parantaa murrosiän jälkeen ja alkuvaiheessa. Reaktioaikaa heikkenee hieman vanhenemisen myötä. Kehittyminen reaktionopeudessa vaatii kuitenkin paljon erilaista nopeusharjoittelua ja pitkiä ajanjaksoja. (Keskinen ym. 2004, 185). Mero ym. (1990, 298) toteaa, että ”reaktionopeutta on harjoiteltava lajinomaisin menetelmin säännöllisesti 2–4 kertaa viikossa.”

3.4 Ennakointi

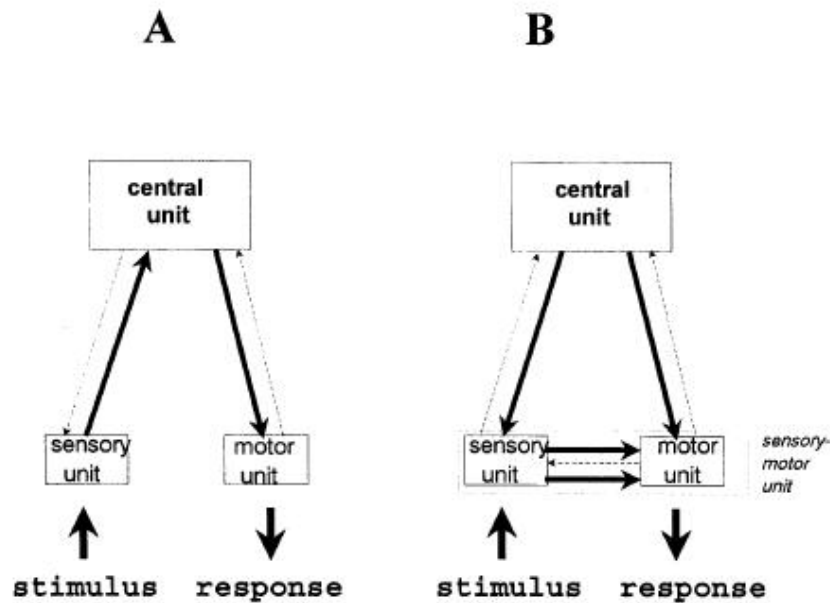
Järvilehto ym. (2007) toteaa, että ”ennakointia näemme jokapäiväisessä elämässä; kun lähestymme ovea avaimet valmiina kädessä, kun menemme kokoukseen ja ajattelemme etukäteen esitelmää, kun avaamme kirjan ja mietimme etukäteen kirjailijan sanomaa”.

Perinteisessä *ärsyke-vaste -järjestelmä* teoriassa, nykyaikaisen kognitiivisen psykologian mukaan, esimerkiksi havaitseminen ja psyykkinen toiminta yleensäkin - nähdään reagoimisena ympäristön ärsykkeisiin ja ärsykkeiden sisäisenä työstämisenä ja

muokkaamisena. Myös psykologinen ajattelu on kautta aikojen perustunut käsitykseen, että ihminen ja ympäristö muodostavat kaksi erilaista jopa vastakkaista järjestelmää. Tämän mukaisesti ajatellaan, että ihminen reagoi ärsykkeisiin, mutta ei suoraan, vaan juuri sisäisen työstämisen ja käsittelyn kautta. (Järvilehto 1994, 17–19.)

Kotchoubey (1998) esittää kolme erillistä teoriaa reaktioihin liittyvien toimintojen pohjaksi:

1. Kognitiivisessa lähestymistavassa, jossa ensin havaitaan jokin ulkopuolinen tapahtuma eli stimuli ja vasta sen jälkeen toimitaan tapahtuman vaatimalla motorisella toiminnolla, täten konkreettiset vaiheet johtavat ärsykkeestä vasteeseen. Tässä teoriassa on sensorinen yksikkö, joka ensin havaitsee ärsykkeen, kognitiivinen yksikkö, joka käsittelee ärsykkeen ja määrittää tapahtuman vaatiman vasteen ja lopulta motorinen yksikkö, joka esivalmistelee ja suorittaa halutun vasteen (kuva 1A). Nämä ominaisuudet muodostavat periaatteen, jossa *havainto luo halutun toiminnon*.
2. ”Modernissa teoriassa” informaation prosessoinnin vaiheet voidaan suorittaa limittäin ajansuhteen. Tässä lähestymistavassa informaatio voidaan siirtää seuraavaan vaiheeseen osissa eikä kokonaisena. Esimerkkinä mainitaan sensorinen yksikkö, joka on vastaanottanut yhden tapahtumaan liittyvistä ärsykkeistä ja lähettää sen informaation heti seuraavaan vaiheeseen samalla jatkuvasti analysoiden tulevia uusia ärsykeitä. Nämä ominaisuudet taas muodostavat periaatteen, jossa on *jatkuvaa informaation virtaa eri yksikköjen välillä*. Tähän teoriaan voidaan soveltaa kuvan 1A mukaisia toimintoja.
3. Biologisessa teoriassa reaktioita ei aloiteta ärsykkeen esiintymisellä vaan ohjeellisella tapahtumaan liittyvällä informaatiolla. Nämä ohjeet mahdollistavat sensomotorisen koordinaation luonnin ennakkoon, kuten esineeseen tarttumisen tai tavoittelemisen. Ärsyke, joka käynnistää vasteen ei luo sitä. Tällaiseen sensomotorisen koordinaation luontiin liittyy rinnakkainen suora yhteys sensorisen ja motorisen yksikön välillä (kuva 1B). Täten mahdollistetaan toimintorakenne, jossa *valmistautuminen tiettyyn havaintoon on kytkettyinä valmiiksi asianmukaiseen motorisentoiminnon säätelyyn*.



KUVA 1. Sensorisen, kognitiivisen ja motorisen prosessin välinen interaktiivinen informaation välitys. (Kotchoubey 1998).

Esimerkiksi kävelyn kontrollointi ei perustu paikalliseen refleksivasteeseen vaan, että ääreis- ja selkäydinhermosto valikoi ja yhdistää tapahtumat ja tuottaa tarpeeseen sopivan toimintamallin. Monissa jalan lihaksissa afferentti stimulus riippuu jalan saamasta refleksivasteesta, joka taas on riippuvainen kävelysyklin vaiheesta (eng. gait cycle). Jotkut kävelyn vaiheet saadaan ehkäpä liikemallien tuottamana, mutta on myös mahdollista, että afferenttien välinen yhteys tai selkäydin on tärkeässä roolissa. On olemassa myös muita hypoteeseja kontrollointi mekanismeihin kuten refferenzprinzip-mallista eli hermostollisen kontrolloinnin organisaatio-periaatteesta ja fusimotor-järjestelmä, jossa ei raportoida mitä lihasspindeleissä parhaillaan tapahtuu vaan paremminkin mitä tapahtumassa eroaa siitä mitä odotettiin tapahtuvan. Kuitenkin kaikki nämä havainnot ovat johtaneet kysymykseen: ”Kuinka paljon tietoa voidaan käsitellä lyhyessä ajassa?”. (Komi 2003, 22.)

Uuden teorian, *eliö-ympäristö -järjestelmä* teorian mukaan määritetään (monisoluinen) elävä olento järjestelmäksi, joka koostuu organisoidusta ja yhteenkuuluvista soluista ja kudoksista, jotka liittyvät tiettyihin ympäristön osiin muodostaen näiden kanssa yhden toimivan järjestelmän ja täten eliön ja ympäristön välillä ei ole siis mitään absoluuttista rajaa, vaan ne nivoutuvat kaikessa toiminnassa toisiinsa. Eliö-ympäristö -järjestelmän elementtien yhteistyön perusyksikkönä on toimintajärjestelmä, joka muodostuu mistä

tahansa järjestelmän elementeistä ja yhteistoiminnallaan voivat tuottaa järjestelmän toimintaa ja kehitystä edistäviä tuloksia eli toiminnan tuloksia. Toiminnan tulos voi olla voi olla yhden toimintajärjestelmän tuottama, mutta useimmiten se on valtavien toimintajärjestelmäjoukkojen koordinoitua toimintaa. Uusia peruskäsitteitä ovat muun maassa toimintajärjestelmä ja järjestelmän organisaatio, joka tarkoittaa sellaista organismin ja ympäristön elementtien yhteenliittymistä ja järjestäytymistä, joka mahdollistaa eliön ja ympäristön yhteistyön ja hyödyllisen toiminnan tuloksen. Järjestelmää organisoiva tekijä on juuri toiminnan tulos. *Juuri toiminnan tulos on avain järjestelmän rakenteen ja toiminnan ymmärtämisen; tietty tulos on mahdollinen vain, jos järjestelmä on rakentunut tulosta vastaavalla tavalla.* (Järvilehto 1994, 27–30.)

Järvilehto (1994, 15–34) on havainnollistanut kirjassaan muun muassa yksinkertaisen äänimerkistä tapahtuvan napin painallus reaktioaikakokeen avulla eliö–ympäristö -järjestelmän teoriaa ja perinteistä ärsyke–vaste -järjestelmän teoriaa. Järvilehto (1994, 19) havainnollistaa: ”*Reaktioaikakokeen tapahtumien selittäminen nykyaikaisessa kognitiivisessa psykologiassa.*” Reaktioaika muodostuu aikajaksoista, joiden kuluessa ärsyke vastaanotetaan korvan avulla, välitetään hermostoon ja muokataan havainnoiksi, valitaan liikeohjelma ja toteutetaan sormen mekaaninen liike. Koko tapahtumasarja on kuvattavissa peräkkäisinä mekanismeina, joiden liikkeellepanijana toimii kuuloärsyke.” Järvilehto (1994, 31) samoten havainnollistaa: ”*Reaktioaikakokeen tapahtumien analyysi eliö–ympäristö -järjestelmä teorian pohjalta.*” Sekä ärsykkeen havaitseminen että reaktionapin painallus ovat tulosta koetilannetta edeltävästä organisoitumisesta. Ärsykkeeseen suuntautuva organisaatio mahdollistaa ärsykkeen hyväksikäytön ja siirtymisen suunnitellun toiminnan (napin painalluksen) toteuttamiseen. Ärsyke ei aiheuta reaktiota, vaan reaktio syntyy ärsykettä edeltävän organisaation pohjalta. Järvilehto ym. (2007) tarkentaa: ”Ärsyke esiintyy ärsykkeenä vain, koska ennakkoinnin organisointi-järjestelmä määrittelee jonkin ympäristön muutoksen ärsykkeeksi”.

Järvilehto (1994, 30) toteaa: ”*Kun koehenkilö painaa nappia reaktioaikakokeessa, napin painallus on toiminnan tulos. Tämä tulos on mahdollinen ainoastaan siinä tapauksessa, että koehenkilö on paljon ennen ärsykettä organisoitunut siten, että ärsykkeen esiintyminen ylipäätään voi johtaa haluttuun toimintaan.*” Rangaistuslaukauksessa maalivahdin toiminnan tuloksena on laukaistun pallon torjunta ennen pallon maaliviivan ylitystä. Tässä tapauksessa ”pallon torjuntaan suuntautunut” järjestelmän

organisoiduminen ja toimintajärjestelmät muotoutuvat ennen varsinaista laukaisua eri elementeistä, kuten maalivahdin silmänliikkeet ja fiksaatiot laukaisijan eri kehon osiin ja palloon, maalivahdilla torjunnassa esi-/aktivoituvat lihakset (EMG) ja niiden toiminnan ajoitus suhteessa laukaisuun, maalivahdin ja rangaistuslaukaisijan oikeaoppiset suorituksen aikaiset liikeradat, ympäristön mahdolliset yllättävät häiriötekijät mm. melu, pallon ”pyöriminen” virheellisesti ennen laukaisua koetilanteessa, maalivahdin ja laukaisijan tapahtumaan liittyvä jännittyneisyys (R-R vaihtelu) ja näiden eri elementtien avulla maalivahti ”rakentaa valmiiksi” ennen ärsykettä, rangaistuslaukaisua ja sen aiheuttamaa pallon liike-/lentorataa, tapahtumaan sopivat lukuisat toimintajärjestelmät kuten torjunta alas oikealle sukeltamalla, torjunta keskelle jalalla, torjunta keskelle kädellä, keskeytetty torjunta jne.

Morya ym. (2003) toteaa, että rangaistuslaukauksen simuloitussa tutkimusjärjestelyissä on havaittu noviisien maalivahtien tekevän simuloitu torjuntaliike 500 ms ennen laukaisua ja kokeneiden maalivahtien vasta 300 ms ennen laukaisua. Tämän avulla on päätelty, että kokeneet maalivahtit yrittävät kerätä enemmän informaatiota tapahtumasta ennen suoritettavaa torjuntaliikettä tai palaajasta saatavat elintärkeät vihjeet esiintyvät vasta 300 ms ennen laukaisua. Abernethy ym. (2001) on tutkinut simuloitussa squashin lyöntitapahtumassa ammattilaisten ja noviisien välisiä eroja pallon suunnan ja voiman ennakkointiin liittyen. Koejärjestelyissä käytettiin myös silmien näkökyvyn estämistä (eng. occlusion) nestekidelasien avulla. Tutkimukset osoittivat ammattilaisten pystyvän tuloksettaammin analysoimaan ja arvioimaan lyönnin kinemaattisia ominaisuuksia kuin noviisit ja onnistuivat kokeessa paremmin.

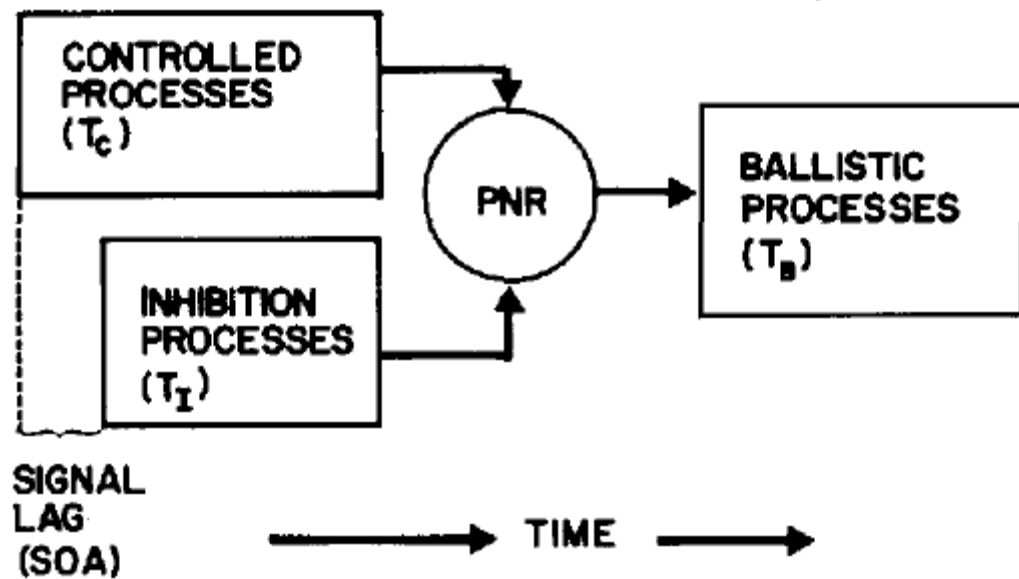
3.5 Point of No Return -käsite

Morya ym. (2003) on tuonut rangaistuslaukaukseen ”point of no return” -käsitteen vuonna 2001 ja esitteli alustavat saamansa tulokset tällöin tutkijapiireille. Tätä ”ei paluuta” eli ”point of no return” -käsitettä (lyhenne *PRN*) on käytetty useissa tutkimuksissa analysoidessa tapahtumia, missä stimulin synnyttämää vastetta ei voida enää pysäyttää (Osman ym. 1986; Logan 1994; Band ja van Boxtel 1999). Point of no return -käsitettä on tutkittu ns. hevoskilpailu-mallilla (eng. ”horse-race model”), jossa vaste ja inhibointi prosessia suoritetaan rinnakkain. Toisin sanoen, sillä tarkoitetaan:

- jos vaste prosessi päättyy ennen pysäytys prosessia, tästä seuraa, että vaste suoritetaan
- jos pysäytys prosessi päätetään ensin, tästä seuraa, että vaste inhiboidaan/hylätään

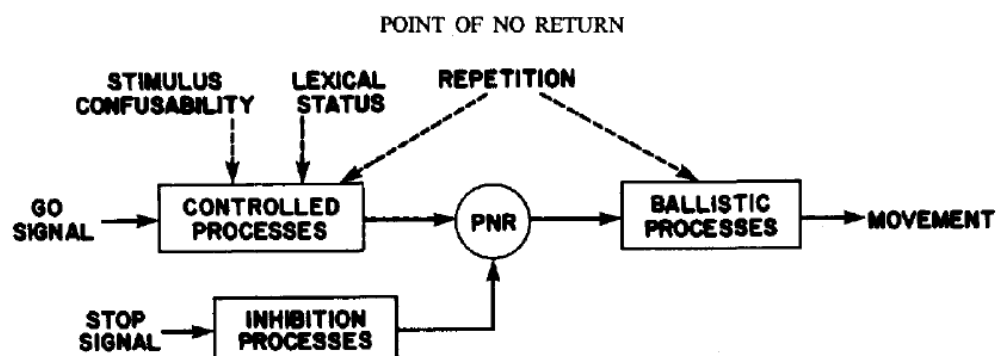
Osman ym. (1986) toteaa, että kognitiivisessa psykologiassa on perinteisesti keskitytty *tietämiseen* (eng. knowing). Kuitenkin viimeisen vuosikymmenen ajan monet kognitiivisen psykologian tutkijat ovat alkaneet keskittyä *tekemiseen* (eng. doing) ja fyysisten toimintojen ”alla oleviin” mentaalitason prosesseihin. Esimerkki kontrollointi-prosessista voisi olla suunniteltu liike, jonka motorinen ohjelma on ladattu etukäteen ohjelmapuskuriin. Tämän tilapäisen sidoksen kontrolloidun- ja toteutus-prosessin kesken, voidaan mieltää ns. ei paluuta -toiminnoksi vasteen valmisteluille ja tämän ”ei paluuta” pisteen ohitettuaan toiminnon suoritus on väistämätöntä. Hevoskilpailu-mallia, joka siis muodostuu kolmesta riippumattomasta prosessista; kontrolloitu- (eng. controlled process), toteutus- (eng. ballistic process) ja inhibointi/esto -prosessi (eng. inhibition process) ja point of no return-toiminteesta (kuva 2). Liikkeen tai toiminnon toteutuksen pysäytys on aina ”kilpailua” kontrollointi- ja inhibointi prosessien kesken. ”Kilpailu” päättyy point of no returniin ja siihen ensiksi saapuva ”voittaja” määrittelee, suoritetaanko haluttu liike vai ei. Siis, jos kilpailun voittaa kontrollointi-prosessi, liike suoritetaan huolimatta esiintyvistä pysäytys signaalista. Jos taas inhibointi-prosessi voittaa, ei vastetta eli toimintoa tai liikettä havaita. Kontrollointi- ja inhibointi-prosessien välistä aika eroa kutsutaan signaaliaikaeroksi (eng. signal lag = SOA). Jos signaaliaikaero eli SOA kasvaa niin odotettavissa on, että inhibointi-prosessin vaikutus toteutus-prosessiin pienenee eli liikkeen tai toiminnon inhiboinnin on epätodennäköisempää. (Osman ym. 1986.)

THE RACE MODEL



KUVA 2. RACE-mallin prosessikaavio (Osman ym. 1986).

Osman ym. (1986) esittää teoreettisen Point of no return -mallin kolmen erilliseen tutkimuksessa suoritettujen koejärjestelyjen pohjalta, jossa on huomioitu myös leksikaalinen tila (eng. lexical status) ja stimuluksen häiriötekijät (eng. stimulus confusability) ja näiden vaikutus vain kontrolli-prosessiin. Toistokerrat (eng. repetition factor) vaikuttaa kontrolli- ja toteutus-prosessiin, huomioitavaa on että mikään näistä ei vaikutta inhibointi-prosessiin (kuva 3).



KUVA 3. Ulkoisten tekijöiden vaikutus RACE-mallin toimintaan (Osman ym. 1986).

Morya ym. (2003) mukaan: ”*Jotkut tutkijat ovat osoittaneet, että satoja millisekunteja vaaditaan inhiboimaan yksinkertainen näppäimistön painamisen syntyvä vaste. Toiset tutkijat ovat sitä vastoin raportoineen, että syntyvä vaste voidaan inhiboida missä vaiheessa tahansa.*” Rangaistuslaukaisun koejärjestelyissä laukaisevalle pelaajalle mitattiin ”point of no return” aika-arvo, joka vaihteli 240–245 ms välillä ennen pelaajan palloon osumista. On selvää, että kyky reagoida nopeasti muuttuvaan stimuliin ja inhiboida tai mukauttaa liikkeitä tapahtuman mukaisesti on tärkeää urheilun taito-ominaisuuksissa, kuitenkin urheilussa on kiinnitetty vähän huomiota ”point of no return” - käsitteeseen tutkijoiden osalta. (Morya ym. 2003.)

3.6 Silmänliikkeet ja fiksaatiot

Silmänliikkeet. Katsellessaan ihminen etsii aktiivisesti tietoa ympäristöstään, tähän liittyvät vilkkaasti liikkuvat silmät ja myös omalla tavallaan pään liikkeet. Silmämunan liikkeistä huolehtii molempien silmien kuusi silmänliikuttajalihasta jo jonkin näiden halvaantumisen aiheuttaa karsastamista ja täten verkkokalvolle piirtyvät kuvat ovat vastaamattomia ja syntyvät ns. kaksoiskuvia. (Nienstedt ym. 1990, 314).

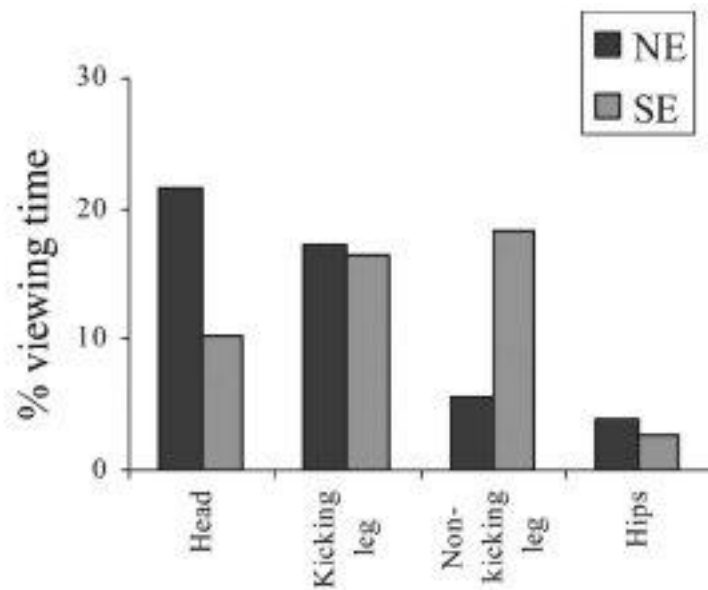
Silmän fysiologia. Silmän liikkeessä ja kohdistuksessa pysyvästi kohteeseen tarvitaan sakkadisia liikkeitä (eng. saccadic movement), pehmeitä seurantaliikkeitä (eng. smooth pursuit movement, vestibulaaria liikkeitä (eng. vestibular movement) ja mukautumista (eng. accommodation). Sakkadiset silmänliikkeet ovat nopeita, lyhyitä, molempien silmien yhdistettyjä liikkeitä. Latenssiaika kohteen havaitsemisesta sakkadiseen silmän liikkeeseen on noin 200 ms. Sakkadisen silmänliikkeen nopeus vaihtelee 10–80 ms välillä riippuen katselukulman suuruudesta katseltavan kohteen suhteen. Pehmeitä seurantaliikkeitä tarvitaan seuratessa tai kohdistuksessa liikkuvaan kohteeseen, latenssiaika on 125–150 ms luokkaa ja riippuu vuorokausirytmistä ja väsymystilasta. Lähestymisliikkeitä (eng. vergence movements) tarvitaan siirrettäessä katseen kohdistuminen kaukaisesta kohteesta lähellä olevaan kohteeseen tai lähestyvään kohteeseen, latenssiajan ollessa 160 ms. Vestibulaarisia silmänliikkeitä tarvitaan ylläpitämään fiksaatiota pään liikkeessä, latenssiaika on noin 100 ms ja liike sisältää yleensä pyörivän liikeradan. Mukautumista tarvitaan kohteen pitämiseksi verkkokalvolla ja täten silmä muuttaa mykiön eli linssin kuperuutta, tämän prosessin

latenssiaika on noin 360 ms. Fiksaation muuttaminen kaukaa lähinäöksi vaatii n. 640 ms ja toisinpäin noin 560 ms. (Maruenda 2004).

Savelsbergh ym. (2005) on tutkinut simuloidussa jalkapallon rangaistuslaukauksessa maalivahdin silmänliikkeitä ja fiksaatiota 16 maalivahdistä koostuvan koeryhmän avulla (keski-ikä 25.7, SD = 7.1 vuotta). Maalivahdit pelasivat Hollannin liigan kolmen ylimmän sarjatason joukkueissa aktiivisesti jalkapalloa. Maalivahdit jaettiin koejärjestelyiden tuomien rangaistuslaukaisun liittyvien torjuntaprosentti-tutkimustulosten perusteella seuraavasti:

1. Onnistuneet maalivahdit (SE = Successful Expert)
 - torjuntaprosentti 37–63 %
2. Ei onnistuneet maalivahdit (NE = Non- Successful Expert)
 - torjuntaprosentti alle 30 %

Näiden muodostettujen ryhmien avulla tutkittiin maalivahdin silmänliikkeitä ja tapahtumaan liittyviä prosentuaalisia fiksaatioita (kuva 4). Koetulokset osittavat, että onnistuneiden maalivahtien ryhmä käytti merkityksellisesti enemmän aikaa fiksaatiossa tukijalan liikkeisiin kuin ei onnistuneet maalivahdit ja myös ei onnistuneet maalivahdit kiinnittivät merkityksellisesti enemmän aikaa rangaistuslaukaisijan pään liikkeisiin. Merkityksellisiä eroja ei havaittu maalivahtiryhmien (SE vs. NE) välillä rangaistuslaukaisijan lantion ja potkaisevan jalan fiksaatio kohdistumisen suhteen. Tutkimuksessa havaittiin myös kokoneiden maalivahtien käyttävän tehokkaammin silmänliikkeitä hyväksi eli muodostaen määrällisesti vähemmän fiksaatioita, mutta pitempiä fiksaation kestoja valittuihin alueisiin. (Savelsbergh ym. 2005.)



KUVA 4. Onnistuneiden (SE) ja ei-onnistuneiden (NE) maalivahtien prosentuaaliset fiksaatiot suhteessa rangaistuslaukaisijan kehon osiin (Savelsbergh ym. 2005).

Savelsbergh ym. (2003; 2005) käyttivät simuloidussa rangaistuslaukauksessa maalivahtien silmien visuaalisen datan analysointiprosessissa seuraavia spesifikaatioita.

- Prosentuaalinen aika katseen kohdistumisessa rangaistuslaukaisijan eri kehon kohtiin, joiden avulla muodostetaan vihjeet tulevan laukaisun suunnasta. Yhteensä kahdeksaa eri rangaistuslaukaisijan kehon aluetta kategorioitiin ja neljä tärkeintä niistä analysoitiin; pää, lantio, potkaiseva jalka ja tukijalka. Muut alueet olivat; olkapäät, käsivarret, rintakehä ja pallo.
- Katseen kohdistumisen raja-arvot eri kehon kategorioihin: fiksaatio sidottiin 1,5° toleranssiin ja ≥ 120 millisekunnin fiksaatioaikaan.

Savelsberghin ym. (2003; 2005) kahdessa erillisissä tutkimuksissa oli koehenkilöinä vuonna 2003 kokemattomat maalivahdit ja vertailuryhmänä kokeneet maalivahdit sekä vuonna 2005 kokeneet onnistuneet maalivahdit ja vertailuryhmänä ei onnistuneet maalivahdit.

Panchuk ym. (2006) toteaa jääkiekkomaalivahdeille tehdyssä tutkimuksessaan, että vielä ei ole varmuutta mitkä riippuvuussuhteet muodostavan maalivahtien onnistumisen torjunnoissaan. Jotkut aikaisemmat eri tutkijoiden mm. Savelberg ym. (2002)

tutkimukset osoittavat, että ennakkoon muodostettavat vihjeet laukaisijan kehosta (lantio, laukaiseva jalka tai tukijalka) on kaikkein tärkeimpiä torjunnan onnistumiseksi kun taas toiset tutkimukset mm. Bard ym. (1981) osoittavat, että peliväliseen (pallo, kiekko) kohdistettu katse hetki ennen osumaa tai osuman jälkeiseen lentorataan on kriittisintä onnistuneeseen torjuntaan. Panchuk ym. (2006) tutkimusjärjestelyissä jääkiekkomaalivahti torjui viisi ja kymmenen metrin etäisyydeltä laukaistuja rannelaukauksia ja tutkimuksen tulokset osoittavat, että laukaisuetäisyydellä ei ole niin suurta merkitystä onnistuneeseen torjuntaan kuin maalivahdin sijainnilla, alkuasennolla (eng. onset) ja katseen kohdistuksella/fiksaation kestolla. Tutkimuksessa jääkiekkomaalivahtien fiksaatio kohdistui seuraaviin alueisiin: 70,53 % kiekko/maila, 25,68 % jääalue ennen kiekonlaukaisukohtaan ja harvemmin laukaisijan kehoon vain 2,1 %.

Nagano ym. (2004) havainnoitsi jalkapallossa 1 vastaan 1 puolustustilanteessa noviisien ja kokeneiden puolustuspelaajien silmän liikkeitä ja fiksaatioita. Tuloksissa havaittiin tilastollisesti merkittäviä eroja; noviisit seurasivat silmänliikkeillään hyökkäävän pelaajan kuljettamaa palloa, kun taas kokeneet puolustuspelaajat pallon ohella myös hyökkäävän pelaajan polven ja lantion liikkeitä, täten ennakoiden vastapelaajan seuraan ”siirron”. Land ym. (2000) havaitsi kriketissä onnistuneiden ja ei onnistuneiden lyöjien silmänliikkeissä eroja, onnistuneiden lyöjien ensimmäisten sakkadisten silmänliikkeiden latenssiajat ovat lyhyempiä kuin ei onnistuneiden lyöjien ja täten tämä silmänliikestrategia välittyy myös hänen pelitaitoonsa. Taasen Jafarzadehpur ym. (2006) tutki neljän naisista koostuvan tutkimusryhmän (ei pelanneet, aloittelevat, keskitalon pelaajat ja kehittyneet pelaajat) avulla lentopalloilijoiden silmänliikkeitä ja tutkimuksessa havaittiin urheilijoilla olevan nopeampi silmän mukautuminen ja sakkadiset silmänliikkeet (eng. saccadic eye movement eli SEM). Myös tilastollisesti merkittäviä eroja ($P < 0.001$) havaittiin edellä mainituissa tuloksissa ei pelanneiden ja aloittelevien ryhmän sekä keskitalon ja kehittyneiden ryhmän välillä. Hyvän lentopalloilijan vaatimuksena on silmänliike-tutkimuksen mukaan; mukautuminen eli kuinka nopeasti selvä kuva voidaan havainnoida ja sakkadiset silmänliikkeet eli kuinka nopeasti näkökyky voi kiinnittyä kohteeseen.

3.7 Lihasaktiivisuus (EMG)

Hermosto-lihasjärjestelmän ohjaama hetkellinen lihasaktiivisuus (EMG, eng. elektromyogram) havainnoidaan sähköisenä signaalina, joka on välittynyt motoneuronista lihassyihin. Näitä mitattuja jännitteiden vaihteluja kutsutaan aktiopotentiaaliksi ja ne voidaan tallentaa, kun ne leviävät lihassyiden sarkolemmaa pitkin hermo-lihasliitoksesta lihassyiden päihin. Lihasaktiivisuuden mittauksilla voidaan havaita klinikkosten toimesta hermo-lihasjärjestelmän poikkeavuudet, ergonomien toimesta työtehtäviin liittyvät lihasrasitukset, fysiologien toimesta hermo-lihasjärjestelmän adaptaatiomekanismit ja biomekaniikkosten toimesta arvioida lihasvoiman suuruutta. (Enoka 2002, 46.)

Lihasaktiivisuuden (EMG) mittaus tehdään mittapäillä, joita kutsutaan elektrodeiksi. Elektrodit havainnoivat aktiopotentiaalien aiheuttamat jännitteiden muutokset. Elektrodityyppejä on erilaisia: ihon pinnalle asennettavat eli pintaelektrodit, ihon ja lihaksen väliin asennettavat eli ihonalaiset elektrodit ja lihakseen, lihassolujen ulkopuolelle asennettavat eli lihaksen sisäiset elektrodit. EMG-mittausta, jossa käytetään elektrodiparia kutsutaan bi-polaariseksi ja yksittäisellä elektrodilla mitattua tallennusta monopolaariseksi. (Enoka 2002, 46–50.)

Usein suorituksen aikaisissa mittauksissa on aktiivisena useita motorisia yksiköitä ja tätä kutsutaan ”raaka” EMG:ksi. EMG:n analysoinnissa useimmin käytetty metodi on ensin tasasuunnata ”raaka” EMG ja sitten integroida saatu data. Tämän muokatun, integroidun EMG-datan avulla voidaan määrittellä tapahtuman synnyttämät amplitudit signaaleista. (Enoka 2002, 50–55.)

Esiaktiivisuus. Avela ym. (1996) tutki eri tavoilla tuotettujen venytyksien vaikutusta hermo-lihasjärjestelmään pudotushyppyjen aikana. Koejärjestelyissä tutkittiin triceps surae ja vastus lateralis -lihasten hermosto-lihasjärjestelmän ominaisuuksia, kuten lihasten esiaktiivisuutta yhteyttä toisiinsa kuin myös yksittäisen lihaksen ominaisuuksia venymis-lyhenemis-syklin aikana pudotushyppyjen avulla. Koejärjestelyissä pystyttiin muuttamaan massakeskipisteen nopeutta tai kehon massaa itsessään. Kaikissa eri koejärjestelyissä havaittiin lihasten esiaktiivisuus hyvissä ajoin ennen pudotushyppyn

maakontaktia. Lihasten esiaktiivisuuden kontrollointi mekanismi sisältää itsessään monia eri muuttujia. Kuitenkin oli havaittavissa, että lihasten esiaktiivisuus on ennalta opittua, jota voidaan tarvittaessa modifioida proprioseptisen, vestibulaarisen ja visuaalisen informaation avulla. Kuitenkin pitää olla tietoinen koejärjestelyissä suoritetuista lihasten kuormituksen liittyvistä muutoksesta etukäteen. Melvill-Jones & Watt (1971) havainnoivat tutkimuksessaan, että pudotushypyssä esiaktiivisuus käyttäytyy suorassa suhteessa pudotushypyn korkeuteen eli mitä korkeammalta pudottaudutaan, sitä suurempi lihasten esiaktiivisuus on havaittavissa.

Hyppyjä käytetään erilaisiin toimintoihin, kuten maksimi korkeuden saavuttaminen käsillä, kehon painopisteen maksimikorkeuden ja maksimi horisontaalinen etäisyys saavuttamien ja maksimi ajan saavuttaminen kun keho on irti maasta. Esitetyissä esikevennyshypyn tutkimusjärjestelyissä suoritettiin eliitti urheilijoilta EMG-aktiivisuuden mittausta gastrocnemius ja vastus medialis -lihaksia, jotka osallistuvat merkittävästi esikevennyshypyn liikkeen muodostamiseen. (Enoka 2002, 194–195.)

Rinkinen toteaa (2002, 9–15), vastus-lihakset (medialis, lateralis ja intermedius) ovat tehokkaita polven ojentajia ja pohkeen lihakset gastrocnemius sekä soleus toimivat nilkan plantaarifleksoreina ja avustavat polven koukistuksessa ja jalan sisäkierrossa, kun taas tibialis anterior toimii nilkan dorsifleksorina sekä nilkan sisäkierrossa. Lihaskäyttöön esikevennyshypyn työntövaiheen aikana on todettu aktivoituvan ”ylhäältä alaspäin” eli pakarat, reiden, sääri ja nilkka järjestyksessä sekä havaittu eri hypyjen yhteydessä lihasaktiivisuuden vähenevän juuri ennen kuin hyppy irtaamaista. *Staatillisen hypyn* lihasten koordinoinnissa suurimman energian tuottavat hypyn aikana vastus-lihakset ja gluteus maximus, kuitenkin viimeiset 20 % kontaktista myös nilkan plantaariflekseksorit (pohkeessa gastrocnemius ja soleus) osallistuvat merkittävästi hypyn energiantuottoon (Pandy & Zajac 1991).

Rahnama ym. (2006) toteaa, että pintaelektrodien avulla suoritettujen lihasaktiivisuudenmittaukset eri urheilusuoritusten aikana olevan käyttökelpoinen ja arvokas tekniikka tutkittaessa suorituksen aikaisia lihasaktiivisuuksia (EMG), koordinaatiota ja väsymystä. Kymmenelle amatööritason jalkapalloilijoille suoritettiin jalkapallopelin väsymystä simuloiva koejärjestely juoksumatolla, jossa koehenkilöt lajimaisesti kävelivät, hölkkäsivät, juoksivat ja spurttasivat. Koehenkilöiltä mitattiin

alaraajojen pääliharyhmiin kuuluvien rectur femoris- (RF), biceps femoris- (BF), tibialis anterior- (TA) ja gastrocnemius-lihaksen (GC) lihasaktiivisuuksia. EMG-mittaukset suoritettiin ennen varsinaista simuloitua peliä, puoliajalla 45 minuutin kohdalla ja heti ottelun jälkeen 90 minuutin kohdalla. Tutkimustulokset osoittivat jalkapallopelein intensiteetillä suoritetuissa simuloitussa koejärjestelyissä kyseisten alaraajojen lihaksien lihasaktiivisuudessa olevan vähäisempää pelin jälkeen kuin ennen peliä. Tämä EMG-aktiivisuuden vähentyminen osoitti pitkäaikaisen, jaksottaisen suorituksen vaikuttavan lihasaktiivisuuteen vaikkakin työkuorma oli koejärjestelyissä vakio suuruinen. (Rahnama ym. 2006.)

Rinkinen toteaa myös (2002, 17–18): ”Harjoittelun ja oppimisen aikana yleensä lihastoiminta on aluksi varsin suurta ja monet lihakset toimivat yhtäaikaisesti, mutta toiminta alkaa vähitellen hioutua kohti tarkoituksenmukaista eri lihasten vuorottelua tai yhtäaikaista toimintaa ja lihasaktiivisuus pienenee tai suurenee tarpeen mukaan taitosuorituksesta riippuen.” Todetaan myös voimistelussa, polvikiepin oppimisprosessin aikana, lihasaktiivisuuksien vähentyneen taidon kehittyessä, lihasten toimivan tarkemmin vuorollaan ja lyhyemmän ajan, mutta terävämmin.

3.8 Syke ja HRV

Häyrinen ym. (2007) toteaa harjoittelun ja pelaamisen ”häiriinnyttävän” kehon monien prosessien homeostasiaa eli tasapainotilaa. Fyysisellä harjoittelulla aiheutetaan muutoksia autonomisen hermoston säätelyyn ja näitä muutoksia voidaan tunnistaa ja seurata sydämen sykkeen sekä sykevaihtelun avulla. Tunnistettavia muutoksia ovat kehon ylikuormitus, alentunut fyysinen suorituskyky sekä havaintokykyä, kehon eri stressitilat ja harjoittelusta palautuminen. Tutkimusjärjestelyissä havainnoitiin Suomen nuorten jalkapallomaajoukkueen jäsenten (keski-ikä 17,4±0,5) stressitiloja ja palautumista turnauksen aikana kerättyjen sykkeen ja sykevaihtelujen avulla. Analysointiin käytettiin Firstbeat Sport 1.2.0.8 -ohjelmistoa, joka tuotti tietoa yksilöllistä tietoa pelaajien EPOC-arvoista (eng. Excess Post-exercise Oxygen Consumption), yön aikaisista stressi- ja palautumis-indekseistä. Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella todettiin analysointijärjestelmän tuottavan hyvää tietoa

joukkueurheilun kuten jalkapalloa harrastavien pelaajien harjoittelun ja pelaamisen aikaisista stressitiloista ja niiden ehkäisemisestä/madaltamisesta. (Häyrinen ym. 2007.)

American Heart Association Inc. (1996) on Heart rate variability -ohjeistuksessa todennut, että jo kahden vuosikymmenen ajan on ollut tunnistettavissa merkityksellinen riippuvuussuhde autonomisen hermoston toiminnan ja sydänkuolleisuuden, sydänkohtaukset mukaan lukien välillä. Kokeelliset todisteet yhdistivät kuolettavat rytmihäiriöt ja merkit kasvaneesta sympaattisesta ja vähentyneestä vagoalisesta toiminnasta (eng. vagal activity). Näiden oireiden tunnistaminen on rohkaisut kvantitatiivisen tuntomerkin kehittämiseen koskien autonomisen hermoston toimintaa ja sydämen sykkeen vaihtelun (lyh. HRV) on osoittautumassa yhdeksi lupaavimmista tuntomerkeistä.

Niskanen ym. (2004) mukaan HRV kuvaa peräkkäisten sydämensykkeiden ajallista vaihtelua. HRV:n säätelymekanismi saavat alkunsa sympaattisesta ja parasympaattisesta hermostosta ja täten sitä voidaan käyttää autonomisen hermoston kvantitatiivisena tuntomerkinä. HRV:n vaikuttavat stressi, tietyt sydänsairaudet ja muut patologiset tilat. Yhdessä nykyaikaisen sykkeen mittaus monitoroinnin, jolla kyetään mittaamaan R-R- intervallia (esim. Polar S810 sykemittari) ja HRV- analysointi järjestelmien avulla näitä muutoksia voidaan seurata. Esimerkiksi ei kaupallisella, vapaassa jakelussa olevalla esim. Kubios HRV Analysis - ohjelmiston HRV:n laskentaan perustuva analysointi kattaa kaikki yleisesti käytetyt aika- ja taajuusriippuvaiset parametrit ja myös Poincaré plottausten (taulukko 1).

Variable	Description
Statistical measures	
Mean and STD RR (s)	Mean and standard deviation of the selected RR interval series
Mean and STD HR (1/min)	Mean and standard deviation of the selected heart rate series
RMSSD (ms)	The root mean square of differences of successive RR intervals
NN50 (count)	Number of consecutive RR intervals that differ more than 50 ms
pNN50 (%)	The percentage value of consecutive RR intervals that differ more than 50 ms
Geometric measures	
RR triangular index	The integral of the RR interval histogram divided by the maximum of the histogram
TINN (ms)	Baseline width of the RR interval histogram
Nonlinear measures (Poincaré plot)	
SD1 (ms)	The standard deviation of the Poincaré plot perpendicular to the line-of-identity
SD2 (ms)	The standard deviation of the Poincaré plot along the line-of-identity
Spectral measures (parametric and nonparametric)	
Peak frequency (Hz)	Peak frequencies of the power spectral density estimate for VLF, LF, and HF frequency bands
Power (ms ² , %, and n.u.)	The powers for VLF, LF, and HF frequency bands in ms ² and in percentage value. For LF and HF bands the power is also represented in normalized units (n.u.).
LF/HF (%)	Ratio of LF and HF frequency band powers in (ms ²)

TAULUKKO 1. HRV:n laskennallisten parametrien kuvaukset (Niskanen ym. 2004).

Laitio ym. (2001) toteaa sydämen sykevaihtelun olevan tarkkaan säädelyä toimintaa, johon vaikuttaa suuri joukko tekijöitä. Yksi tärkeimmistä on sympaattisen ja parasympaattisen autonomisen hermoston tasapaino. Sydämen sykkeen syklinen lyönti lyönniltä – vaihtelu tarjoaa epäsuoran autonomisen hermoston mittarin. Parasympaattinen hermosto aiheuttaa suuritaajuista vaihtelua eli HF-muuttujan arvon kohoamista ja sympaattinen matalataajuista eli LF-muuttujan arvon kohoamista. Tämä johtuu seikoista, jossa vaste parasympaattisesta stimulaatiosta saadaan muutamassa millisekunnissa, kun taas sympaattisesta stimulaatiosta se kestää muutamia sekunteja. Aikakenttäanalyysissä (eng. time domain analysis) eri muuttujien arvot saadaan yksinkertaisella staattisella analyysillä RR-intervallijaksoista tai niiden eroista. Perättäisten RR-intervallien eroja mitattaessa lasketaan niiden RR-intervallien osuus, jotka poikkeavat toisistaan yli 50 millisekuntia (NN50) ja lisäksi pystytään analysoimaan perättäisten RR-intervallien erotuksen neliöjuuri (RMSSD). Näillä havainnoidaan lähinnä parasympaattista aktiivisuutta ja nimenomaan hengityksen aiheuttamaan vaihtelua. Taajuuskenttäanalyysissä (eng. frequency domain analysis) spektrianalyysi tehdään joko lyhyistä tai pitkistä analogisista tai digitaalisista rekisteröinneistä, kuitenkin analoginen data pitää ensin digitoidaan. Spektrianalyysi kykenee aikakenttäanalyysiä paremmin erottamaan vagaalisen ja sympaattisen aktivaation aiheuttaman sykevaihtelun ja jossain määrin myös mittaamaan sympatovagaalista tasapainoa. Suuritaajuinen alue (eng. High Frequency, HF) on 0,15–

0,40 Hz ja vastaa aikariippuvaisena sykevaihtelua 2,5–7 sekunnin jaksoissa. Matalataajuinen alue (eng. Low Frequency, LF) on sitä vastoin 0,04–0,15 Hz ja vastaa sykevaihteluna 7–25 sekunnin jaksoja. LF-alueella on nähtävissä sekä sympaattisen että parasympaattisen hermoston aiheuttama sykevaihtelu ja LF-taajuuden on havaittu kasvavan sympaattisen aktivaation lisääntyessä esimerkiksi niin sanotussa ”tilt”-kokeessa myös kehon pystyasento vaikuttaa sympaattiseen aktivaatioon ja täten LF-taajuuteen. Makuuasennossa on havaittu LF-taajuuden olevan pääasiassa parasympaattisen kontrolloinnin alainen. Erittäin matalataajuinen alue (eng. Very Low Frequency, VLF) esiintyy 0,0033–0,04 Hz alueella ja vastaa sykevaihtelua aina 25 sekunnista 5 minuuttiin. (Laitio ym. 2001.) VLF-alueen fysiologinen tausta on vielä epäselvä, mutta ilmeisesti se on sidoksissa lämmönsäätelyyn kuin myös matalataajuiseen jaksottaiseen hengitykseen (Mortara ym. 1997).

McCraty ym. (1995) on tutkinut HRV-analyysin avulla ihmisen emotionaalisia tiloja ja on demonstroinut, että positiivisilla tunnetiloilla on vaikutusta sympatovagaaliseen tasapainoon ja positiivisista tunnetiloista voi olla hyötyä sydänahtaumien, verenpaine- ja sepelvaltimotaudin hoidossa. McCraty ym. (1995) tutkimuksen mukaan Sloan ym. (1994) on esittänyt, että henkiset stressitilat kasvattavat LF-muuttujan arvoa (eng. Low Frequency) ja laskee MF-muuttujan (eng. Medium Frequency) ja HF-muuttujan (eng. High Frequency) arvoja. McCraty ym. (1995) on tutkimuksessaan todennut vastaavanlaisia ominaisuuksia; itse aiheutetut vihantunteet kasvattavat sympaattista aktiivisuutta ja tätä indikoidaan tehonarvon nousuna LF-muuttujassa, joka puolestaan kasvattaa LF/HF-suhteen tehoarvoa.

4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT

Useissa urheilulajeissa on useita eri pelinaikaisia suorituksia, joissa tapahtuman reagointiin, ajoituksiin ja suorituksen vaatimaan toimintaan jää todella minimaalisesti aikaa, jopa vain muutamia satoja millisekunteja. Jalkapallossa yksi tällainen nopea tapahtuma on rangaistuslaukaisu, joka ”*pelaajan onnistunut maalinteko vs. maalivahtin onnistunut torjunta*”-luonteensa johdosta synnyttää stressaavan tilanteen niin torjuntaan valmistuvalle maalivahdille kuin rangaistuslaukaukseen suorittavalle pelaajallekin. Rangaistuslaukaukseen on kiinnitetty hyvin vähän huomiota niin rangaistuslaukaukseen liittyvän tutkimuksen kuin maalivahtien lajivalmennuksenkin osalta. Yksittäisen rangaistuslaukauksen rooli pelin lopputulokseen voi olla todella ratkaiseva suurissa arvoturnauksissa, kuten Jalkapallon Maailmanmestaruuskisoissa.

Tämän mahdollisimman luonnollisissa olosuhteissa suoritettun tutkimuksen tarkoituksena oli:

1. Kehittää *uusi, eri järjestelmistä integroitu mittausjärjestelmä*, jolla voidaan rekisteröidä *synkronoidusti* maalivahtien ja pelaajien rangaistuslaukaukseen liittyvää toimintaa.
2. Luoda alustava analysointimenetelmä, jonka avulla voitaneen määrittää monipuolisesti maalivahtin *ennakoivan toiminnan ajoituksia ja dynamiikkaa*.
3. Soveltaa mittausjärjestelmää aloittelevien, nuorten ja kokeneiden maalivahtien toimintaerojen ja taidonhallinnan tutkimukseen sekä taidon oppimiseen liittyvien kriittisten elementtien määrittämiseen.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Tutkimusryhmä ja koehenkilöt

Tutkimusryhmään kuuluivat Pro Gradu-tutkielmaan suorittavat Marko Hänninen ja Kajaanin yliopistokeskuksen SkilLab-laboratorion tutkimushenkilökuntaa. Työn valvojina toimivat professori Timo Järvilehto Oulun yliopiston Kajaanin yliopistokeskukselta ja TtM Jukka Salmi Jyväskylän yliopistolta.

Tutkimus suoritettiin SkilLab-laboratorissa sisätiloissa, kuitenkin luoden mahdollisimman luonnolliset olosuhteet jalkapallon rangaistuslaukaisun suorittamiseen laboratorio-olosuhteissa. Koehenkilöitä tutkimukseen osallistui yhteensä viisi koehenkilöä, kolme maalivahtia ja kaksi laukaisijaa (taulukko 2). Kaikki viisi koehenkilöä osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja allekirjoittivat siihen liittyvän suostumuslomakkeen.

Paikka:	Kajaanin yliopistokeskuksen SkilLab-laboratorio, Kajaani
Päivämäärä:	19.–20.6.2007
Koehenkilöt/ID/Tunnus: Ikä/ Pelaajakokemus/ Kätisyys:	<u>1. tutkimuspäivä 19.6.2007</u> Harjoitellut maalivahti: – Joonas S. / ID2 / (MV_JS) – 16 v. / 9 v. / Oikea Harjoitellut laukaisija: – Atte K. / (AK) – 14 v. / 10 v. / Oikea

	<u>2. tutkimuspäivä 19.6.2007</u> Nuori maalivahdit: – Joonas J. / ID1 / (MV_JJ) – 9 v. / 2 v. / Oikea Kokenut maalivahti: – Hannu H. / ID3/ (MV_HH) – 49 v. / 43 v. / Oikea Kokenut laukaisija: – Timo H. / (TH) – 24 v. / 16 v. / Oikea
Testihenkilön vaatetus:	Jalkapalloon sopiva vaatetus; pelipaita, pelishortsit/-housut ja salikäyttöön soveltuvat jalkapallokengät.

TAULUKKO 2. Tutkimuksen ja koehenkilöiden perustiedot

4.2 Testiprotokolla

Maalivahdit valmisteltiin koetta varten yksi kerrallaan ja maalivahdin lihaksiin asennettiin ihon pinnalle neljä erillistä EMG-pintaelektroodia esi-/lihasaktiivisuuden analysointi varten. Maalivahdin lihasaktiivisuus (EMG) mitattiin pintaelektrodeilla kehon oikealta puolelta; etureidestä vastus lateralis -lihaksesta (VL), pohkeesta ulommasta lateral gastrocnemius -lihaksesta (LG), etusäärestä tibialis anterior -lihaksesta (TA) ja niskan/yläselän trapezius-lihaksesta (TR) havainnoitiin käsivarsien liikettä ja tilanteen aiheuttamia mahdollisia psyykkisien jännitystiloja ja lopuksi data tallennettiin maalivahdilla lantiolla vyölaukussa olevaan EMG-dataloggeriin. Mittausdataa kerättiin myös maalivahdilta sykemittarilla/-pannalla sykkeen ja R–R-intervallin keräystä/analysointia varten. Tämän jälkeen asennettiin silmänliike-kamerajärjestelmän ”kypärä” koehenkilön päähän ja laitteisto kalibroitiin

laitetoimittajan rutiinien (tehdaskalibrointi) mukaisesti jokaiselle koehenkilölle erikseen ennen kokeen alkua ja jokaisen 5 laukaisua sisältävän trialin välissä. Koejärjestelyitä suoritettiin 4 trialia aloittelevalla ja harjoitelleella maalivahdille sekä 5 trialia kokeneelle maalivahdille. Tutkimuksen tekniseen suorittamiseen esivalmistelutöineen kului aikaa noin neljä tuntia ja tulosten analysointityöhön useita kymmeniä tunteja maalivahtia kohden, johtuen koejärjestelyiden luonteesta eli uuden integroidun mittausjärjestelmän kehitystyöstä.

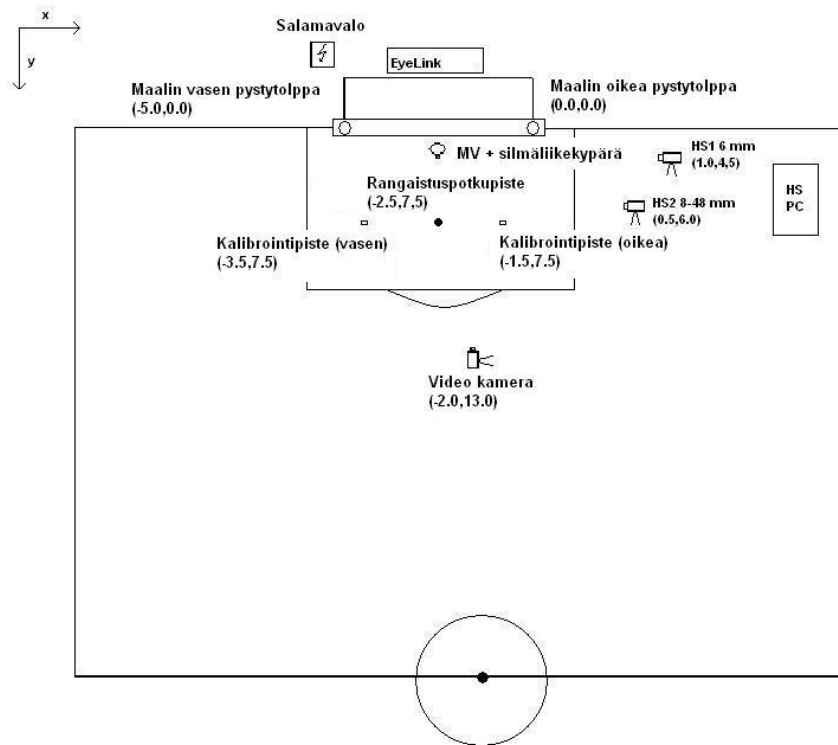
Maalivahdille ja rangaistuslaukauksen suorittavalle pelaajalle ei annettu erillisiä ohjeistuksia liittyen pelaajan tai maalivahdin strategioihin (esitetty kappaleissa 3.4 ja 3.5).

Testausprotokolla ja koejärjestelyt (Kuva 5. ja Kuva 6.):

1. Jalkapallomaalin esivalmistelut; 10 eri osuma-/positiosektorin merkitseminen merkintätarroin ylähirteen 50 cm etäisyydelle toisistaan (etäisyys pystytolpasta 50 cm, 100 cm ja 150 cm, jne.).
2. Rangaistuspilkun kohtisuoran 7,5 m etäisyyden mittaaminen maaliviivalle maalin keskikohtaan ja suhteuttaen sen etäisyys eri osumasektoreiden etäisyyteen. Etäisyyttä käytetään pallon nopeuden manuaaliseen määrittämiseen High Speed-kameroiden nauhoituksesta saatavan aikajakson kanssa.
3. Koehenkilön esivalmistelut sisältäen EMG:n ja sydämen sykkeen R–R-intervallin mittausjärjestelyt.
4. Silmänliikekamerajärjestelmän tehdaskalibrointi.
5. Rangaistuslaukauksen torjuntaan valmistautuvia maalivahteja ei ohjeisteta ennalta mihinkään yllämainitusta strategioista.
6. Rangaistuslaukauksen suorittavaa pelaajaa ei ohjeisteta ennalta mihinkään yllämainituista strategioista.
7. Koko testaus tapahtuma dokumentoidaan kellonaikoineen ja tapahtumineen testauspöytäkirjaan yhden testaushenkilön toimesta.
8. Koko tapahtuman nauhoittava videokamera käynnistetään n. 5 minuuttia ennen koetta.
9. Maalivahdin sykkeen R–R-intervallin keräys käynnistetään sykemittarista manuaalisesti 2 minuuttia ennen koetta testaushenkilöstön toimesta ja tämä

käynnistystapahtuma rekisteröidään koko tapahtumaan nauhoittavalle videokameralle.

10. Maalivahti kääntää katseensa lisäsalamavalon suuntaan ennen trialin alkua.
11. Käynnistetään silmänliike-kamerajärjestelmä sekä High Speed -kamerajärjestelmä.
12. Tämän jälkeen laukaistaan lisäsalamavallo, joka käynnistää automaattisesti myös EMG:n taltioinnin dataloggerin ulkoisen trigger in -kaapelin avulla. Lisäksi tämän salaman ”välähdyksen” avulla koko tapahtumasarjan eri kameralaitteistojen ajoitus saadaan synkronoitua ajallisesti toisiinsa EMG-dataloggerin lisäksi. HUOM! Jokaisen erillisen trialin EMG data tallennetaan omaan erilliseen tiedostoon jälkianalysointia varten.
13. Maalivahti kääntää katseensa lisäsalaman välähdyksen jälkeen vasemmalla puolelle sijaitsevaan manuaaliseen etäisyys-kalibroititauluun hetkeksi aikaa ja sen jälkeen oikealle olevaan.
14. Tämän jälkeen maalivahti välittömästi kääntää katseensa rangaistuslaukaisijaan (pelaajaan) ja valmistautuu normaalisti torjuntaan.
15. Jokaisen yksittäisen rangaistuslaukauksen jälkeen maalivahti katsoo laukaisijan vasemmalla puolelle sijaitsevaa manuaalista etäisyys-kalibroititaulua hetken aikaa ja sen jälkeen oikealla puolella olevaa. Etäisyys-kalibroititaulun avulla voidaan korjata jälkikäteen suoritettavassa datan analysoinnissa mahdollisia torjunnan aiheuttamia silmänliikekameroiden tärähdyksistä johtuvia järjestelmän liikkumista koehenkilön päässä.
16. Tämän jälkeen maalivahti siirtää katseensa takaisin rangaistuslaukaisu tapahtumaan, joka on samalla merkki pelaajalle seuraavan rangaistuslaukauksen suorittamiseksi.
17. Koejärjestely sisältää yhteensä 5 laukaisua/trial ja jokaisen trialin päätteeksi maalivahti katsoo uudestaan lisäsalamaa, jolla annetaan trialin päättymismerkki tapahtumaa nauhoittaville/rekisteröiville laitteistoille.
18. Maalivahdin koejärjestelyt sisältä yhteensä 4–5 erillistä 5 laukauksen trialia, joten yksittäisestä maalivahdist saadaan 20–25 rangaistuslaukauksen tutkimusaineisto.
19. Jokaisen trialin välissä suoritetaan laitteiston erillinen tehdaskalibroitiritiini.



KUVA 5. Koejärjestelyssä käytettävien mittalaitteiden ja apuvälineiden paikkakoordinaatit.



KUVA 6. Koejärjestelyt mahdollisimman luonnollisissa olosuhteissa SkilLab-laboratoriossa.

4.3 Laitteisto, tiedonkeruu ja -prosessointi

Maalivahdin *silmänliikkeet* rekisteröitiin EyeLink II-järjestelmällä (SR Research Ltd., Kanada) näytteenottonopeudella 29,97 kuvaa/sekunti. EyeLink II-ohjelmistossa oli käytössä seuraavat valinnaiset parametrit; Saccadic Sensitive: Normal, File Sample Filter: Extra, Link/Analog Filter: Standard. Silmänliikkeet analysoitiin manuaalisesti ”kuva kerrallaan”-menetelmällä Scene Link -ohjelmiston avulla.

Maalivahdin ja pelaajan kehon *liikeradat* tallennettiin kahdella Basler A602fc (Basler AG, Germany) High Speed DV kameralla näytteenottonopeudella 150 kuvaa/sekunti. Maalivahdin organisoitumista ja kehon liikkeitä kuvattiin High Speed kameralla 1. (HS1) ja laukaisijan High Speed kameralla 2. (HS2). Tallennetut liikeradat analysoitiin jäljempänä mainitulla Peak Motus Motion Measurement System -ohjelmistolla.

Hermo-lihasjärjestelmän *esi-/lihasaktiivisuus (EMG)* tallennettiin esigeelillä käsiteltyjen hopea/hopeakloridi-pintaelektrodien avulla valituista alaraajojen TA-, LG-, VL- ja niskan/selän TR-lihaksista ME6000 järjestelmällä näytteenottonopeudella 1000 näytettä/sekunti. Säädösten mukaisesti (Konrad 2005) 4 paria EMG-pintaelektrodi (yksi EMG-elektrodipari/lihas) asennettiin lihaksen motorisen pisteen ja lihaksen distaalisen pään puoleen väliin, elektrodiparin etäisyyden ollessa noin 2 senttimetriä. Lisäksi maadoituselektrodit (yksi maadoituselektrodi/lihas) asennettiin kehon kohtiin, joissa luun pinta on havaittavissa heti ihonkudoksen alta. Kaikkien elektrodien kiinnitys varmistettiin teipillä ja liitettävien EMG-johtimien venyminen eliminoitiin teippaamalla johtimet kiinni ihoon asianmukaisesti. Tallennettu data analysoitiin jälkikäteen MegaWin v.2.5 ohjelmistolla (Mega Electronics Oy., Suomi) ja tämä ”raaka EMG” käsiteltiin ensin keskiarvostetuksi EMG:n tehollisarvoksi (eng. RMS Averaging EMG, RMS aEMG) dataksi valintaparametrien ollessa Averaging Frame width 0,005 sekunti ja Smoothing Frame width 1 sekunti ja täten ”muokattu” näytteenottonopeus oli vain 200 näytettä/sekunti. Muokkauksen jälkeen RMS aEMG -data tallennettiin ASCII-muotoon ja siirrettiin Peak Motus -järjestelmään. Dataa muokattiin myös Peak Motus Motion Measurement System -ohjelmiston avulla, jonka avulla datasta suodatettiin pois ”ylimääräisiä signaaleita = piikkejä”. Suodatin tyyppinä käytettiin Butterworth-suodatinta ja ohjelmiston ehdottamia default-arvoja lisäparametreille seuraavasti;

Cutoff Frequency vaihtelee 2 Hz ja 6 Hz välillä riippuen lihaksesta ja Prescribed limit (PL) on 0,100000.

Lisäsalamavalo Style 400Fx Swiss made studio flash system (Elinchrom, Sveitsi) käynnisti ulkoisen trigger in -kaapelin avulla jokaisen erillisen trialin alussa ME6000 EMG-dataloggerin ja tämän lisäsalaman ”välähdyksen” avulla synkronoitiin myös kaksi High Speed -kameraa, videokamera ja EyeLink II - järjestelmän Scene-kameran avulla tallennustapahtumat ajallisesti toisiinsa. Lisäsalamavalon avulla myös annettiin jokaisen erillisen trialin lopussa tapahtuman lopetus-merkki kyseisille järjestelmille.

Yleiskuva testauksesta toteutettiin Sony 3CCD Progressive Scan MiniDV videokameralla, tyyppi DCR-TRV900E PAL (Sony, xxxx). Yleiskuvan lisäksi videokuvan perusteella voitiin tarkistaa High Speed -kameroiden nauhoitusten lisäksi pallon osumatarkkuus ja maalivahdin positio suhteessa ylähirteen merkittyihin kymmeneen erilliseen torjuntasektoriin. Videokuvaa käytettiin myös koko testaustapahtuman lisäkehitykseen mahdollisiin tuleviin jatkotutkimuksiin.

Syke ja sykkeen R-R vaihtelu rekisteröitiin Polar 810 sykkeenmittauslaitteistolla (Polar Oy, Suomi) ja analysoitiin jälkikäteen Kubios HRV Analysis -ohjelmistolla (Kuopion yliopisto, Suomi), jonka avulla määritettiin mahdolliset suorituksen aikaiset psyykkiset jännitystilat.

Pallon nopeus, osumatarkkuus ja maalivahdin paikkasektori rekisteröitiin ja nauhoitettiin High Speed -kameran ja osaltansa myös normaalin Sonyn videokameran avulla. Analysointi suoritettiin tallenteista manuaalisesti jälkikäteen ko. nauhoitetusta videotallenteesta. Pallon osumatarkkuussektorit olivat merkitty maalin ylähirteen kymmenellä erillisellä merkintätarralla ja merkintätarrojen etäisyys oli 50 cm.

4.4 Tilastollinen käsittely

Tilastollinen tulosten analysointi suoritettiin SPSS for Windows 15.0 ohjelmistolla (SPSS Inc., IL,USA).

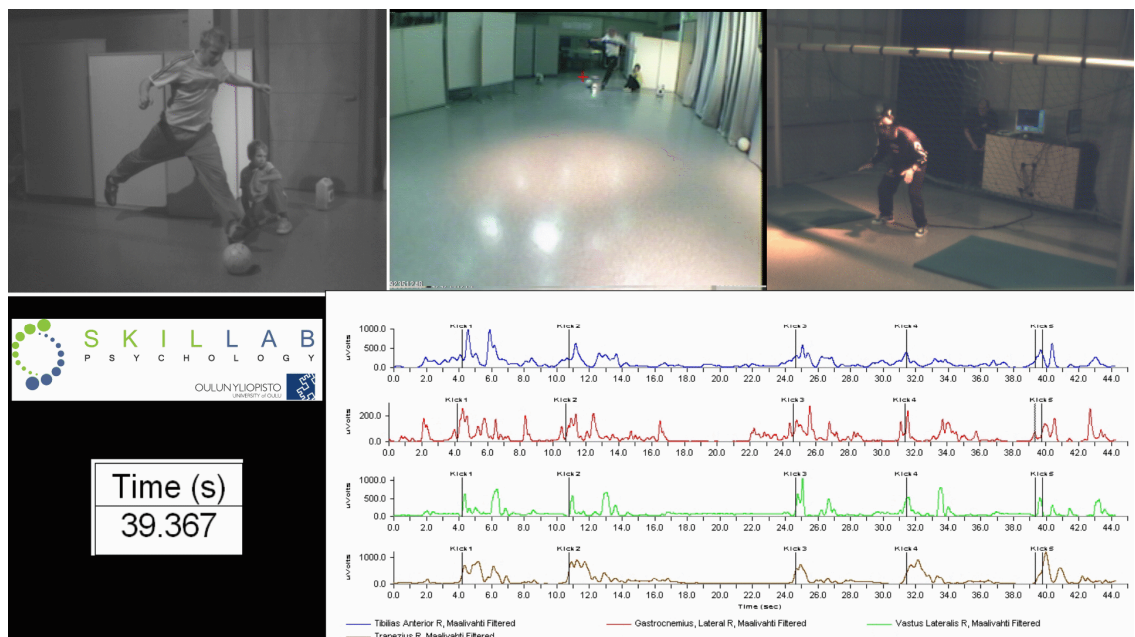
5 TULOKSET

Tuloksista esitetään ensin uuden integroidun mittausjärjestelmän tuotos eli synkronoitu eri järjestelmien videokuva tallenteiden ja EMG-signaalien summa trial ja maalivahtikohtaisesti rangaistuslaukaustapahtumasta. Toisessa osiossa esitetään tutkimuksen tuloksena syntyvä alustava maalivahdin ennakoivan toiminnan organisointi-malli pääasiassa kokeneen maalivahdin tuloksiin perustuen. Kolmannessa osiossa esitetään eri-ikäisten maalivahtien toimintaeroihin ja taidonhallintaan liittyviä tuloksia.

5.1 Integroitu mittausjärjestelmä

Tutkimuksessa uudella integroidulla mittausjärjestelmällä tuotettiin tuotos (kuva 7.), jossa on yhdistettynä ja synkronoituna mahdollisimman tarkasti eri järjestelmien videokuvatallenteet ja lihasten esi-/lihasaktiivisuus neljästä eri kehon oikeanpuoleisesta lihaksesta; etureiden vastus lateralis -lihaksesta (VL), pohkeen ulommasta lateral gastrocnemius -lihaksesta (LG), etusäären tibialis anterior -lihaksesta (TA) ja niskan/yläselän trapezius-lihaksesta (TR). Kuvassa ylhäällä vasemmalla näkyvät ensimmäisellä High Speed-kameralla tallennettu data laukaisijan liikeradoista 150 kuvaa/sekunti nopeudella ja oikeassa kulmassa toisella High Speed -kameralla tallennettu data maalivahdin liikkeistä samalla 150 kuvaa/sekunti nopeudella. Keskellä ylhäällä kuvassa näkyi EyeLink II -järjestelmän tallenne maalivahdin silmänliikkeistä 29,97 kuvaa/sekunti nopeudella ja kuvassa esiintyvä pieni punainen risti havainnoi maalivahdin silmien yhdistettyä liikettä. Keskiarvostetut ja suodatetut neljä erillistä EMG-signaalia ”muokatulla” näytteenottonopeudella 200 näytettä/sekunti näkyivät kuvassa alhaalla seuraavasti; ylimmäisenä oikeanpuoleisen etureiden vastus lateralis -lihas (VL), sen alla oikeanpuoleisen pohkeen ulompi lateral gastrocnemius -lihas (LG), seuraavaksi oikeanpuoleisen etusäären tibialis anterior -lihas (TA) ja viimeisenä oikeanpuoleisen niskan/yläselän trapezius-lihas (TR). EMG-signaalien datojen kuvaajaan on myös asetettu manuaalisesti jälkikäteen 5 erillistä markkeria (Kick 1...Kick 5), jotka havainnoivat milloin trialin sisältämät rangaistuslaukaukset ovat suoritettu suhteessa videotallenteisiin. Tallenteesta voitiin seurata tapahtumien

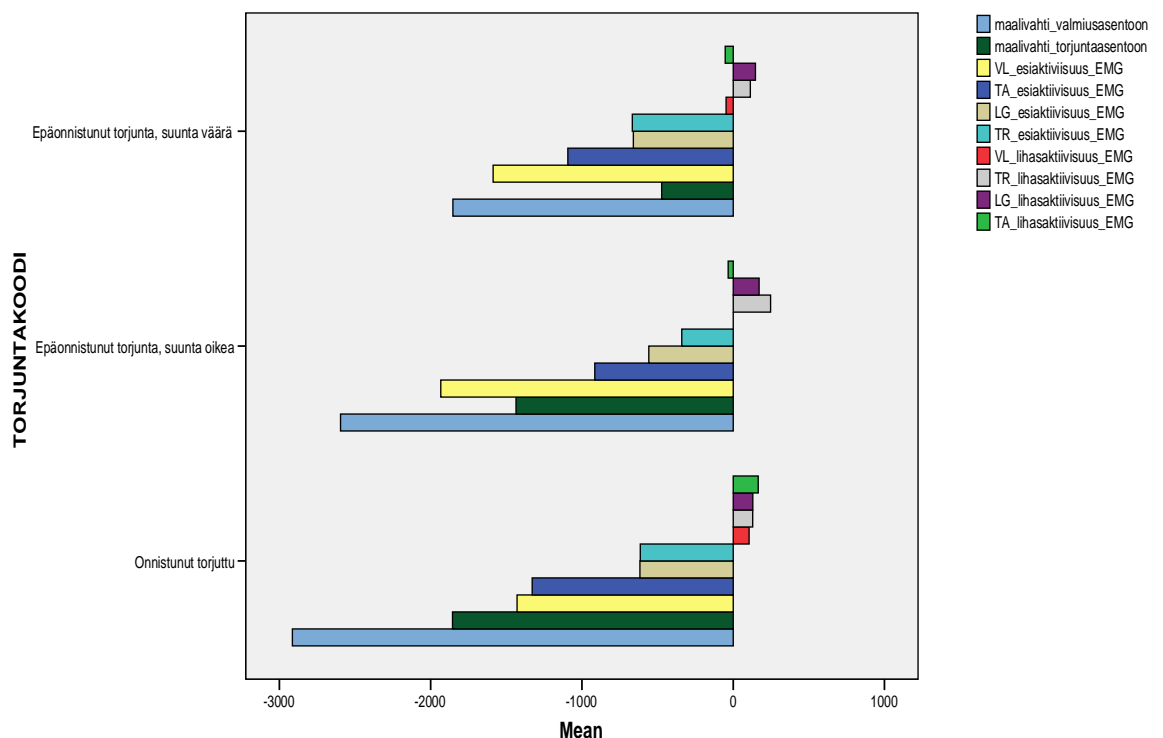
etenemistä EMG-signaalien päällä ”liukuvalla” reaaliaikaisella markkerilla, joka näkyi videotallenteesta pystyviivana hieman ennen Kick 5-markkeria. Tuotoksessa näkyi myös vasemmassa alareunassa tuotoksen ajallista kestoä esittävä kellonäyttö. Tuotosten pituudet maksimissaan olivat noin 42 sekuntia ja tämä oli riippuvainen High Speed -kameroihin liittyvän Peak Motus Motion Measurement System -ohjelmiston kertatallennus kapasiteetista, joka puolestaan oli riippuvainen näytteenottonopeuden valinnan suuruudesta, oli näissä koejärjestelyissämme siis 150 kuvaa/sekunti.



KUVA 7. Laukaisijan liikeanalyysi, maalivahdin silmänliikkeet ja liikeanalyysi sekä EMG-signaalit neljästä eri lihaksista synkronoituna toisiinsa ajan suhteen.

5.2 Maalivahdin ennakoivan toiminnan organisointi

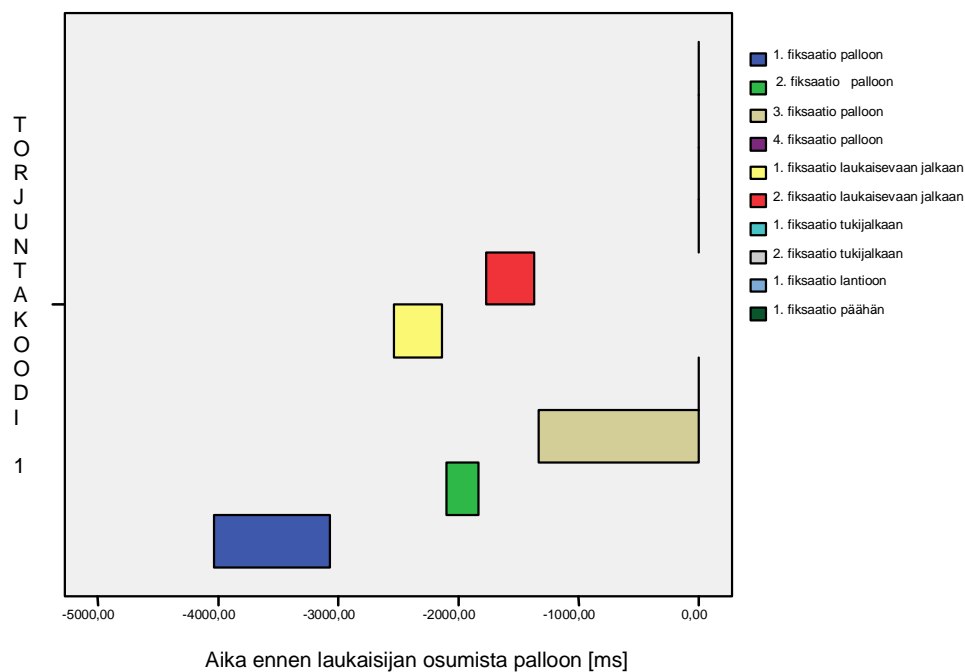
Maalivahdin lihaksiston ennakoivan toiminnan organisointi. Kokeneen maalivahdin valmiusasentojen ja torjunta-asentojen ennakoivaa toimintaa tutkittiin suhteessa tutkimukseen valittujen kehon oikeanpuoleisien TA-, LG, VL- ja TR-lihasten rangaistuslaukauksien aikaisiin esi- ja lihasaktiivisuuksiin (EMG). Nämä tulokset jaoteltiin torjuntakoodeittain ja vaaka-akselilla esiintyvään pelaajan palloon osumisen ajankohtaan millisekunteina (kuva 8). Torjuntakoodi 1. kuvaa maalivahdin onnistunutta torjuntaa, puolestaan torjuntakoodi 2. kuvaa epäonnistunutta torjuntaa, jossa maalivahti kuitenkin suorittaa torjuntasukelluksen oikeaan suuntaan suhteessa pallon osumasektoriin ja viimeisenä torjuntakoodi 3. kuvaa epäonnistunutta torjuntaa, jossa maalivahti suorittaa torjuntasukelluksen väärään suuntaan suhteessa pallon osumasektoriin eli ennakoi pallon suunnan väärin.



KUVA 8. Kokeneen maalivahdin keskimääräiset esi- ja lihasaktiivisuudet (EMG) suhteessa maalivahdin valmiusasentoihin ja torjunta-asentoihin rangaistuslaukauksien aikana.

Maalivahdin silmänliikkeiden ennakoivan toiminnan organisointi. Kokeneen maalivahdin torjuntakoodin 1., onnistunut torjunta, suuntaa-antavat alustavat tulokset analysoitiin 2. trialin 3. rangaistuslaukauksen avulla osoittivat kokeneen maalivahdin suorittavan 5 erimittaista fiksaatiota (5 eri väistä pylvästä) ennen pelaajan palloon osumista. Harmaat alueet pylväiden välissä aikajana (x-akseli) suuntaan liikuttaessa osoittivat eri fiksaatioiden välisiä maalivahdin sakkaisia silmänliikkeitä siirryttäessä pelaajan kehon osa-alueesta toiseen maalivahdin ennakoivaa toimintaa ”luoden”. Fiksaatioiden kestot osoitettiin eriväristen pylväiden pituuden suurena ja ajallisesti suurin fiksaatio oli sininen palkki, jossa palloon kohdistuva ensimmäinen fiksaatio alkoi noin 4050 ms kohdalla ja päättyi noin 3050 ms ennen pelaajan palloon osumista. Fiksaatioiden suoritusjärjestys oli (kuva 9.);

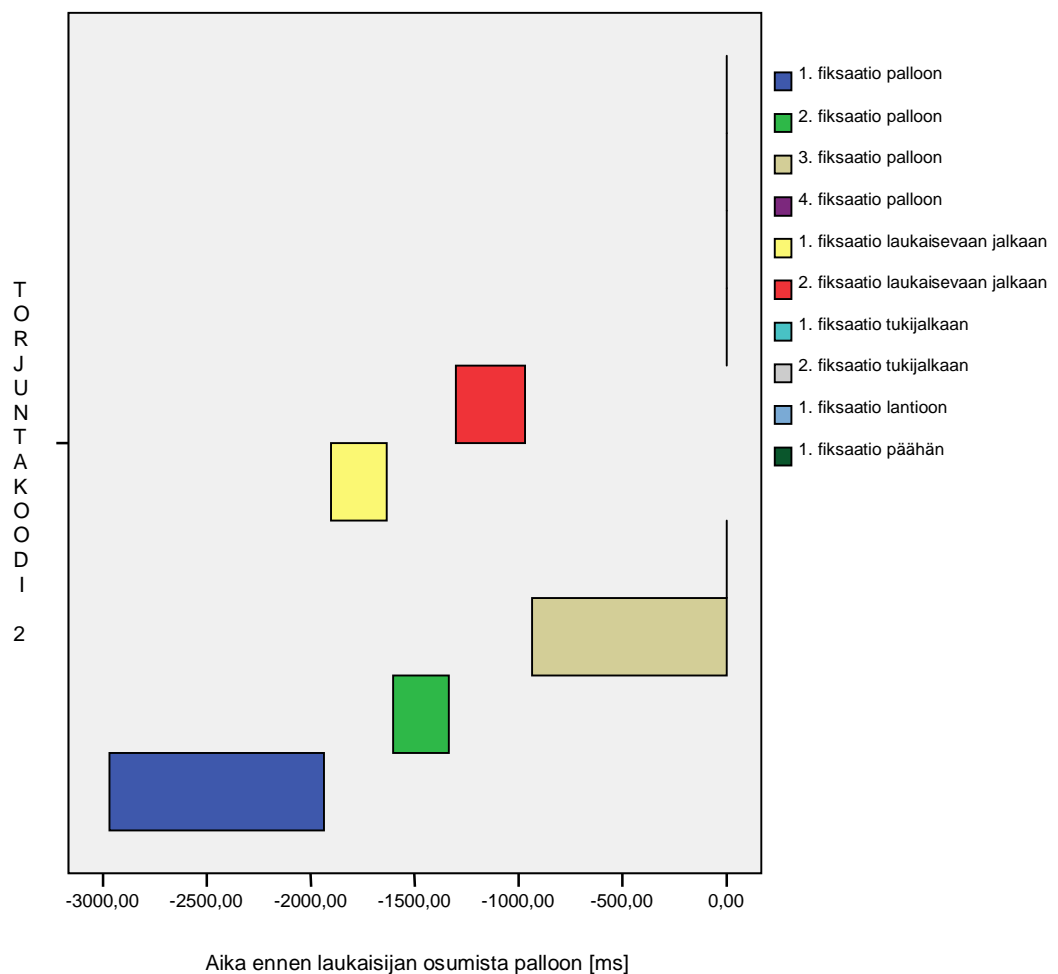
- sininen palkki, ensimmäinen fiksaatio palloon
- keltainen palkki, ensimmäinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa
- vihreä palkki, toinen fiksaatio palloon
- punainen palkki, toinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa
- vaalean ruskea, kolmas fiksaatio palloon



KUVA 9. Kokeneen maalivahdin keskimääräiset silmänliikkeet ja fiksaatiot torjuntakoodissa 1.

Kokeneen maalivahdin torjuntakoodin 2., epäonnistunut torjunta, jossa torjuntasuunta oli oikea, suuntaa-antavat alustavat tulokset analysoitiin 3. trialin 5. rangaistuslaukauksen avulla osoittivat kokeneen maalivahdin suorittavan 5 erimittaista fiksaatiota ennen pelaajan palloon osumista. Ajallisesti suurin fiksaatio oli sininen palkki, jossa palloon kohdistuva ensimmäinen fiksaatio alkoi noin 2950 ms kohdalla ja päättyi noin 1900 ms ennen pelaajan palloon osumista. Fiksaatioiden suoritusjärjestys oli (kuva 10.);

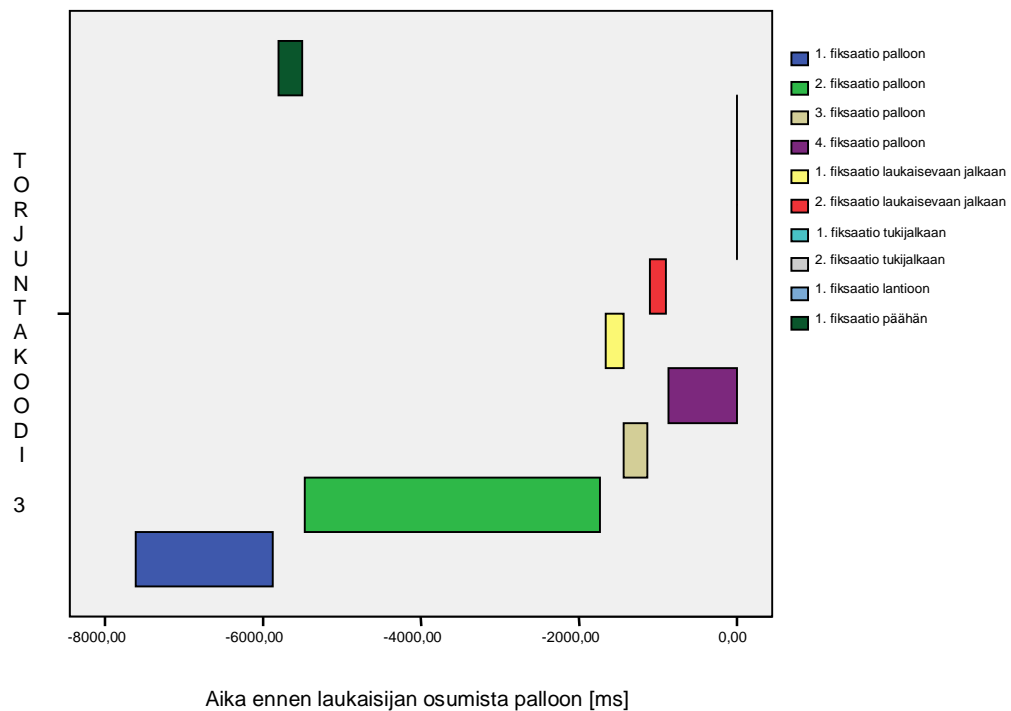
- sininen palkki, ensimmäinen fiksaatio palloon
- keltainen palkki, ensimmäinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa
- vihreä palkki, toinen fiksaatio palloon
- punainen palkki, toinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa
- vaalean ruskea, kolmas fiksaatio palloon



KUVA 10. Kokeneen maalivahdin keskimääräiset silmänliikkeet ja fiksaatiot torjuntakoodissa 2.

Kokeneen maalivahdin torjuntakoodin 3., epäonnistunut torjunta, jossa torjuntasuunta oli väärä, suuntaa-antavat alustavat tulokset analysoitiin 2. trialin 2. rangaistuslaukauksen avulla osoittivat kokeneen maalivahdin suorittavan 7 erimittaista fiksaatiota ennen pelaajan palloon osumista. Ajallisesti suurin fiksaatio oli vihreä palkki, jossa palloon kohdistuva toinen fiksaatio alkoi noin 5500 ms kohdalla ja päättyi noin 1600 ms ennen pelaajan palloon osumista. Fiksaatioiden suoritusjärjestys oli (kuva 11.);

- sininen palkki, ensimmäinen fiksaatio palloon
- tumman vihreä palkki, ensimmäinen fiksaatio pelaajan päähän
- vihreä palkki, toinen fiksaatio palloon
- keltainen palkki, ensimmäinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa
- vaalean ruskea, kolmas fiksaatio palloon
- punainen palkki, toinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa
- violetti palkki, neljäs fiksaatio palloon



KUVA 11. Kokeneen maalivahdin keskimääräiset silmänliikkeet ja fiksaatiot torjuntakoodissa 3.

5.3 Maalivahtien toimintaerot ja taidonhallinta

Valmiusasento ja torjunta-asento. Kokeneen maalivahdin rangaistuslaukauksista analysoitiin yhteensä 19 rangaistuslaukaisua, joten saanto oli 19 analysoitua rangaistuslaukaisua/20 hyväksytysti suoritettua rangaistuslaukaisua, harjoitelleen maalivahdin saanto oli 13/13 rangaistuslaukaisua ja nuoren maalivahdin saanto oli 19/19 rangaistuslaukaisua. Pallon keskimääräinen lentoaika ja keskihajonta olivat 384,6 ($\pm 32,1$) ms kokeneella maalivahdilla, 426,2 ($\pm 49,6$) ms harjoitelleella maalivahdilla ja 530,2 ($\pm 50,7$) ms nuorella maalivahdilla. Lisäksi maalivahdeilta määritettiin myös keskimääräinen aloitusajankohta ja keskihajonta milloin maalivahdit aloittivat valmiusasentojen ja torjunta-asentojen valmistautumisensa suhteessa laukaisijan palloon osumiseen. Kokeneella maalivahdilla valmiusasento aloitettiin -2427,84 ($\pm 819,64$) ms ja torjunta-asento -878,63 ($\pm 506,90$) ms, harjoitelleella maalivahdilla vastaavat arvot olivat -1472,38 ($\pm 1472,38$) ms ja -314,38 ($\pm 103,23$) ms sekä nuorella maalivahdilla -2545,84 ($\pm 1529,32$) ms ja -558,47 ($\pm 325,86$) ms (taulukko 3) ennen palloon osumista.

	Laukauksien määrä [kpl]	Δt pallon lentoaika [ms]	Δt_{MV-VA} [ms]	Δt_{MV-TA} [ms]
Nuori maalivahti	19	530,2 ($\pm 50,7$)	-2545,84 ($\pm 1529,32$)	-558,47 ($\pm 325,86$)
Harjoitellut maalivahti	13	426,2 ($\pm 49,6$)	-1472,38 ($\pm 1472,38$)	-314,38 ($\pm 103,23$)
Kokenut maalivahti	19	384,6 ($\pm 32,1$)	-2427,84 ($\pm 819,64$)	-878,63 ($\pm 506,90$)

TAULUKKO 3. Pallon keskimääräinen lentoaika, maalivahdin valmiusasentojen (Δt_{MV-VA}) ja torjunta-asentojen (Δt_{MV-TA}) valmiustilat suhteessa laukaisijan palloon osumiseen.

Rangaistuslaukauksen torjunnan osa-alueet. Maalivahtien torjuntaan liittyviä liikeratoja analysoitiin maalivahtia kuvaavan trial-kohtaisten High Speed -kameran tallenteiden (HS1) ja Peak Motus Motion Measurement System -ohjelmiston avulla ”kuva kerrallaan” -menetelmällä. Menetelmän avulla saatiin tuloksia eri maalivahtien välisistä toiminta- ja taidonhallintaan liittyvistä eroista rangaistuslaukauksien aikana. Eri maalivahtien järjestelmällistä, aikariippuvaista toimintaa ja taidonhallintaa osoittivat ”keskimääräiset” esimerkit ”still”-kuvien muodossa valmius-asennoista (kuva 12.), torjunta-asennoista (kuva 13.) ja torjuntasukelluksista vasemmalle (kuva 14.) tai oikealle puolelle (kuva 15).



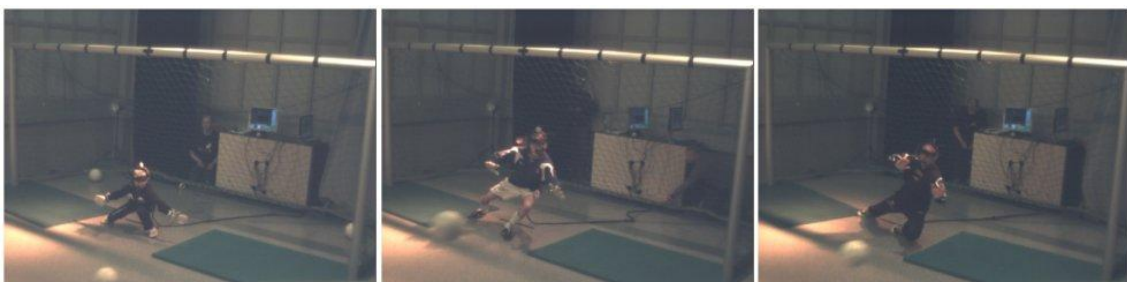
KUVA 12. Nuoren, harjoitelleen ja kokeneen maalivahdin valmiusasennot.



KUVA 13. Nuoren, harjoitelleen ja kokeneen maalivahdin torjunta-asennot.



KUVA 14. Nuoren, harjoitelleen ja kokeneen maalivahdin torjuntasukellus vasemmalle puolelle.



KUVA 15. Nuoren, harjoitelleen ja kokeneen maalivahdin torjuntasukellus oikealle puolelle.

Esi- ja lihasaktiivisuus (EMG). Tutkimukseen valittujen kehon neljän oikeanpuoleisen lihaksen; *m. tibialis anterior* (TA), *m. lateral gastrocnemius* (LG), *m. vastus lateralis* (VL) ja *m. trapetzius* (TR) esiaktiivisuuden voimistuminen normaalitasosta ja lihasaktiivisuuden maksimiarvon havainnointiaika (\pm SD) [ms] suhteessa laukaisijan palloon osumiseen on esitetty taulukossa 4. Kokeneen maalivahdin

rangaistuslaukauksista analysoitiin yhteensä 10 rangaistuslaukaisua, joten saanto oli 10 analysoitua rangaistuslaukaisua/20 hyväksytysti suoritettua rangaistuslaukaisua, harjoitelleen maalivahdin saanto oli 0/13 rangaistuslaukaisua ja nuoren maalivahdin saanto oli 10/19 rangaistuslaukaisua.

	Δt TA _{EMG} [ms]	Δt LG _{EMG} [ms]	Δt VL _{EMG} [ms]	Δt TR _{EMG} [ms]
Esiaktiivisuus				
Kokenut maalivahti	-1181,3 (+536,9)	-603,5 (+199,1)	-1596,0 (+465,5)	-537,4 (+211,9)
Nuori maalivahti	-359,3 (+249,9)	-303,4 (+122,3)	-563,4 (+335,7)	-242,0 (+111,2)
Lihasakiivisuus				
Kokenut maalivahti	83,9 (+208,9)	143,9 (+160,2)	58,6 (+105,3)	162,6 (+99,3)
Nuori maalivahti	112,7 (+113,4)	264,1 (+110,3)	290,7 (+93,2)	309,4 (+184,5)

TAULUKKO 4. Lihasten esiaktiivisuus ja lihasaktiivisuus (EMG) havaintoaika suhteessa pallon osumiseen.

Ennakointi ja torjuntaprosentit. Kokeneelta maalivahdilta analysoitiin torjuntakooditutkimuksessa yhteensä 20, harjoitelleelta 13 ja nuorelta 19 rangaistuslaukaisua. Torjuntakoodi 1. eli GK_{torjunta} -muuttujan tulokset osoittavat kokeneen maalivahdin torjuntaprosentiksi 45,00 %, harjoitelleelle maalivahdille 38,46 % ja nuorelle maalivahdille 26,32 %. Tulokset osoittavat myös torjuntakoodilla 3. eli GK_{väärä suunta} -muuttujan avulla nuoren maalivahdin aavistavan väärään suuntaan 0,0 % laukauksista, kokeneella ja harjoitelleella maalivahdilla samainen arvo noin 35 % luokkaa (kuva 16). Torjunta on epäonnistunut (torjuntakoodi 2. eli GK_{ei torjuntaa}) oikeasta maalivahdin suunnasta huolimatta nuorella maalivahdilla 73,68 % suuruisena ja kokeneella sekä harjoitelleella maalivahdilla noin 20 % suuruisena (taulukko 5).

	Laukauksien määrä [kpl]	GK _{väärä suunta} [%]	GK _{ei torjuntaa} [%]	GK _{torjunta} [%]
Nuori maalivahti	19	0,00 %	73,68 %	26,32 %
Harjoitellut maalivahti	13	38,46 %	23,08 %	38,46 %
Kokenut maalivahti	20	35,00 %	20,00 %	45,00 %

TAULUKKO 5. Maalivahtien torjuntakoodit jaoteltuna kolmeen eri luokkaan; maalivahti ennakoit pallon suunnan väärin (GK_{väärä suunta}), maalivahti ennakoit pallon suunnan oikein, mutta torjunta epäonnistuu (GK_{ei torjuntaa}), maalivahti ennakoit pallon suunnan oikein ja torjuu rangaistuslaukauksen (GK_{torjunta}).



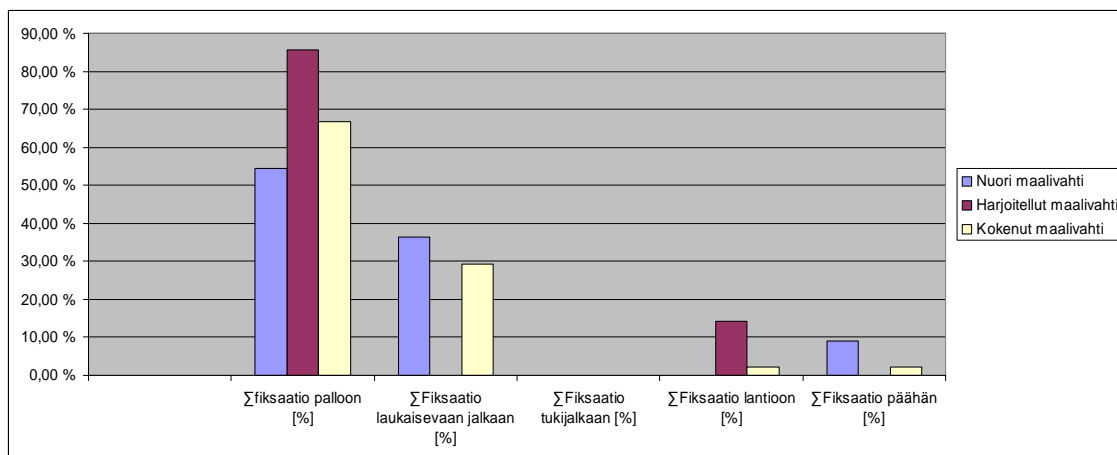
KUVA 16. Harjoitelleen ja kokeneen maalivahdin väärään suuntaan toteutunut torjuntasukellus.

Silmänliikkeet ja fiksaatiot. Kokeneelta maalivahdilta analysoitiin silmänliike ja fiksaatio-tutkimuksessa yhteensä 15, harjoitelleelta 5 ja nuorelta 5 rangaistuslaukaisua. Kokenut maalivahti käytti keskimäärin 3,20 ($\pm 1,90$) fiksaatiota per rangaistuslaukaisu, harjoitellut maalivahti 1,40 ($\pm 0,89$) fiksaatiota ja nuori maalivahti 2,20 ($\pm 1,10$) fiksaatiota ennen rangaistuslaukaisijan palloon osumista. Harjoitelleen maalivahdin fiksaatiot suuntautuivat palloon 85,71 % sekä rangaistuslaukaisijan lantioon 14,29 %. Kokeneen maalivahdin fiksaatiot suuntautuivat palloon 66,67 % ja laukaisevaan jalkaan 29,17 % sekä myös noin 2 % suuruisina rangaistuslaukaisijan lantioon että päähän. Nuoren maalivahdin fiksaatiot suuntautuivat palloon 54,55 % ja laukaisevaan jalkaan 36,36 % sekä myös noin 9 % suuruisena rangaistuslaukaisijan päähän (taulukko 6).

ID	Σ Fiksaatiot [kpl]	Σ Fiksaatiot palloon [%]	Σ Fiksaatiot laukaisevaan jalkaan [%]	Σ Fiksaatiot tukijalkaan [%]	Σ Fiksaatiot lantioon [%]	Σ Fiksaatiot päähän [%]
Nuori maalivahti	2,20 ($\pm 1,10$)	54,55 %	36,36 %	0,00 %	0,00 %	9,09 %
Harjoitellut maalivahti	1,40 ($\pm 0,89$)	85,71 %	0,00 %	0,00 %	14,29 %	0,00 %
Kokenut maalivahti	3,20 ($\pm 1,90$)	66,67 %	29,17 %	0,00 %	2,08 %	2,08 %

TAULUKKO 6. Maalivahtien keskimääräiset fiksaatioiden lukumäärät ja fiksaatioiden lukumäärien prosentuaaliset osuudet kohteittain rangaistuslaukauksen aikana.

Silmänliikkeiden ja fiksaatioiden prosentuaaliset ajat eri seurantakohteisiin suhteessa laukaisijan aloittamaan liikkeeseen (kuva 17.). Fiksaatioiden analysoinnin kohteina olivat pallo, laukaiseva jalka, tukijalka, lantio, pää.



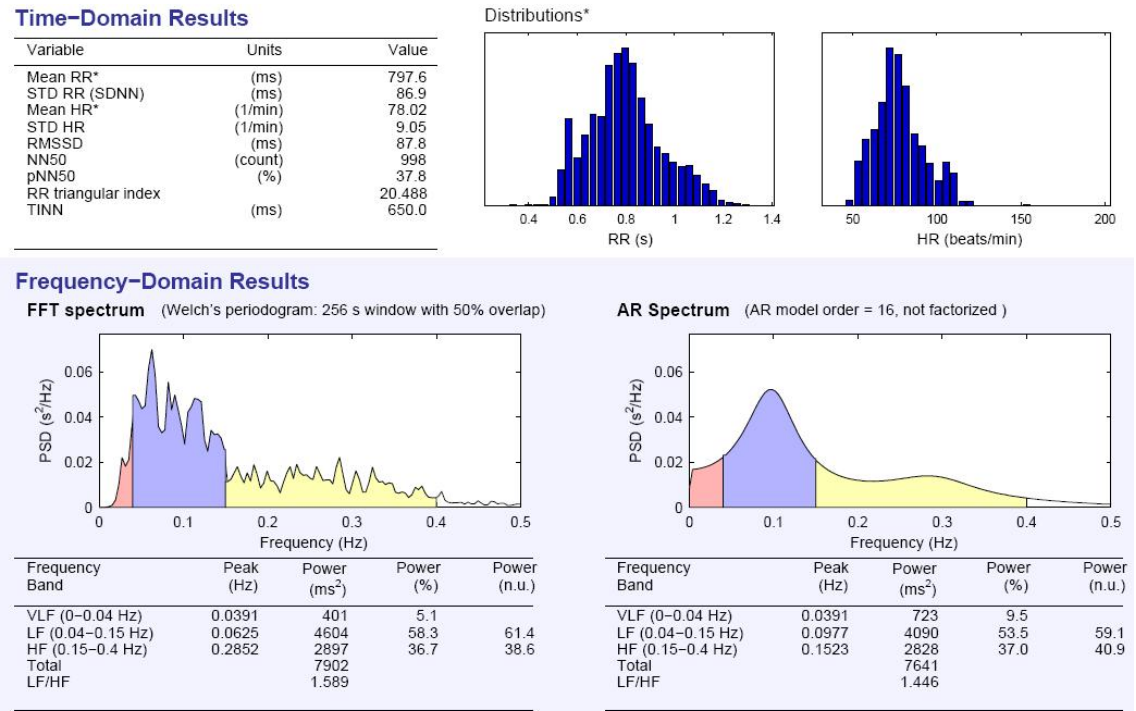
KUVA 17. Maalivahtien keskimääräiset fiksaatioiden lukumäärät ja fiksaatioiden lukumäärien prosentuaaliset osuudet kohteittain rangaistuslaukauksen aikana.

Kokeneen maalivahdin fiksaatioiden kokonaiskesto oli keskimäärin 4294,00 ($\pm 2982,53$) millisekuntia maalivahdin rangaistuslaukauksen valmistautumisesta rangaistuslaukaisijan palloon osumiseen, harjoitelleen maalivahdin 1786,20 ($\pm 481,30$) millisekuntia ja nuoren maalivahdin 2745,00 ($\pm 2080,39$) millisekuntia. Harjoitelleen maalivahdin fiksaatioiden kokonaiskestosta suuntautui palloon 93,54 % ja rangaistuslaukaisijan lantioon 5,38 %. Kokeneen maalivahdin fiksaatioiden kokonaiskestosta suuntautui palloon 79,88 %, laukaisevaan jalkaan 8,94 % sekä myös 0,08 % suuruisina rangaistuslaukaisijan lantioon että 0,26 % suuruisena päähän. Vastaavasti nuorella maalivahdilla palloon 44,48 % ja laukaisevaan jalkaan 40,03 % sekä 3,97 % suuruisena rangaistuslaukaisijan päähän (taulukko 7).

ID	ΣFiksaatioiden kokonaiskesto [ms]	ΔD Fiksaatiot palloon [%]	ΔD Fiksaatiot laukaisevaan jalkaan [%]	ΔD Fiksaatiot tukijalkaan [%]	ΔD Fiksaatiot lantio [%]	ΔD Fiksaatiot päähän [%]
Nuori maalivahti	2745,00 ($\pm 2080,39$)	44,48 %	40,03 %	0,00 %	0,00 %	3,97 %
Harjoitellut maalivahti	1786,20 ($\pm 481,30$)	93,54 %	0,00 %	0,00 %	5,38 %	0,00 %
Kokenut maalivahti	4294,00 ($\pm 2982,53$)	79,88 %	8,94 %	0,00 %	0,08 %	0,26 %

TAULUKKO 7. Maalivahtien keskimääräiset fiksaatioiden kokonaiskestot ja fiksaatioiden kestojen prosentuaaliset osuudet kohteittain rangaistuslaukauksen aikana.

Syke ja HRV. Sydämen sykkeen R-R vaihtelun analysoitiin koehenkilöiltä Kubios HRV Analysis -ohjelmiston avulla. Ohjelmiston avulla voidaan yksityiskohtaisesti analysoida yleisesti käytetyt aika- ja taajuusriippuvaiset parametrit sekä myös Poincaré plottaus (kuva 18).



KUVA 18. Nuoren maalivahdin aika- ja taajuusriippuvaisten parametrien eri arvot analysoituna Kubios HRV Analysis -ohjelmistolla.

Alustavista tuloksista havaittiin muun muassa seuraavia sympaattisen ja parasympaattisen hermoston tilojen kvantitatiivisia aika- ja taajuusriippuvaisia arvoja;

- kokenut maalivahti RMSSD = 109,4 ja LF/HF = 4,426
- harjoitellut maalivahti RMSSD = 15,2 ja LF/HF = 7,458
- nuori maalivahti RMSSD = 87,8 ja LF/HF = 1,446

Esimerkki nuoren maalivahdin suorituksen aikaisesta HRV Analysis-General Results -tuloksista esitetään liitteissä 1.

6 POHDINTA

Valmiusasento ja torjunta-asento. Tulokset osoittivat, että kokeneelle maalivahdille rangaistuslaukaukset olivat nopeampia ja täten pallon lentoaika oli lyhyempi kuin harjoitelleelle ja nuorelle maalivahdille. Tähän oli syynä, että kokeneelle ja nuorelle maalivahdille käytettiin samaa aikuista laukaisijaa ja laukaisija ei laukaissut palloa yhtä nopeasti nuorelle maalivahdille. Kuitenkin on muistettava, että nuori maalivahti on pituudeltaan vain 131 cm ja kokenut maalivahti 179 cm ja tämä osaltansa kompensoisi laukauksien nopeuksien eroja. Tulokset osoittivat kokeneen maalivahdin aloittavan ennakoivaan toimintaan kuuluvien valmiusasennon ja torjunta-asennon valmistautumisen ajallisesti aikaisemmin kuin muut maalivahdit ja tämä voi osaltansa olla syynä kokeneen maalivahdin onnistuneisiin suorituksiin ja jopa 45,00 % torjuntaprosentin korkeaan arvoon. Savelsbergh ym. (2003; 2005) määritteli onnistuneet maalivahdit (SE = Successful Expert) tutkimuksessaan torjuntaprosenttiltaan 37–63 % luokkaan ja täten kokenut maalivahtimme kuuluu kyseiseen valioryhmään.

Rangaistuslaukauksen torjunnan osa-alueet. Eri trialeista muodostettujen keskimääräisten torjuntaan liittyvien liikeratojen osa-alueiden; valmiusasento, torjunta-asento, heittäytyminen maahan kauas, heittäytyminen maahan kauas tulosten analysoinnin avulla voitiin kuvasarjoista 12–15 tulkita kokeneen maalivahdin ja harjoitelleen maalivahdin valmiusasennon ja torjunta-asennon olevan *Jalkapallomaalivahdin tekniikat*-oppikirjan mukaista (ks. kappale 3.2). Lisäksi kokeneella maalivahdilla havaittiin myös juuri ennen laukaisijan palloon osumista pieni hyppy, joka oikea-aikaisesti suoritettuna lisää alaraajojen ponnistustehoa. Nuorella maalivahdilla havaittiin erinäisiä puutteita torjuntaan liittyvissä liikeradoissa; 1) valmiusasennosta siirryttäessä torjunta-asentoon käsivarsien ja jalkojen nivelkulmien pitäisi pienetä, jota tässä ei tapahtunut lainkaan ja täten torjunta-asennot ja valmiusasennot olivat lähes samat, 2) tasapainoiseen voimakkaaseen ponnistuksen sivulle kyetäkseen alaraajat olivat liian leveällä, 3) paino ei siirtynyt päkiöille esivenytyksen ja räjähtävän ponnistuksen tehostamiseksi torjunta-asennossa, 4) käsien torjuntatyöskentelyssä kädet ”makasivat” ennen torjuntaa liian alhaalla, 5) torjunnassa

vain toinen käsi ojentui torjunnan suuntaan, joten kädet eivät antaneet torjunnalle ”suuntaa ja vauhtia”. Tähän havaittuun kokeneen maalivahdin ennakoivaan toimintaan voitiin rinnastaa erinomaisesti Rinkisen (2002) toteamusta: ”kehittää ihanteellinen suoritustekniikka sekä soveltaa opittua suoritustekniikkaa muuttumattomissa ja poikkeuksellisissa olosuhteissa ja tilanteissa.” Eri maalivahdeilla oli myös havaittavissa toiminnoissa eroja, jotka liittyvät taidon opettelemiseen ja siihen liittyvien lukuisten toistojen määrään. Sääkslahti ym. (2007) määritteli taidon opettaminen kolmeen eri vaiheeseen: 1) kognitiiviseen eli varhaiseen vaiheeseen, 2) assosiativiseen eli välivaiheeseen 3) automaatiovaiheeseen eli lopulliseen vaiheeseen. Kokenut maalivahti on ehdottomasti vaiheen 3-tasolla ja nuori maalivahti tapaa 1-tason vaihetta. Harjoitelleen maalivahdin liikeradat olivat kutakuinkin kokeneen maalivahdin kaltaisia, mutta koetilanteessa yllättänyt pahoinvointi osaltaan vaikutti maalivahdin suoritustasoa alentavasti, etenkin loppusukelluksissa ja tapahtumissa hetki ennen laukaisijan palloon osumista.

Esi- ja lihasaktiivisuus (EMG). Tutkimuksessa havaittiin neljän kehon oikeanpuoleisen lihaksen; *m. tibialis anterior* (TA), *m. lateral gastrocnemius* (LG), *m. vastus lateralis* (VL) ja *m. trapetzius* (TR) esiaktiivisuuden voimistuminen normaalitasosta (\pm SD) olevan jopa kaksi tai jopa kolme kertaan ajallisesti aikaisempaa kokeneella maalivahdilla kuin nuorella maalivahdilla. Tämä osoitti kokeneen maalivahdin aloittavan torjuntaan valmistautumisen hyvissä ajoin noin 600–1600 millisekuntia ennen laukaisijan palloon osumista riippuen tutkittavasta lihaksesta. Samoten kokenut maalivahti pystyi suorittamaan torjuntaliikkeeseen vaadittavan maksimi lihasaktiivisuuden huomattavasti aikaisemmin kuin nuori maalivahti jopa noin 60 ms pallon osumisen jälkeen ja tämä puolestaan mahdollisesti osoitti kokeneen maalivahdin pystyvät ennakoimaan laukaisijasta saatavien vihjeiden perusteella pallon suunnan. Maalivahdin rangaistuslaukauksen suunnan ennakointi voidaan näiden tulosten pohjalta todeta alkavan myös lihasten osalta oikein ajoitetulla esiaktiivisuudella. Tätä tukee mahdollisesti myös osaltansa Avela ym. (1996) pudotushypyn esiaktiivisuuteen ja siihen liittyvän ennalta opittuun toimintaan liittyvä kuin myös Komi (2003) optimaalisen voimantuoton osa-alueet venymis-lyhenemis-syklissä tutkimustulokset. Yksittäisten rangaistuslaukauksien lihasten esiaktiivisuuden tulosten perusteella voitiin myös mahdollisesti havaita maalivahdin ennakoinnin suunta. Jos esiaktiivisuus kasvaa pohkeen oikeanpuoleisessa LG-lihaksessa, oli se havainto oikealle puolelle

suuntautuvan torjuntahypyn valmistautumisesta. Vastaavasti esiaktiivisuuden matalampi taso oikeanpuoleiseen torjuntahyppyyn verrattuna voitiin havainnoida vasemmalle puolelle tapahtuvasta torjuntasukelluksesta. Harjoitelleelta maalivahdilta koepäivän 1. tuloksia ei kyetty analysoida EMG:n osalta kokeissa esiintyneiden yllättävien toiminta- ja käyttöhäiriöiden johdosta.

Ennakointi ja torjuntaprosentit. Kokeneen maalivahdin torjuntaprosentti 45,00 % oli todella hyvää luokkaa myös muiden tutkijoiden tutkimuksiin verrattuna, harjoitelleen maalivahdin 38,46 % torjuntaprosentti täyttää samoten onnistuneiden maalivahtien kriteerit (Savelsbergh ym. 2003; 2005). Nuoren maalivahdin 26,32 % torjuntaprosentti ja torjuntakoodin 3. eli GK ^{väärä suunta} -muuttujan 0,0 % -arvo osoitti nuoren maalivahdin ei-ennakoivan rangaistuslaukauksen suuntaa mahdollisista pelaajasta saatavista vihjeistä huolimatta, vaan odotti usein pallon liikkeelle lähtöä. Näiden nuoren maalivahdin yllämainittujen muuttujien välillä oli selvä yhteys, sillä nuori maalivahti oli aina myöhässä torjunnassa, eteenkin mikäli rangaistuslaukauksessa pallon lentoaika rangaistuslaskulta maaliviivalle oli normaalin suuruinen eli noin 350–600 ms. Tätä ”myöhästynyttä ja epäonnistunutta” optimaalista toiminnan tulosta eli torjuttua rangaistuslaukaisua selittäneen myös Järvilehto ym. (2007) *eliö-ympäristö -järjestelmä* teorian, jossa muun maassa todetaan: ”Ärsyke ei aiheuta reaktiota, vaan reaktio syntyy ärsykettä edeltävän organisaation pohjalta”. Nuorella maalivahdilla ei todennäköisesti ollut käytössä opittua ympäristön ärsykkeistä muodostuvaa havaintoprosessia (esim. pelaajan laukaisevan jalan asento, tukijalan asento, lantion asento jne.), joka voisi luoda ennakoivan organisaation eri torjuntavaihtoehdot valmiiksi jo ennen ”ärsykettä” eli rangaistuslaukaisijan palloon osumista. Torjuntavaihtoehtoja rangaistuslaukauksessa maalivahdilla oli tutkimuksemme mukaan seitsemän eri aluetta, jotka voitiin määrittää Järvilehdon 1994 esittämän *eliö-ympäristö -järjestelmä* teorian mukaan maalivahdin toiminnan tuloksiksi. Nämä toiminnan tulokset olivat; keskisektori, jossa maalivahti valmistuu torjuntaa maaliviivalla seisten tai liikehtien ja lisäksi Savelsbergh ym. (2005) simuloitun rangaistuslaukauksen tutkimuksessaan määrittämät kuusi suorakulmaista aluetta kooltaan 0.81 m x 1.50 m, joista kolme oli maalin vasemmalla puolella ja kolme oikealla puolella. Näiden toimintojen tulosten valossa voitiin myös todentaa Moryan ym. (2003) rangaistuslaukauksen aikainen ”point of no return” - käsite, jossa kokeneen maalivahdin valmistautuessa torjuntaan oli käytettävissä kaikki seitsemän eri toiminnon tulosta, tapahtuman edetessä maalivahti hylkää osan toiminnon tuloksista perustuen

pelaajan liikkeisiin tai muihin ympäristöärsykkeisiin, lopulta maalivahdilla pitäisi olla hetki ennen palloon osumista vain yksi torjuntavaihtoehto eli toiminnan tulos käytettävissä. Lopputuloksissa valittu oikea toiminnon tulos havaittiin torjuntakoodina 1. tai 2. ja niiden aikana maalivahti oli ennakoanut palloon suunnan oikein, huolimatta onnistuiko rangaistuslaukaisun torjunta tai ei. Torjuntakoodissa 3., joissa maalivahdin torjuntasuunnatkin olivat väärä, voidaan havaita mahdollisesti osassa tapauksissa myös ”point of no return” - käsite. Tätä tukee kuvassa 16. esitetty tapahtuma, jossa maalivahdin keho pyrki muuttamaan vielä torjunnan suuntaa ja myös katse seurasi kiinteästi maaliin päättyvää palloa. Näissä tapauksissa oli mahdollisesti ennakoinnin analysoinnissa tapahtunut ”väärinkäsitys” ja täten maalivahdin liikkeet aloitettiin väärään suuntaan ja niitä ei ehditä enää palauttamaan oikeaan suuntaan tapahtumasarjan edetessä.

Silmänliikkeet ja fiksaatiot. Kokenut maalivahti käytti keskimäärin 3,20 ($\pm 1,90$) fiksaatiota per rangaistuslaukaisu, harjoitellut maalivahti 1,40 ($\pm 0,89$) fiksaatiota ja nuori maalivahti 2,20 ($\pm 1,10$) fiksaatiota ennen rangaistuslaukaisijan palloon osumista. Harjoitelleen maalivahdin fiksaatiot suuntautuivat palloon 85,71 % sekä rangaistuslaukaisijan lantioon 14,29 %. Kokeneen maalivahdin fiksaatiot suuntautuivat palloon 66,67 % ja laukaisevaan jalkaan 29,17 % sekä myös noin 2 % suuruisina rangaistuslaukaisijan lantioon sekä päähän. Nuoren maalivahdin fiksaatiot suuntautuivat palloon 54,55 % ja laukaisevaan jalkaan 36,36 % sekä myös noin 9 % suuruisena rangaistuslaukaisijan päähän. Tulokset osoittivat kokeneen ja nuoren maalivahdin silmänliikkeiden määrän olevan samansuuruisia noin 2–3 fiksaatiota yksittäisen rangaistuslaukauksen aikana siitä kun käännetään katse kalibrointipisteestä rangaistuslaukaisutapahtumaan ja fiksaatioiden pääkohteet olivat pallo ja laukaiseva jalka. Saadut tulokset tukevat Bard ym. (1981) havaintoa, että peliväliseen (pallo, kiekko) kohdistettu katse hetki ennen osumaa tai osuman jälkeiseen lentorataan on kriittisintä onnistuneeseen torjuntaan. Myös Panchuk ym. (2006) tutkimusjärjestelyissä, jossa jääkiekkomaalivahti torjui rannelaukauksia tulokset osoittavat jääkiekkomaalivahtien fiksaatioiden kohdistuneen 70,53 % kiekko/maila, 25,68 % jääalue ennen kiekonlaukaisukohtaan ja harvemmin laukaisijan kehoon vain 2,1 %. Jackson ym. (2007) tulokset tenniksen osalta ilmoittivat kokeneiden koeryhmään kuuluvien pystyvän päättämään syötön suunta vastustajan mailan ja käsivarren avulla useimmiten ja seuraavaksi pallon ilmaan heiton avulla kaiken kaikkiaan analysoinnin

kohteista olevista kahdeksasta eri alueesta. Kokeneen maalivahdin fiksaatioiden kokonaiskesto oli keskimäärin 4294,00 ($\pm 2982,53$) ms, harjoitelleen maalivahdin 1786,20 ($\pm 481,30$) ms ja nuoren maalivahdin 2745,00 ($\pm 2080,39$) ms. Tulokset osoittivat kokeneen maalivahdin käyttävän aikaa fiksaatioihin huomattavasti kauemmin kuin muut tutkimukseen osallistuneet maalivahdit, huomioitavaan oli kuitenkin kokeneen maalivahdin keskihajonnan suuri arvo ja kyseessä voi olla kokeneen maalivahdin sopeutuminen pelaajan suorittamiin rangaistuslaukauksen eri variaatioihin. Fiksaation kokonaiskeston suuri arvo kertoi kokeneen maalivahdin ottavan pitkäkestoisia fiksaatioita pelaajan eri kehon osa-alueisiin ja katse ei täten mahdollisesti sisältänyt turhia ”hapuilevia” sakkadisia silmänliikkeitä osa-alueesta toiseen. Fiksaatioiden kokonaiskestosta harjoitteleella maalivahdilla suuntautui palloon 93,54 % ja rangaistuslaukaisijan lantioon 5,38 %, kokeneella maalivahdilla vastaavasti suuntautui palloon 79,88 %, laukaisevaan jalkaan 8,94 % sekä myös 0,08 % suuruisina rangaistuslaukaisijan lantioon ja 0,26 % suuruisena päähän, nuorella maalivahdilla sitä vastoin palloon 44,48 % ja laukaisevaan jalkaan 40,03 % sekä 3,97 % suuruisena rangaistuslaukaisijan päähän. Kokeneen ja nuoren maalivahdin fiksaatioiden kokonaiskesto useaan rangaistuslaukaisijan eri osa-alueeseen voi olla merkinä laukaisijan kaikkien kehon liikkeiden analysoinnista tulevaan torjuntaennakointiin, kuitenkin fiksaatioiden kokonaiskestossa pääpaino oli pallossa ja laukaisevassa jalassa.

Maalivahdin lihaksiston ennakoivan toiminnan organisointi. Kokeneen maalivahdin valmiusasentojen ja torjunta-asentojen organisoinnista suhteessa kehon oikeanpuoleisten TA-, LG-, VL- ja TR-lihasten esi- ja lihasaktiivisuuksiin (EMG) havainnoitiin torjuntakoodissa 1. (onnistunut torjunta) maalivahdin rento, oikeinajoitettu suoritus ja täten esiaktiivisuudet alkoivat vasta valmius- ja torjunta-asentoon valmistautumisen jälkeen. Torjuntakoodissa 2. (epäonnistunut torjunta, suunta oikea) ja 3. (epäonnistunut torjunta, suunta väärä) sitä vastoin valmius- ja torjunta-asentoon ”valmistautuminen” tapahtui huomattavasti myöhemmin kuin torjuntakoodissa 1. kielien mahdollisesta maalivahdin ennakoivan toiminnan rauhattomuudesta ja keskittymisen puutteesta. Lihasten esiaktiivisuuksien aktivointijärjestys oli kaikissa torjuntakoodeissa suurin piirtein samankaltainen ja lihasaktiivisuuksien aktivointijärjestyksessä havaittiin eroja eteenkin *onnistunut torjunta* vs. *epäonnistunut torjunta, väärä suunta*, jossa lihasten ennakoivan toiminnan osa-alueet VL- ja TA-lihasten osalta olivat aktivoitunut maksimi lihasaktiivisuuteen eli voimantuottoon ”liian

aikaisin”. Kokeneen maalivahdin rennosta, oikeinajoitetusta suorituksesta havainnoitiin; 1) suoritusasennot olivat hyvissä ajoin valmiita, valmiusasento keskimäärin noin 3000 ms ja torjunta-asento keskimäärin noin 1800 ms ennen pelaajan palloon osumista 2) esiaktiivisuuden aktivointijärjestys tutkituissa lihaksissa (VL -> TA -> LG tai TR -> TR tai LG) oli samansuuntainen kokeneella maalivahdilla jokaisessa kolmessa eri torjuntakoodissa 3) maksimi lihasaktiivisuuden esiintyminen alkoi ”suuresta” reiden VL-lihaksesta ja kädet antoivat torjunnalle suunnan eli havaittu lihasaktiivisuus TR-lihaksessa heti VL-lihaksen jälkeen ja säären LG- ja TA-lihakset lopulta ”tehostivat” ponnistusta eli mahdollista torjuntasukellusta.

Maalivahdin silmänliikkeiden ennakoivan toiminnan organisointi. Kokenut maalivahti suoritti onnistuneessa torjunnassa (torjuntakoodissa 1.) ja epäonnistuneessa torjunnassa, jossa maalivahdin torjuntasuunta oli kuitenkin oikea (torjuntakoodissa 2.) 5 erimittaista fiksaatiota ennen pelaajan palloon osumista. Sitä vastoin epäonnistuneessa torjunnassa, jossa maalivahdin torjuntasuuntakin oli väärä (torjuntakoodissa 3.) kokenut maalivahti suoritti jopa 7 erimittaista fiksaatiota ennen pelaajan palloon osumista. Tulokset fiksaatioiden määrän osalta tukisivat maksimissaan 5 fiksaation käyttämistä rangaistuslaukauksen suunnan ennakointiin pelaajasta saatavista vihjeiden avulla.

Lisäksi onnistuneessa torjunnassa suurin fiksaatio oli palloon kohdistuva ensimmäinen fiksaatio, joka suoritettiin 4050–3050 ms välisenä aikana ennen pelaajan palloon osumista. Epäonnistuneessa torjunnassa, jossa maalivahdin torjuntasuunta oli oikea suurin fiksaatio oli samoten palloon kohdistuva ensimmäinen fiksaatio, joka alkoi hieman myöhemmin kuin onnistuneessa torjunnassa noin 2950–1900 ms ennen pelaajan palloon osumista. Sitä vastoin epäonnistuneessa torjunnassa, jossa maalivahdin torjuntasuunta oli väärä, suurin fiksaatio oli palloon kohdistuva toinen fiksaatio, joka suoritettiin 5500–1600 ms välisenä aikana ennen pelaajan palloon osumista. Tulokset mahdollisesti osoittavat onnistuneessa suorituksessa fiksaatioiden aloittamisen vasta noin 4000–3000 ms ennen pelaajan palloon osumista, ei siis yhtään aikaisemmin eikä myöhemminkään tapahtumaan liittyvän ”oikeinajoitetun” ennakoivan toiminnan käynnistämiseksi.

Fiksaatioiden suoritusjärjestys onnistuneessa torjunnassa (torjuntakoodi 1.) ja epäonnistuneessa torjunnassa, jossa torjuntasuunta oli oikea (torjuntakoodi 2.) oli

molemmissa seuraavan suoritusjärjestyksen mukainen: 1) ensimmäinen fiksaatio palloon 2) ensimmäinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa 3) toinen fiksaatio palloon 4) toinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa 5) kolmas fiksaatio palloon.

Sitä vastoin epäonnistuneessa torjunnassa, jossa maalivahdin torjuntasuunta oli väärä (torjuntakoodissa 3.) fiksaatioiden suoritusjärjestys oli: 1) ensimmäinen fiksaatio palloon 2) ensimmäinen fiksaatio pelaajan päähän 3) toinen fiksaatio palloon 4) ensimmäinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa 5) kolmas fiksaatio palloon 6) toinen fiksaatio laukaisevaan jalkaa 7) neljäs fiksaatio palloon.

Tulokset tältä osin tukisivat myös fiksaatioiden lukumäärällä (maksimisissaan 5 fiksaatiota per rangaistuslaukaisu), aloitus ajankohdalla (noin 4000–3000 ms ennen pelaajan palloon osumista) ja suoritusjärjestyksellä näyttäisi olevan merkitystä rangaistuslaukauksessa pallon lentoradan suunnan oikeaan ennakointiin maalivahdin eduksi.

Syke ja HRV. Sydämen sykkeen R–R-vaihtelun alustavista tuloksista havaittiin muun muassa seuraavat aikariippuvaiset RMSSD-lukemat; kokenut maalivahti 109,4 luokkaa, harjoitellellut maalivahti 15,2 ja nuori maalivahti 87,8. Taajuusriippuvaiset LF/HF-lukemat olivat kokeneella maalivahdilla 4,426 luokkaa, harjoitelleella maalivahdilla 7,458 ja nuorella maalivahdilla 1,446.

Suorituksen rentous ja parasympaattisen hermoston vaikutus voitiin havainnoida HF-muuttujan (eng. High Frequency) kasvuna ja tämä puolestaan kohotessaan aiheuttaa taajuusriippuvaisen LF/HF-suhteen pienenemisen sekä aikariippuvaisen RMSSD-arvon kohoamisen. Sitä vastoin jännitys ja sympaattisen hermoston aktiivisuuden kasvu aiheuttaa LF-arvon (eng. Low Frequency) kohoamisen ja täten LF/HF-arvo suurenee ja RMSSD-arvon laskee (McCarty ym. 1995; Laitio ym. 2001). Alustavien tulosten perusteella voitiin havaita harjoitelleelta maalivahdilta suorituksen aikaisia psyykkisiä jännitystiloja ja/tai alentunutta fyysistä suorituskkyä ja havaintokkyä. Tämä osaltansa voi johtua koehenkilön pahoinvoinnista kesken koejärjestelyjen kuuman ulkoilman ja sisätilojen riittämättömän ilmastoinnin vuoksi. Kuitenkin koehenkilö oli valmis jatkamaan koetta vapaaehtoisesti lepotauon, virvokkeiden ja välipalan nauttimisen jälkeen. Tämä osaltansa vaikutti myös muihin harjoitelleen maalivahdin

tutkimustuloksiin ja niihin oli suhtauduttava varauksella ja vaatii täten myös lisätutkimuksia tämän koehenkilön osalta. Kokeneen maalivahdin ja nuoren maalivahdin tulokset osoittivat ”rentoa maalivahtityöskentelyä” ja myös ulkoinen olemus koejärjestelyissä oli innostunut sekä motivoitunut eikä ylimääräisiä stressitiloja havaittu myöskään HRV-tuloksista.

Uuden integroidun mittausjärjestelmän, jolla yhdistettiin ja synkronoitiin mahdollisimman tarkasti kolmen eri järjestelmän videokuvatallenteet; maalivahdin ja laukaisijan High Speed – kamerat, silmänliikekamerat ja lisäksi lihasten esi-/lihasaktiivisuus (EMG) neljästä eri kehon oikeanpuoleisesta lihaksesta. Tähän kehitystyöhön noin kahdeksan kuukauden ajalta tulosten analysointeineen saavutettiin sille asetettuja kehitystavoitteita ja sen avulla analysoitiin maalivahdin ennakoivaan toimintaan liittyviä tapahtumia ja aikariippuvuuksia. Kuitenkin uusiin mittausjärjestelmiin liittyy aina jatkokehitystyötä ja parannusehdotuksia, joten uuden järjestelmän käyttökokemuksista syntyi seuraavia kehityskohteita ja -ideoita:

- Eyelink II -silmänliikejärjestelmä ei sovellu tiloihin, joissa auringon häikäisyn voi ylivalottaa Scene-kameran kuvan ja tämän johdosta silmänliikkeitä ei pystytty analysoimaan, myös laitteistokalibrointi oli työlästä tämän kaltaisissa olosuhteissa. Tämä on otettava huomioon koejärjestelyjen siirtyessä tulevaisuudessa ulkotiloihin.
- Sisätiloissa koetta suorittaessa on pallon alle rangaistuspilkun kohdalle asennettava materiaali, jonka kitka estää pallon pyörimään lähdön ennen laukaisua. Tämä virhetilanne aiheutti maalivahdin torjunta-asennon ja siihen liittyvät EMG:n esiaktiivisuuden ylipitkän keston ja täten tulosta ei voitu analysoida tarkasti. Tulevaisuudessa ulkotiloissa testatessa, joko 3G-tekunurmella tai luonnon nurmella, tilanne korjaantuu automaattisesti.
- Jalkapallomaalin pystyolppien välissä kulkeva maaliraja on merkittävä selvästi koko matkalle laboratorio-olosuhteissa ja maalin ylärimassa olevat 10 kappaletta torjuntasektoreita on myös ”monistettava” maaliviivaan pallon osuma- ja maalivahdin paikkasektorin tulosten analysoinnin helpottamiseksi.
- High Speed -kameroita voi tulevissa tutkimusjärjestelyissä olla kolme kameraa, jolla kuvataan laukaisijan takaa hieman sivulta koko tapahtumaan, jossa näkyy myös maalivahti. Tällä voidaan analysoida myös maalivahdin ja pelaajan

sivuttaisliikkeitä tarkemmin kuin tutkimusjärjestelyissä käytössä olleella yleiskuvaa tallentavalla videokameralla.

- Eyelink II-silmänliikejärjestelmä Scene-kameran objektiivi ja resoluutio pitää saada tarkemmaksi, jotta pystytään yksityiskohtaisemmin analysoimaan mihin pelaajan eri kehon kohtiin maalivahdin fiksaatiot kohdistuvat.
- Eyelink II-silmänliikejärjestelmän mekaniikkasuunnitteluun tarvitaan kehitystyötä, joka estäisi järjestelmään kuuluvan ”kamerakypärän” liikkumisen maalivahdin päässä aina torjuntasuorituksen jälkeen sekä alentaisi myös osaltansa maalivahdin silmiin kohdistuvaa tapaturmariskiä pallon osuessa poikkeuksellisesti maalivahdin pään alueelle. Tämä mahdollistaisi yksityiskohtaisemman silmänliike analyysin ja mahdollistaisi jopa luopumisen ulkoisista kalibroitipisteistä. Myöskään koejärjestelyitä ei tarvitsisi keskeyttää turhaan ”kypärän” tippumiseen maalivahdin päästä vauhdikkaan torjuntasukelluksen päätteeksi.
- Maalivahdin silmänliikedatan analysointia helpottaisi, mikäli pelaajan (rangaistuslaukaisijan) asusteisiin olisi selvästi merkitty eri kehon osa-alueet esimerkiksi asuissa kiinteästi olevilla merkintänauhoilla.
- Eri järjestelmien synkronointi suoritettiin salamavalolaitteistolla, jota on jatkokehitettävä siten, että sen avulla saatu ulkoinen triggaussignaali on todennettavissa ulkoisella merkkisignaalilla tai -valolla ja toimintavarmuus paranee.
- Pallon nopeuden analysointi on suoritettava tulevilla tutkimuksissa siihen soveltuvalla liiketutkalla tai vastaavaa menetelmään. Tässä tutkimuksessa pallon liikenopeus laskettiin manuaalisesti High Speed -kameroiden kuvista saadun ajan ja maalin osumasektoreiden avulla pallon kulkeman suhteellisen matkan funktiona.
- EMG-dataloggerin muistiin tallennetut EMG-signaalit on tallennettava jokainen yksittäinen trial (sisältää normaalisti viisi rangaistuslaukausta/trial) omiin tiedostoihinsa jälkikäsitteilyä ja trialien tunnistamisen helpottamiseksi.
- Sykkeen ja R–R-intervallin keräys on suoritettava järjestelmällä, jossa luovutaan sykemittarin manuaalisesta käynnistämisestä koehenkilön toimesta. Markkinoilla on kaupallisia sykepantoja, esimerkiksi Suannon valmistama

sykepanta, joka käynnistyy automaattisesti panna koskettaessa rintakehää ja tallentavat jopa 7 vuorokautta sydämen sykkeen R–R-intervallia.

- Tulevaisuudessa tutkimusmittauksia järjestettäessä jalkapallolle ominaisessa ympäristössä, nurmikenttä tai 3G-tekonurmi, on huomioita, että mittalaitteet on suojattava nopeastikin äkillisiltä vesisateilta ja mahdolliselta pölyltä, varauduttava riittävään sähkönsyöttöön lukuisille eri laitteistoille ja tutkimuslaitteiden kuljetus- ja työpöytäalustojen ovat asianmukaisia.
- Varauduttava riittävään määrään testaaajia sekä testattavia esimerkiksi jos koehenkilö alkaa voimaan pahoin tai loukkaantuu.
- Varattava riittävästi aikaa koejärjestelyjen suorittamiseen ja laitteistojen toimintakunnon testaamiseen jokaisen yksittäisen trialin jälkeen erikseen, kunnes riittävä toimintavarmuus saavutetaan uuden kehitetyn mittausjärjestelmän osalta. Keskimääräinen tutkimusaika olisi syytä olla yksi työpäivä per testattava koehenkilö.

Yhteenvetona voitiin todeta tutkimuksessa kehitetyn tutkimusprosessimallin soveltuvan niin jalkapallomaalivahdin kuin rangaistuslaukausta suorittavan pelaajan rangaistuslaukauksen aikaisen ennakoivan toiminnan tutkimuksiin ja on myös mahdollisesti sovellettavissa muiden taitolajien tutkimuksiin. Saadut tulokset ovat vähäisen tutkimusaineiston vuoksi suuntaa-antavia ja jatkotutkimuksia kaivataan. Tämän vuoksi myös tilastollisia analyyseja ei mittavasti suoritettu tutkimuksestamme saaduilla tutkimusaineistoilla.

7 LÄHTEET

- Abernethy B., Gill D.P., Parks S.L., Packer S.T. (2001). Expertise and the perception of kinematic and situational probability information. *Perception*, 30, 233–252.
- American Heart Association Inc.; European Society of Cardiology (1996). Guidelines: Heart rate variability; Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17, 354–381.
- Avela J., Santos P.M., Komi P.V. (1996). Effects of differently induced stretch loads on neuromuscular control in drop jump exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(5-6), 553–62.
- Enoka R.M. (2002). *Neuromechanics of human movement. Human Kinetics*. 3rd edition, 46–55, 194–204. ISBN: 0-7360-0251-0.
- Finni ym. (2001). Viitattu kirjassa: Komi P.V., (2003). *Strength and Power in Sport* (2nd edition). Blackwell Pub, 193. ISBN 9780632059119.
- Häyrinen M., Luhtanen P., Juntunen J., Hynynen E., Vääntinen T., Lipponen K., Heliskoski J. (2007). An Evaluation of physical loading, recovery and stress in youth soccer. *Science for Success II*, Jyväskylä, Finland, 10. –12.10.2007.
- Jackson R.C, Mogan P. (2007). Advance Visual Information, Awareness, and Anticipation Skill. *Journal of Motor Behavior*, 39, 5, 341–351.
- Jafarzadehpur E., Aazami N., Bolouri B. (2006). Comparison of saccadic eye movements and facility of ocular accommodation in female volleyball players and non-players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sport*.
- Järvilehto T. (2007). Anticipation, brain function, and consciousness. Submitted to Constructivist Foundation.
- Järvilehto T. (1994). Ihminen ja ihmisen ympäristö. *Systeemisen psykologian perusteet*. Kirjapaino Osakeyhtiö Kaleva Oulu, 11–62. ISBN 951-749-194-8.
- Keskinen K.L., Häkkinen K., Kallinen M. & Liikuntatieteellinen Seura ry. (2004). *Kuntotestauksen käsikirja*. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro156. Tampere: Tammer-Paino oy, 164, 185–186. ISBN 951-8982-67-8.
- Kuhn (1988). Viitattu tutkimuksessa: Morya E., Ranvaud R., Pinheiro W.M. (2003). Dynamics of visual feedback in a laboratory simulation of penalty kick. *Journal of Sport Sciences*, 21, 87–95.

- Kulmala J-P., (2006). Pesäpallon peruslyönnin liikeanalyysi. Biomekaniikan kandidaatin tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
- Komi P.V., (2003). *Strength and Power in Sport* (2nd edition). Blackwell Pub, 22, 123, 193, 195. ISBN 9780632059119.
- Konrad P., (2005). *The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*. Naraxon INC. USA.
- Kotchoubey B., (1998). *What do Event-related Brain Potentials Tell Us about the Organization of Action. Systems Theories and A Priori Aspects of Perception*. Elsevier Science B. V.
- Laitio T., Scheinin H., Kuusela T., Mäenpää M., Jalonen J. (2001). Mitä sydämen sykevaihtelu kertoo?. *FINNANEST*, 34, 3.
- Land M.F, McLeod P. (2000). From eye movement to actions: how batsmen hit the ball. *Nature Neuroscience*, 3, 20.
- de Luca C.J., LeFever R.S., McCue M.P., Xenakis A.P. (1982). Behaviour of human motor units in different muscles during linearly varying contractions. *The Journal of Physiology*, 329, 113–128.
- de Luca C.J., Erim Z. (1994). Common drive of motor units in regulation of muscle force. *Trends in neurosciences*, 17(7), 299–305.
- Maruenda F.B. (2004). Can the human eye detect an offside position during a football match. *BMJ* 2004;329:1470–2.
- McCraty R., Atkinson M., Tiller W., Rein G., Watkins A.D. (1995). The Effect of Emotions on Short-Term Power Spectrum Analysis of Heart Rate Variability. *The American Journal of Cardiology*, 76, 15, 1089–1093.
- Melvill-Jones G., Watt D. (1971). Observations on the control of stepping and hopping movements in man. *Journal of Physiology*, 219(3), 709–727.
- Mero A., Nummela A., Keskinen K., Häkkinen K. (2004). *Urheiluvalmennus*, 37–41, 185–186, 294, 298. ISBN 951-9147-44-6.
- Mortara A., Sleight P., Pinna G.D., Maestri R., Prpa A., La Rovere M.T., Cobelli F., Tavazzi L. (1997). Abnormal awake respiratory patterns are common in chronic heart failure and may prevent evaluation of autonomic tone by measures of heart rate variability. *Circulation*, 96(1), 246–52.
- Morya E., Bigatao H., Lees A., Ranvaud R. (2004). Evolving penalty kick strategies: World Cup and club matches, 2000–2002. (Part II: game activity and analysis)(soccer). *Journal of Sport Sciences*.

- Morya E., Ranvaud R., Pinheiro W.M. (2003). Dynamics of visual feedback in a laboratory simulation of penalty kick. *Journal of Sport Sciences*, 21, 87–95.
- Nagano T., Kato T., Fukuda T. (2004). Visual search strategies of soccer players in one-on-one defensive situations on the field. *Percept Mot Skills*, 99, 968–74.
- Nienstedt W., Hänninen O., Arstila A., Nienstedt I. (1990). *Fysiologian ja anatomian perusteet*, 314, 317. ISBN 951-0-16126-8.
- Niskanen J-P., Tarvainen M.P., Ranta-aho P.O., Karjalainen P.A. (2004). Software for advanced HRV analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 76, 73–81.
- Osman A., Kornblum S., Meyer D.E. (2006). The Point of No Return Choice Reaction Time: Controlled and Ballistic Stages of Response Preparation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* Vol. 12, No.3, 243–258.
- Panchuk D., Vickers J.N. (2006). Gaze behaviors of goaltenders under spatial-temporal constraints. *Human Movement Science*, 25, 733–752.
- Pandy M., Zajac F. (1991). Optimal muscular coordination strategies for jumping. *Journal of biomechanics*, 24(1), 1–10.
- Physicsweb (1998). Physicsweb, Physics news jobs and resources: The physics of football. June 1998.
- Rahnama N., Lees A., Reilly T. (2006). Electromyography of selected lower-limb muscles fatigue by exercise at the intensity of soccer match-play. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(3), 257–263.
- Rinkinen S., (2002). *Jalan alle kohdistuvat paineet, lihasaktiivisuusmallit ja kinemaattiset muuttujat kaksoisaxelin oppimisprosessin aikana*. Biomekaniikan Pro Gradu -työ. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
- Savelsbergh G.J., Van der Kamp J., Williams A.M. & Ward P. (2005). Anticipation and visual search behaviour in expert soccer goalkeepers. *Ergonomics*, 48, 1686–1697.
- Savelsbergh G.J., Williams A.M, Van der Kamp J. & Ward P. (2002). Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sport Sciences*.
- Sloan ym. (1994). Viitattu tutkimuksessa: McCraty R., Atkinson M., Tiller W., Rein G., Watkins A.D. (1995). The Effect of Emotions on Short-Term Power Spectrum Analysis of Heart Rate Variability. *The American Journal of Cardiology*, 76, 15, 1089–1093.

- Sääkslahti A., Iivonen S., (2007). Taidon opettaminen lapsilla. International Multidisciplinary Conference on Motor Behaviour, Liikuntatieteiden laitos Jyväskylä.
- SUOMEN PALLOLIITTO (1999). Jalkapallomaalivahdin tekniikat. 4. painos. Forssan Kirjapaino, 5, 6–7, 18–19, 20–22. ISBN 952-9841-12-4.
- SUOMEN PALLOLIITTO (2007). Jalkapallosäännöt. Vuoden 2007 painos, 10–11, 39–41.
- SUOMEN PALLOLIITTO (2006). Kaikki Pelaa-säännöt 06. Suomen palloliiton Fair Play Kaikki Pelaa. Vuoden 2006 painos.
- SUOMEN PALLOLIITTO (2000). Leikitellen taituriksi. Suomen palloliiton Kaikki Pelaa. Vuoden 2000 painos, 4.
- Van der Kamp J. (2006). A field simulation study of the effectiveness of penalty kick strategies in soccer: late alterations of kick direction increase errors and reduce accuracy. *Journal of Sport Sciences*, 24(5):467–77.

8 LIITE 1: NUOREN MAALIVAHDIN HRV-ANALYYSI

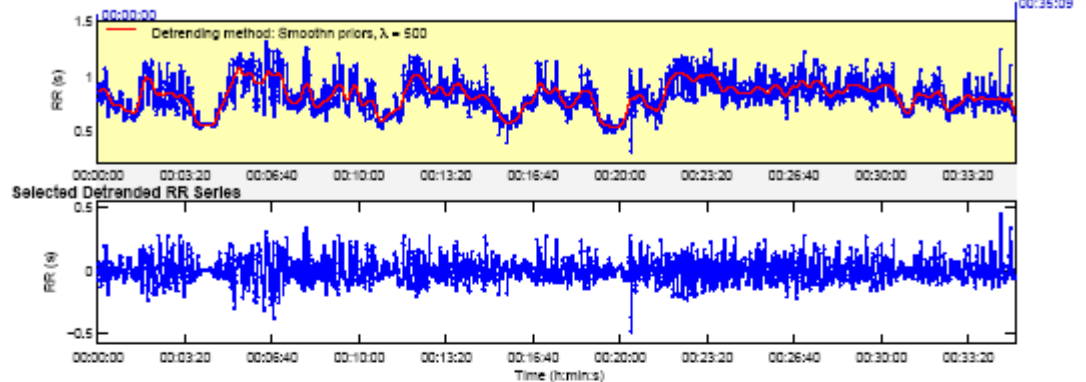
HRV Analysis – General Results

MVJL_2006_RR.txt - xxxxxxxx - xxxxxxxx

Page 1/2

RR Interval Time Series

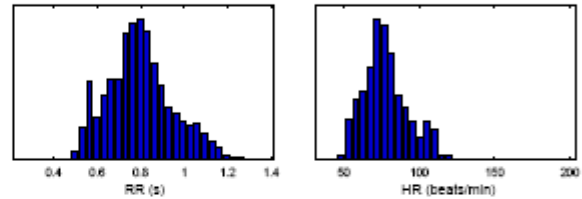
Results for a single sample



Time-Domain Results

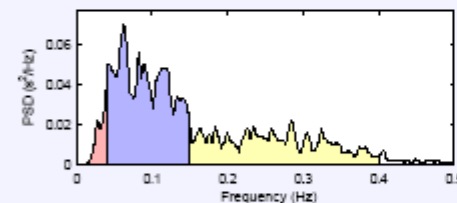
Variable	Units	Value
Mean RR*	(ms)	797.6
STD RR (SDNN)	(ms)	86.9
Mean HR*	(1/min)	76.02
STD HR	(1/min)	9.05
RMSSD	(ms)	87.8
NINSD	(count)	998
pNINSD	(%)	37.6
RR triangular index		20.488
TINN	(ms)	650.0

Distributions*



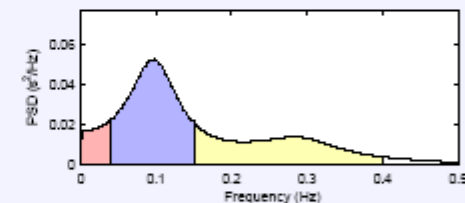
Frequency-Domain Results

FFT spectrum (Welch's periodogram: 256 s window with 50% overlap)



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (m²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0391	401	5.1	61.4
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0625	4604	58.3	
HF (0.15-0.4 Hz)	0.2652	2897	36.7	38.6
Total		7902		
LF/HF		1.589		

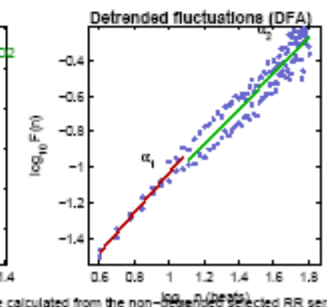
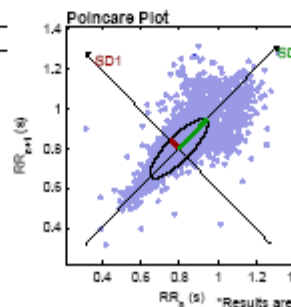
AR spectrum (AR model order = 16, not factorized)



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (m²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0391	723	9.5	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0977	4090	53.5	59.1
HF (0.15-0.4 Hz)	0.1523	2828	37.0	40.9
Total		7641		
LF/HF		1.446		

Nonlinear Results*

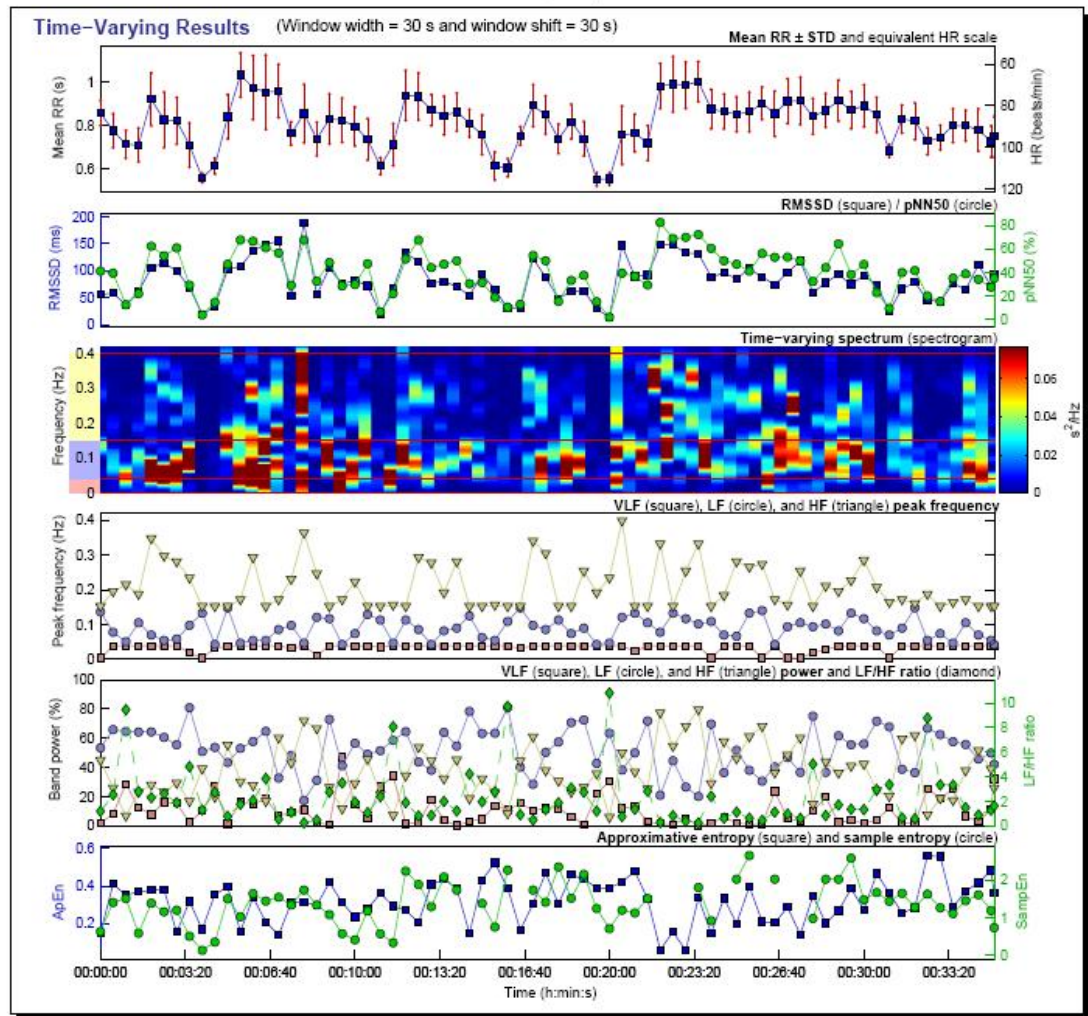
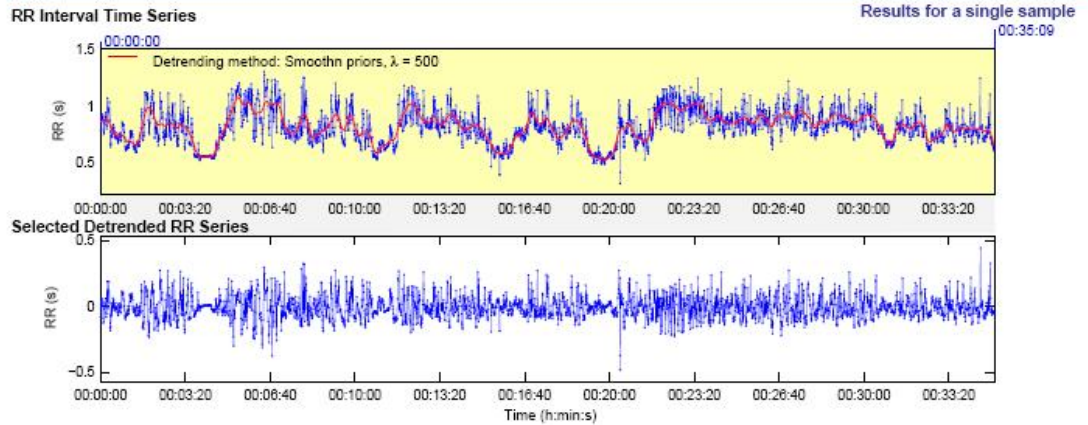
Variable	Units	Value
Poincare plot		
SD1	(ms)	62.5
SD2	(ms)	204.9
Recurrence plot		
Mean line length (Lmean)	(beats)	15.43
Max line length (Lmax)	(beats)	395
Recurrence rate (REC)	(%)	37.18
Determinism (DET)	(%)	99.05
Shannon Entropy (ShanEn)		3.590
Other		
Approximate entropy (ApEn)		1.105
Sample entropy (SampEn)		0.777
Detrended fluctuations (DFA): α_1		1.126
Detrended fluctuations (DFA): α_2		1.009
Correlation dimension (D2)		2.326



*Results are calculated from the non-detrended selected RR series.

HRV Analysis – Time-Varying Results

MVJJ_2006_RR.txt - xx/xx/xx - xxxxxx



27-Dec-2007 18:22:13,

Kubios HRV Analysis, version 2.0 beta 4
 Department of Physics
 University of Kuopio, Finland