

REAKTIOAIKA JA LIHASAKTIIVISUUS PIKAJUOKSUN LÄHDÖSSÄ

Arto Virtanen

**Biomekaniikan Pro Gradu –tutkielma
Kevät 2011
Liikuntabiologian laitos, Vuotech
Jyväskylän Yliopisto
Ohjaajat:
Jukka Salmi ja Vesa Linnamo**

TIIVISTELMÄ

Virtanen, Arto 2011. Reaktioaika ja lihasaktiivisuus pikajuoksun lähdössä. Liikuntabiologian laitos, Vuotech, Jyväskylän yliopisto. Biomekaniikan pro gradu – tutkielma. s. 50.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää reaktioajan sekä lihasaktiivisuuden vaikutusta pikamatkojen lähdön vilppilähtömenetelmän validointiin. Alle 100 millisekunnin reaktioaika tulkitaan vilppilähdöksi, jos voimatason kynnyusraja ylitetään. Usean tutkimuksen mukaan teoreettinen reagointiaika voi olla alle 100 millisekuntia. Kuitenkin on vaikea erottaa aavistuslähtö oikeasta reagoinnista. Reaktioajan mittaamiseen ja sen määrittämiseen tulisi kehitellä parempi menetelmä, jossa eri epävarmuustekijät on minimoitu. Seitsemän koehenkilöä suoritti pikamatkojen lähtöjä telineistä. Lähdöstä mitattiin reaktioaika, EMG useista eri lihaksista sekä vaaka- ja pystysuuntainen voima telineistä sekä maahan kohdistuvat voimatasot käsistä. Lisäksi määritettiin esimotorinen aika (PMT) sekä motorinen aika (MT). Myös lihasten aktivaatiojärjestys määritettiin. Tutkimuksessa mitattiin kaksi alle 100 millisekunnin reaktioaikaa. Takimmainen jalka reagoi aikaisemmin kuin etummainen jalka. Etummaisen jalan lihakset aktivoituivat nopeammin kuin takimmaisen jalan. Vastaavasti gluteus maximus –lihas aktivoitui etummaisessa jalassa hitaammin kuin takimmaisessa jalassa. Tämä tekee lihaskohtaisen mittaamisen epätarkaksi. Esimotorisen ajan todettiin kasvavan jos reaktioaika kasvaa. Kynnyusrajan muuttaminen nykyisestä 25kg rajasta tulisi tehdä uusia tutkimuksia.

Avainsanat: Reaktioaika, esimotorinen aika, motorinen aika, pikamatkojen lähtö

ABSTRACT

Virtanen, Arto 2011. Reaction time and muscle activation in sprint start. Department of Biology of Physical Activity, Vuotech, University of Jyväskylä. Master's Thesis of Biomechanics, 50 pp.

The purpose of the study was to investigate the effects of reaction time and muscle activation to false start detection system of sprint start. Reaction time under 100 ms is determined to be a false start if the known threshold level is exceeded. Many studies have shown that theoretical reaction time can be under 100 ms. Anyhow, it is difficult to separate the anticipated start of the real start. Better systems should be developed to measure and determine the reaction time to avoid any uncertainties. Seven athletes executed sprint starts from starting blocks. Reaction time, EMG of several different muscles, horizontal and vertical forces of the starting blocks and ground reaction forces from hands were measured. Pre-motor time (PMT) and motor time (MT) and activation order of measured muscles were also determined. In two sprint starts were reaction time under 100 ms. Rear leg reacted faster than the front leg. Muscles of front leg activated faster than muscles of rear leg. Except gluteus maximus muscle, reacted faster in front leg than in rear leg. Thus it seems that muscle specific measuring is inaccurate. Pre-motor time increased if reaction time increased. The effects of changing the current 25 kg threshold level should be examined more.

Keywords: Reaction time, pre-motor time, motor time, sprint start

LYHENTEET

ACh	Asetyylikoliini, acetylcholine
CNS	Keskushermosto, central nervous system
EMD	Elektromekaaninen viive, electromechanical delay
EMG	Elektromyografia, electromyography
IAAF	Kansaivälinen yleisurheiluliitto, International Association of Athletics Federations
MT	Motorinen aika, motor time
MY	Motorinen yksikkö, motor unit (MU)
PMT	Esimotorinen aika, pre-motor time,
PNS	Ääreishermosto, Periferial nervous system
RT	Reaktioaika, reaction time

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄ	7
2.1 HERMOSTON RAKENNE JA TOIMINTA	7
2.1.1 Hermosto	7
2.1.2 Hermosolu	8
2.1.3 Motorinen yksikkö	8
2.1.4 Lihaksen rakenne	9
2.1.5 Lihassupistus	10
2.1.6 Elektromekaaninen viive (EMD)	11
2.2 REAKTIOAIKA	11
2.2.1 Reaktioaikaan vaikuttavat tekijät	12
3 PIKAMATKOJEN LÄHTÖ	14
3.1 LÄHDÖN SÄÄNNÖT	14
3.2 LÄHDÖN ETENEMINEN	15
3.2.1 Reaktioaika	15
3.2.2 Lihasten aktivoituminen lähdössä (EMG)	17
3.2.3 EMG – aktiivisuus takimmaisesta jalan lihaksissa	17
3.2.4 EMG – aktiivisuus etummaisesta jalan lihaksissa	19
3.2.5 Lihaksen esijännitys	20
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	23
5 MENETELMÄT	24
5.1 KOEHENKILÖT	24
5.2 MITTAUSPROTOKOLLA	24
5.3 MITTAUKSET	25
5.3.1 Reaktioaika	25
5.3.2 EMG	26
5.3.3 Voima	28
6 TULOKSET	29
6.1 REAKTIOAIKA	29
6.2 LIHASTEN AKTIVAATIOJÄRJESTYS	35
6.3 MOTORINEN JA ESIMOTORINEN AIKA	37
7 POHDINTA	45
8 LÄHTEET	49

1 JOHDANTO

Vuodesta 2003 lähtien on pikamatkojen lähdön vilppirajana käytetty IAAF:n määrittämää 100 millisekunnin sääntörajaa. Kuitenkin on voitu todistaa, että urheilija voi aavistamatta reagoida nopeammin sekä ylittää nykyisin käytetyn 25kg kynnyksirajan telineistä lähdeettäessä. Reaktioaikaan vaikuttaa hermoston toiminta, hermolihasjärjestelmän toiminta sekä kuinka nopeasti lihakset pystyvät tuottamaan sellaisen yhteisvoiman joka saa aikaan liikkeen. Myös iällä ja sukupuolella on omat vaikutuksensa reaktioaikaan.

Pain ja Gibbs (2006) tutkimuksen mukaan erilainen mittausmenetelmä tuottaa erilaisen reaktioajan. Lihaksen esijännityksen on kerrottu vaikuttavan merkittävästi voimantuoton voimakkuuteen (Devila ym., 2006). Liian voimakas esijännitys aiheuttaa liian suuren voiman telineisiin, joka aiheuttaa vilppilähdön (Davila ym., 2006).

Tässä tutkimuksessa paneudutaan selvittämään pikamatkojen lähtöä ja siihen vaikuttavia biomekaanisia tekijöitä. Apuna on käytetty muutamia tärkeimpiä tutkimuksia sekä yleistä kirjallisuutta. Pikamatkojen lähdöstä ja siihen liittyvistä biomekaanisista muuttujista ja niiden mittaamisesta löytyy verrattain vähän tietoa ja tutkimusta. Tässä tutkimuksessa tuodaan esille tärkeimmät asiat, jotka saattavat vaikuttaa lähdön reaktioaikaan ja sen mittaamiseen.

2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄ

Hermolihasjärjestelmän avulla tuotetaan lihaksiin voimaa sekä aikaansaadaan liikettä. Tahdonalaisessa urheilusuorituksessa käsky lähtee liikkeelle aivoista ja etenee ääreishermoston kautta lihassoluihin. Motoriset hermot saavat aikaan lihaksen aktivaation. Tuntoreseptorit ohjaavat ja kontrolloivat lihasten ja kehon segmenttien liikkeitä (Enoka 2002, 229-235).

2.1 HERMOSTON RAKENNE JA TOIMINTA

Hermosto jaetaan sen rakenteen ja toiminnan mukaan ääreishermostoon (PNS, periferiaal nervous system) ja keskushermostoon (CNS, central nervous system), johon kuuluu aivot ja selkäydin. Lihakset saavat käskyjä keskushermostosta. Motoriset hermot sijaitsevat ääreishermostossa. (Enoka 2002, 435-439.)

2.1.1 Hermosto

Hermosolu koostuu kahdesta eri solutyypistä, jotka ovat hermot ja hermotukikudos (Enoka 2002, 229). Hermotukikudosta on kuusi erilaista. Neljä sijaitsee keskushermostossa ja kaksi ääreishermostossa (Marieb ja Hoehn 2007, 389). Hermotukikudos esimerkiksi osallistuu hermosolujen korjaamiseen niiden vaurioituessa (Enoka 2002, 299). Sentraalinen hermosto eli keskushermosto sijaitsee kallon ja selkärangan sisällä. Keskushermostoa suojaa luut. Aivoissa ja selkäytimessä on autonomisia ja somaattisia osia. Perifeerisessä hermossossa eli ääreishermostossa ovat selkäydinhermot ja aivohermot sekä autonomisen hermoston perifeeriset osat. (Nienstedt ym. 2004, 518).

Lihasten toimintaa ohjaavat α -motoneuronit. Ne sijaitsevat aivo- ja selkäydinhermojen tyvessä. Ääreishermostosta keskushermostoon kulkeutuu tietoa aistielimistä. Niitä kutsutaan tuoviksi eli afferenteiksi hermosyiksi. Yksinkertainen refleksi kulkeutuu keskushermostoon paikalliseen alueeseen. Lihaksen tilan muutoksen välittävät keskushermostoon afferentit hermoradat (Ia, Ib ja II). Keskushermostoon signaalit tulevat paikalliseen ja etäiseen alueeseen. (Nienstedt ym. 2004, 546-547; Enoka 2002, 234.)

Tieto keskushermostosta ääreishermostoon kulkeutuu vieviä eli efferenteja syitä pitkin. Efferentit hermot välittävät aktiopotentiaalia tuottavan signaalin lihaksille. Signaali lähtee keskushermostosta ja päättyy motorisille hermoille, motoriseen yksikköön. (Enoka 2002, 230.)

2.1.2 Hermosolu

Hermostolu koostuu sen soomasta (runko-osa) sekä dendriiteistä ja aksoneista. Dendriitit tuovat soluun tietoa ja aksonit vievät tietoa ulos solusta. Aksoni haarautuu kollateraaleiksi. Aktiopotentiaali eli hermoimpulssi etenee kemiallisten välittäjäaineiden avulla. Signaali etenee keskushermostosta neljän eri solurakenteen kautta järjestyksessään: dendriitin, sooman, aksonin ja päättyen synaptiseen päätelevyyn. Impulssin eteneminen tapahtuu nopeammin myeliinitupellisessa hermostolussa. Mitä paksumpi hermostolu on, sitä nopeammin hermoimpulssi etenee. (Nienstedt ym. 2004, 64; Enoka 2002, 230.)

2.1.3 Motorinen yksikkö

Motorinen yksikkö (MY) koostuu motoneuronista ja sen hermottamista lihassoluista. Eri lihaksissa on eri määrä motorisista yksiköistä. Määrä vaihtelee kymmenistä jopa yli

tuhanteen. Mitä suuremmasta voimantuotosta on kysymys, sitä suurempi on motorinen yksikkö kooltaan. Sitä enemmän on myös lihassoluja yhden motoneuronin hermotettavana. (Mero ym. 1987, 25-26.) Keskushermosto säätelee motorisen yksikön syttymisfrekvenssiä. Syttymisfrekvenssin lisäksi keskushermosto säätelee uusien motoristen yksiköiden rekrytointia. Voiman lisääntymisen aikana tapahtuu frekvenssin lisääntymistä sekä motoristen yksiköiden rekrytointia. Voiman alkamisesta maksimivoiman saavuttamisen välistä aikaa kutsutaan supistumisajaksi. Motorisia yksiköitä jaotellaan supistumisajan perusteella nopeaan ja hitaaseen yksikköön. (Enoka 2002, 285-291.) Lyhytkestoisissa suorituksissa otetaan käyttöön ensin nopeat motoriset yksiköt. Hitaat motoriset yksiköt osallistuvat voimantuottoon suorituksen loppupuolella. (Mero ym.1987, 30.) Lihasten aktivaatiota voidaan mitata elektromyografian (EMG) avulla, joka mittaus perustuu aktiopotentiaalien mittaukseen. Aktiopotentiaali leviää solukalvoa pitkin. Aktiopotentiaali heijastuu solua ympäröiviin kudoksiin ja kudostenesteisiin. (Enoka 2002, 46-51.) EMG –mittaus tapahtuu yleensä pintaelektrodeja apuna käyttäen, jotka kiinnitetään ihon pinnalle.

2.1.4 Lihaksen rakenne

Lihaksen rakenne on monikerroksinen. Lihasta ympäröi sidekudoskalvo eli epimysium. Lihaksen sisällä on kaksi muuta kalvoa, jotka ovat perimysium ja endomysium. Alin sidekudoskalvo eli endomysium ympäröi lihasfiibereitä ja erottaa ne toisistaan. Perimysium ympäröi kaikkia lihassoluja eli fiibereitä kooten niistä lihassolukimppuja eli fasikkeleita. Fiiberit ovat muodustuneet myofibrilleista. Sarkomeri on lihaksen toiminnallinen osa. Sarkomeri koostuu tuhansista myofibrilleista. Myofibrillit koostuvat proteiineista: aktiini- ja myosiinifilamenteista. Lihaksen poikkijuovainen ulkoasu johtuu vierekkäin olevista myofibrillien sarkomeereistä. (Enoka 2002, 219-224.)

2.1.5 Lihassupistus

Lihasten liike perustuu lihassolujen ja neuronien sähköiseen potentiaaliin. Neuronin tuottaa sähköistä potentiaalia synapsien avulla ja lihaksessa sähköisen potentiaalin muutosta tapahtuu lihassolukalvolla. Neuronin aktiopotentiaali on eksitoiva (excitatory) tai estävä (inhibitory). Ennen lihassupistusta signaali etenee ääreishermostoon synapsien välityksellä neuronista toiseen. Synapsit toimivat kemiallisesti välittäjäaineiden turvin. Presynaptisessa vaiheessa signaali ei ole vielä edennyt synapsiin saakka. Signaalin päästessä synapsiin, käynnistyy siinä aktiopotentiaalin aikaansaamiseen liittyvä kemiallisen välittäjäaineen vapautuminen. Synapsirakkulat vapauttavat asetyylikoliinia (ACh) postsynaptiseen reseptoriin. Signaali etenee synapsin kautta seuraavaan neuronin ja aina hermolihaskliitokseen saakka. (Enoka 2002, 247-249; Marieb ym. 2007, 290-291.)

Aktiopotentiaali etenee motoriseen päätelevyyn, jossa asetyylikoliinia vapautuu synapsin tavoin. Aksonin päätte ja lihassolun välinen etäisyys on vain 1-2nm. Asetyylikoliinin vaikutuksesta natriumioneja pääsee lihassolukalvon sisäpuolelle, jolloin lihassolukalvon sähköinen varaus muuttuu. Aktiopotentiaali etenee poikittaistubulusiin lihassolukalvoa pitkin. Tapahtumaa kutsutaan depolarisaatioksi. Kalsiumionit (Ca^{2+}) vapautuvat sarkoplasmisesta retikulumista ja Ca^{2+} sitoutuu troponiiniin. Aktiini- ja myosiinifilamenttien väliset poikittaissillat syntyvät, kun kalsiumionit kiinnittyvät tropomyosiiniin. Lihassupistus tarkoittaa sitä, kun aktiini- ja myosiinifilamentit liukuvat toistensa lomitse. Lihassupistuksen päättyessä kalsiumionit siirtyvät sarkoplasmiseen retikulumiin. Relaksoitumista kutsutaan repolarisaatioksi. (Enoka 2002, 247-253; Marieb ym. 2007, 290-291.)

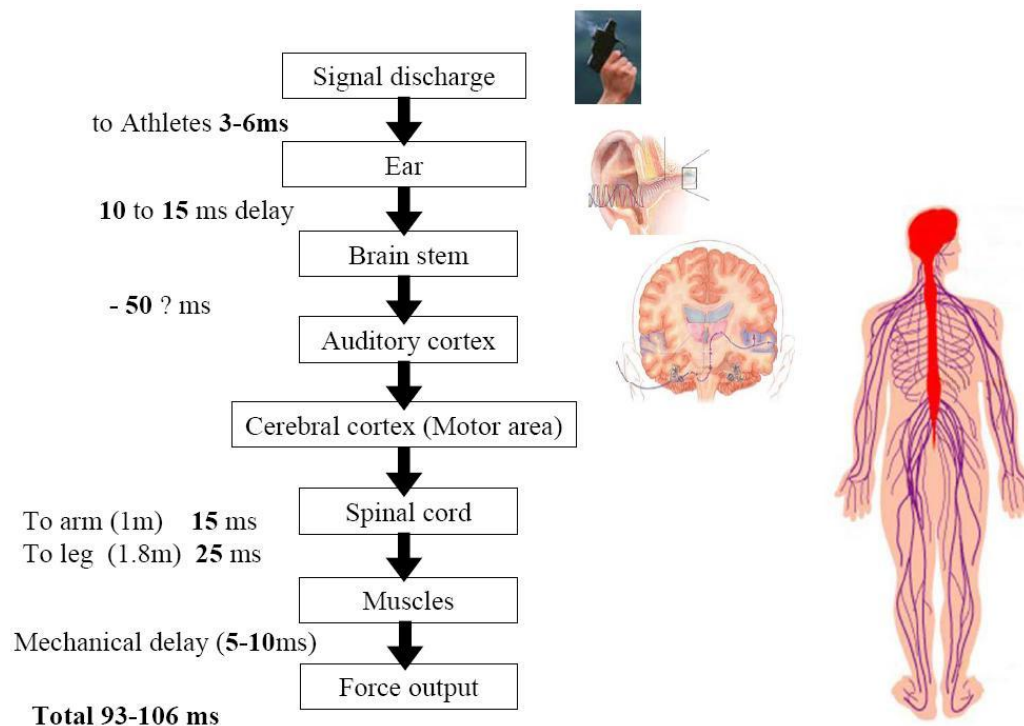
2.1.6 Elektromekaaninen viive (EMD)

Elektromekaaninen viive (electromechanical delay) tarkoittaa aikaa joka kuluu EMG:n alkamisesta voimantuoton alkamiseen. Jos voimantuotto annetaan koko raajojen lihasten yhteissummuna, ei elektromekaanista viivettä tai todellista motorista aikaa voida määrittää. Elektromekaaninen viive yleisesti on 65 millisekuntia suurimmassa osassa etummaisen jalan lihaksia, jos mittaus tehdään ulkoisella anturilla. (Pain ym., 2006.) Mitattaessa voima suoraan jänteestä on elektromekaanisen viiveen kuitenkin todettu olevan vain 10-13ms (Nicol & Komi 1998). Elektromekaaninen viive tulee aina määrittää lihaskohtaisesti (Mero & Komi, 1990).

2.2 REAKTIOAIKA

Reaktioajalla tarkoitetaan ärsykkeen alkamisen ja sen reagoinnin väliseen tapahtumaan kuluvaan aikaan, esimerkiksi starttisignaalin kuulemiseen ja lihaksen liikkeen alkamiseen kuluva aikaero (kuva 1), Reaktioaika on hermojärjestelmän muuttuja, jota voidaan mitata. Hermoimpulssin etenemisen nopeutta ei voida säädellä, mutta hermojärjestelmän kykyä reagoida ja saada aikaan lihaksessa toimintaa voidaan harjoittelulla parantaa. Harjoittelu parantaa keskushermoston prosessointiaikaa toistamalla tiettyä stimulusta. (Sharkey ym. 2007, 145-146.) Reaktioaika voidaan jakaa kahteen osaan, esimotoriseen ja motoriseen (Mero ym.1987, 133.)

Sequence of the auditory evoked reaction



KUVA 1. Reaktioajan muodostuminen lähtösignaalin alusta voiman tuottoon (Komi ym., 2007).

2.2.1 Reaktioaikaan vaikuttavat tekijät

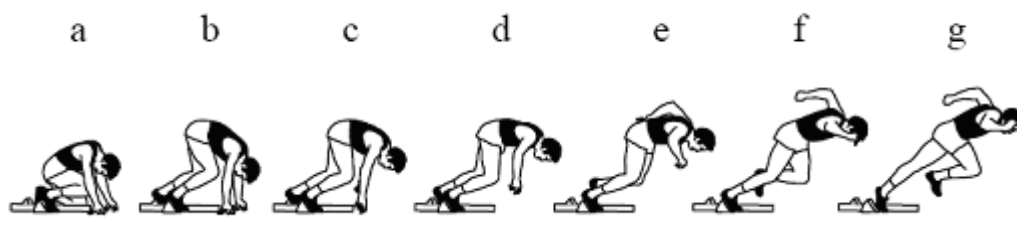
Reaktioaikaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa ikä, sukupuoli, lihaksen tila (väsymys) ja lihaksen koko. Yleisesti ikä vaikuttaa reaktioajan pitenemiseen. Havainnot ovat samansuuntaiset riippumatta siitä onko stimulut näköön (Suzuki Taka-

aki ym., 2005) vai kuuloon liittyvä (Tun ym., 2008). Myös sukupuolella on merkitys reaktioaikaan. Miehet olivat Tun ym. tutkimuksessa nopeampia reagoimaan kuin naiset 45-54, 55-64 ikäryhmissä (Tun ym., 2008). Myös Suzuki ym. tutkimuksessa vahemmilla ihmisillä reaktioaika oli merkitsevästi pienempi kuin nuoremmilla. Eroa reaktioajoissa oli jopa yli 200ms. Vanhemmilla ihmisillä reaktion vaihteluväli on suurempi (Suzuki ym., 2005). Keskimääräinen reaktioajan kasvu 20 ikävuoden jälkeen on mitattu olevan noin 0.5 millisekuntia/vuosi (Fozard ym., 1992).

Lihaksen lämpötilalla on erityisesti merkitystä lihaksen suorituskykyyn. Kun verrattiin +5 celsiusasteen ja +28 celsiusasteen ympäristössä olleita koehenkilöitä huomattiin merkittävä ero reaktioajoissa. Kylmänryhmän keskimääräiset reaktioajat olivat 549 millisekuntia ja kuuman ryhmän koehenkilöillä 269 millisekuntia. (Rammsayer ym., 1995.)

3 PIKAMATKOJEN LÄHTÖ

Lähtö alkaa, kun lähettäjä sanoo ”paikoillanne” (”on your marks”) (kuva 2). Tämän jälkeen urheilija asettuu polviasentoon (kuva 2) molemmat jalkapohjat lähtötelineissä sekä molemmat kädet ja molemmat polvet maata vasten. Valmiit –komennon (”set”) jälkeen urheilija nostaa etummaisensa jalan ylös (kuva 2). Samaan aikaan urheilijan painopiste nousee ylös ja eteenpäin. Tässä asennossa urheilija odottaa lähtösignaalia. Sen jälkeen kun lähtökomento on annettu, urheilija ei saa liikahtaa lähtötelineistä ennen kuin 100ms on kulunut (vilppilähdön raja). Jos urheilija tuottaa riittävän suuren taaksepäin suuntautuvan voiman jaloillaan vasten lähtötelinettä, tapahtuu varaslähtö. Urheilija tuottaa jaloillaan suuren taaksepäin suuntautuvan voiman, joka kohdistuu lähtötelineisiin. Tämän seurauksena urheilija kiihdyttää eteenpäin ja irtoaa lähtötelineistä (kuva 3). (Gutierrez-Davila ym., 2006.)



KUVA 2. Lähdön eteneminen (Gutierrez-Davila ym., 2006).

3.1 LÄHDÖN SÄÄNNÖT

IAAF:n (International Association of Athletics Federations, kansainvälinen yleisurheiluliitto) säännön 161.1 mukaan 60-400 metrin juoksumatkojen lähtö suoritetaan lähtötelineistä polviasennosta. IAAF:n säännön 161.2 mukaan urheilija lähtöasento ei saa muuttua ennen lähtökomentoa. Lähtötelineet tulee olla IAAF:n

hyväkymiä sekä linkitetty järjestön hyväksymään vilppilähtöjärjestelmään. Tämän laitteen tulee estää kaikki vilppilähdöt huomioon ottaen ne kriteerit, jotka IAAF on säätänyt (sääntö numero 161.2). Virallinen vilppilähtöön johtava reaktioaika on 100ms. (IAAF -säännöt, 2010.)

3.2 LÄHDÖN ETENEMINEN

Urheilijalla on mahdollisuus säätää itselleen sopiva lähtöasento hyödyntäen lähtötelineiden säätöominaisuuksia. Etummaisesta ja takimmaisesta jalan telineen pitkittäissuuntaista etäisyyttä sekä lähtötelineen kulmaa urheilija voi säätää (nilkkakulma). (Mero ym., 2005.) Lähtönopeutta voidaan lisätä pienentämällä etummaisesta telineen kulmaa. Lihas-jännekompleksin piteneminen ennen lihaksen supistumista (contraction) lisää voimantuottoa. (Guissard ym., 1992.)

Mahdollisimman lyhyessä ajassa tuotettu impulsiivinen voima saa aikaan parhaan mahdollisen kiihdytyksen. Voimien summa, joka tuotetaan lonkka-, polvi- ja nilkkanivelissä, siirtyy jalkaterään ja rataa. (McFarlane, 2001.) Lähdön alkuvaiheessa kehon eri segmenttien tulee tuottaa suuri segmenttien välinen kulmakiihtyvyys josta aiheutuu kehon suuri kiihtyvyys. Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että lantiolla ja nilkalla on suuri merkitys voimantuotossa kiihdytysvaiheen alussa. (Mero ym., 2005.)

3.2.1 Reaktioaika

Usean tutkimuksen mukaan 100ms on pienin mahdollinen fysiologinen reaktioaika (Mero & Komi, 1990). Vuoteen 1990 asti pikamatkojen lähdössä käytettiin reaktioaikarajaa, joka oli 120ms. Nykyinen lähtösystemi on IAAF:n hyväksymä, jota käyttävät muun muassa Seiko ja Omega. Reaktioajan mittauksessa käytetään erilaisia

antureita ja kynnyksen tunnistusmekanismeja. Seiko ja Omega käyttävän tunnistusmekanismina piezoelektronista voimalevyä lähtötelineissä. Lähtösignaalin ja voimalevyn kynnyksarvon ylityksen välinen aika on reaktioaika. Lynx System Developers käyttää telineissään kiihtyvysanturia, jossa on määritetty julkaisematon kynnyksarvo. Fysiologisesti reaktioaika jaetaan useaan eri osa-alueeseen sen toiminnan etenemisen vuoksi. Ensimmäisenä stimulus saapuu sensoriin. Sen jälkeen stimulus muuttuu hermosignaalksi joka etenee lihakseen. Lihaksessa tapahtuu tämän jälkeen lihasaktivaatio. Kaikilla vaiheilla on oma prosessiaika, jonka summa on reaktioaika. (Pain ym., 2006.)

Todellisuudessa reaktioaika voi kuitenkin olla alle 100ms. Hermolihas-fysiologisen komponentin reaktioaika voi olla alle 85ms ja sen EMG-latenssi alle 60ms. Nykyinen 100 millisekunnin arvo voidaan jossain määrin pitää oikeana, jos siinä on mukana laitteen vasteaika. Reaktioaika voidaan jakaa kahteen eri osaan. Esimotorinen aika on lähtösignaalin ja EMG-signaalin alun välinen aika. Pseudo-motorinen on EMG-signaalin nousun ja merkittävän voimantuoton välinen aika. (Pain ym., 2006.) Reaktioajan (TRT, total reaction time) jakamisessa kahteen osaan tunnetaan myös termit esimotorinen aika (PMT, pre-motor time) sekä motorinen aika (MT, motor time). Voimantuotto alkaa merkittävästi kun se ylittää 10% perustasosta. (Mero & Komi, 1990.)

Eri mittausmenetelmien välillä on myös havaittu eroja. Erilainen mittausmenetelmä voi tuottaa erialaisen reaktioajan joka johtuu eri laitteiden erilaisista spesifikaatioista. Voidaankin todeta, että muillakin kuin hermolihhas- tai fysiologisilla muuttujilla on merkittävä osuus mitattaessa reaktioaikaa. (Pain ym., 2006.) Teoriassa on laskettu, että reaktioaika lähdössä voi olla alle 100 millisekuntia. Soleuksen reaktioaika voi olla 60 millisekuntia. Lähtötilanteessa lähtösignaalin etenemiseen urheilijan korvaan kuluu aikaa keskimäärin kolme millisekuntia. Aivoihin signaalin eteneminen kestää kymmenen millisekuntia. 50 millisekuntia kestää, kun hermoimpulssi etenee aivoista lihakseen. Motorinen aika tarkoittaa sitä, kun signaali etenee pitkin T-tubulusta ja

lisää kalsiumionien määrää lihassoluissa. Nämä huomioon ottaen reaktioaika olisi yhteensä 73 millisekuntia. Käytännössä reaktioaika on 78 - 83 millisekuntia johtuen sähkömekaanisesta viiveestä, joka on 10 - 15 millisekuntia. Yleisesti urheilija ei tiedosta milloin reaktioaika on alle 100 millisekuntia. Reaktioaika voi olla alle 85ms, joka on juuri hypoteettisen reaktioajan yläpuolella. (Pain ym., 2006.)

3.2.2 Lihasten aktivoituminen lähdössä (EMG)

Lähtötilanteessa EMG:tä mitataan monista eri lihaksista. Yleisimmät aktiiviset lihakset ovat tibialis anterior, gastrocnemius, vastus medialis, rectus femoris, biceps femoris ja gluteus maximus. Meron ja Komin tutkimuksessa (1987) mitattiin EMG:tä viidestä eri lihaksesta (GA, VL, BF, RF, GM). Lähdön alkuvaiheessa kaikki lihakset paitsi gastrocnemius ovat aktiivisia ja työntävät takimmaista jalkaa eteenpäin. Gastrocnemius aktivoituu työntövaiheen lopussa hetkeksi. Urheilija pystyy tuottamaan enemmän voimaa takimmaisella jalalla jos jalkaterät ovat kiinni radassa. Tällöin gastrocnemius aktivoituu enemmän. Lähdön alkuvaiheessa etummaisesta jalan voimantuottoon osallistuu gluteus maximus, biceps femoris ja rectus femoris. Työntövaiheen lopussa vastus lateralis ja gastrocnemius ovat aktiivisia. Erityisesti gastrocnemius on erittäin aktiivinen niin kauan kuin se irtoaa radalta ilmaan. (Mero ym. 1987, 137-139.)

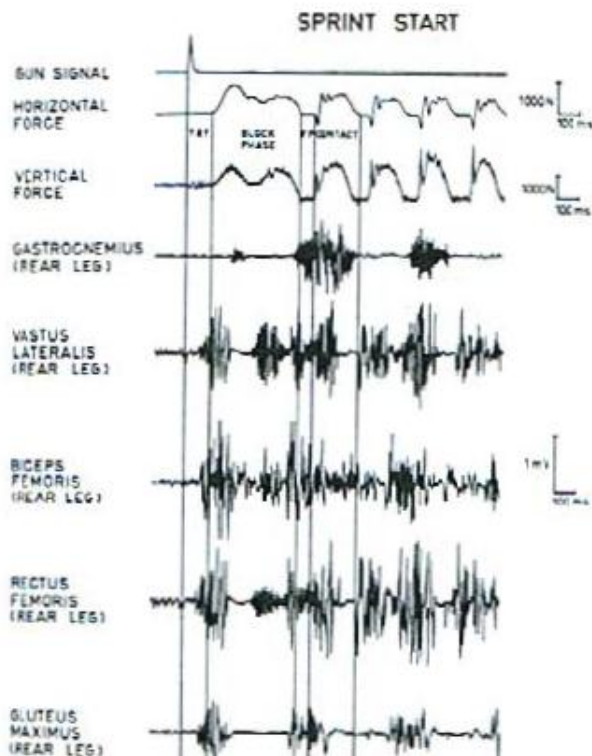
3.2.3 EMG – aktiivisuus takimmaisesta jalan lihaksissa

Takimmaisesta jalan suurimmat aktivaatiotasot tapahtuvat kontaktivaiheessa (kuva 3), paitsi gluteus maximus -lihaksella. Gluteus maximus tuottaa maksimivoiman ensimmäisen 50 millisekunnin aikana. Voimataso laskee hetkeksi, mutta kasvaa kontaktivaiheen jälkeen. Suurin arvo gluteus maximukselle saadaan yleensä jarrutusvaiheen aikana. Gluteus maximus on erittäin aktiivinen voimantuoton

alkuvaiheessa. Gastrocnemius ja rectus femoris aktivoituvat yleisesti vasta reaktiovaiheen lopussa. (Mero & Komi, 1990.)

Gastrocnemius on erittäin aktiivinen telinevaiheen (block phase) alussa, mutta suurin aktivaatio on ensimmäisen kontaktin jarrutusvaiheessa telineistä lähdön jälkeen. Gastrocnemius on vähäisessä määrin aktiivinen kontaktivaiheen loppupuolella. Rectus femoris on aktiivinen kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäinen pieni aktiivisuustaso on yleisen voimantuoton alkuvaiheessa, kun urheilija on vielä telineissä ja ojentaa jalkaa. Toinen pieni aktiivisuushuippu on telinevaiheen jälkeen, kun urheilija koukistaa jalkaa. Kolmas pieni aktiivisuushuippu tapahtuu kontaktivaiheen alussa kun urheilija ojentaa jalkaa. (Mero & Komi, 1990.)

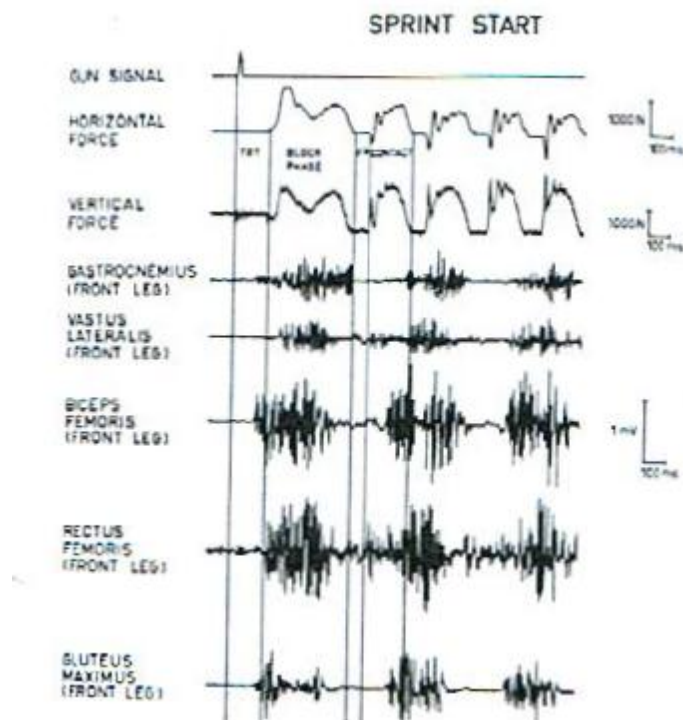
Biceps femoris (two-joint) tuottaa ensimmäisen huippuarvon telinevaiheen lopussa. Seuraavan 100 millisekunnin aikana aktiivisuustaso laskee, mutta nousee suurimpaan arvoon kontaktivaiheen lopussa. Vastus lateralis tuottaa voimaa jo telinevaiheen alkuvaiheessa. Seuraava ja suurin huippuarvo todetaan yleensä kontaktivaiheen alussa urheilijan ollessa vielä telineissä. (Mero & Komi, 1990.)



KUVA 3. EMG – aktiivisuus takimmaisen jalan lihaksissa (Mero & Komi, 1990).

3.2.4 EMG – aktiivisuus etummaisen jalan lihaksissa

Gastronemius on yleisesti päälihaksista ensimmäinen joka reagoi (kuva 4). Mero ym. tutkimuksessa gastrocnemiuksen motorinen aika oli 57 millisekuntia. Telinevaiheessa signaalista havaittiin kaksi erillistä huippuarvoa, josta korkein oli telinevaiheen loppuvaiheessa. Vaiheen loppupuolella olevat huippuarvot olivat nähtävissä etummaisessa ja takimmaisessa jalassa. Yleisesti gastrocnemiuksen aktiivisuuteen kestää muita lihaksia pidempään. Vastus lateraliuksen EMG –aktiivisuus lisääntyi telinevaiheen aikana ja sen jälkeen aktiivisuustaso laskeutui. Gluteus maximuksen maksimaalinen aktiivisuus on voimantuoton alussa telinevaiheessa ja seuraava huippuarvo 0.2 sekuntia myöhemmin. (Mero & Komi, 1990.)



KUVA 4. EMG – aktiivisuus etummaisen jalan jalassa (Mero & Komi, 1990).

3.2.5 Lihaksen esijännitys

Lihaksisto on esijännitettyinä valmiit – komennosta lähtölaukaisuun saakka. Lihasten esijännitys lisää urheilijan eteenpäin suuntautuvaa yhteisvoimaa kiihdytysjakson alkuvaiheessa. Voima lisääntyy kun jalkojen lihakset tulevat aktiivisiksi progressiivisesti. Esijännitys ei deaktivoitu välittömästi. Tämän vuoksi erityisesti yläraajojen lihakset aiheuttavat hetkellisesti taaksepäin suuntautuvan voiman ja jalkojen esijännityksen aiheuttama hyöty häviää. Yläraajalihasten hidas deaktivoituminen aiheuttaa hetkellisesti taaksepäin suuntautuvaa voimaa. (Gutierrez-Davila ym., 2006.)

Lihaksen esijännityksen eduista on erisuuntaisia tietoja eri tutkimuksissa. Gutierrez-Davila ym. tutkimuksessa (2006) tulokset eivät esittäneet merkittävää etua

voimantuoton voimakkuteen, kun jalkoja painetaan voimakkaasti kohti lähtötelineitä. Osa tutkimuksista esittää että jalkoja tulisi painaa voimakkaasti kohti telinettä.

(Gordon, 1972; Schmolinsky, 1978; Gambetta ym., 1989; Pascua, 1998). Jalkojen voimakas painaminen kohti telinettä vaatii voimakkaan esijännityksen. Liian voimakas esijännitys voi aiheuttaa liian suuren voiman telineisiin. Nopeasti tuotettu liian suuri voima aiheuttaa varaslähdön. (Gutierrez-Davila ym., 2006.)

Esijännityksessä lihaksen jäykkyys kasvaa ja keskimääräinen motorinen aika laskee. Telineistä lähdössä on mukana useampi lihas ja myös lihaksia, jotka jatkuvat nivelen yli (two-joint muscles). Näitä ovat muun muassa rectus femoris, biceps femoris ja gastrocnemius. Jotta lähtötilanteessa urheilija saisi nopeimman mahdollisen reaktion, vaaditaan siihen optimaalista esijännitystä. On tutkittu, että suurimmassa osassa takimmaisesta jalan lihaksia normaaliolosuhteissa on 65 millisekunnin esimotorinen reaktioaika. (Pain ym., 2006.)

Suuri esijännitys aiheuttaa myös suurempaa painetta lähtötelinettä kohti. Urheilija saa suuremman hyödyn kiihdytysvaiheessa, jos urheilija tuottaa merkittävästi suurempaa voimaa kuin että lihakset olisivat levossa ja aktivoituvat vasta kun urheilija reagoi lähtösignaaliin. Jos urheilija tuottaa liian suuren taaksepäin suuntauvan voimapiikin ennen lähtösignaalia tapahtuu varaslähtö. Taaksepäin suuntautuva voima pitää kompensoida eteenpäin suuntautuvalla voimalla painamalla käsiä voimakkaammin maata kohti. Pitkittäissuuntainen yhteisvoima tulee olla lähestulkoon nolla lähtövaiheessa. (Gutierrez-Davila ym., 2006.)

Optimaalinen esijännitys pienentää reaktioaikaa. Myös PMT (pre-motor time, esimotorinen aika) ja MT (motor time, motorinen aika) ovat tutkittu olevan ajallisesti lyhyempiä, kun lihas on esijännitetty. Tämä voidaan selittää sillä, että lihas on

aktiivinen kun se on esijännitetty. Esijännityksessä lihassolut ovat osittain aktiivisia sekä lihaksen elastiset osat ovat venytettyinä. Osa lihassoluista, varsinkin hitaat lihassolut joiden kynnystaso on alhaisempi, aktivoituu esijännityksessä. Tämän vuoksi korkeamman kynnystason lihassolut aktivoituvat nopeasti. RT (reaction time, reaktioaika) ja PMT käyttäytyivät samansuuntaisesti. Jos reaktioaika (RT) lyheni myös PMT lyheni. Yleisesti ajatellaan, että PMT on seurausta keskushermoston refleksiosa ja MT on seurausta lihastoiminnan reflektiosta. (Kimura K. ym., 2002; Kawama KN, 1995.)

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Vuonna 1990 vilppilähdön aikaraja muutettiin 120 millisekunnista 100 millisekuntiin. Edellisen kappaleen mukaan useissa tutkimuksissa on selvitetty lihasten aktivoitumista, lihasten aktivaatiojärjestystä sekä reaktioaikaa. Pain ym. (2006) tutkivat pienintä mahdollista reaktioaikaa, joka on mahdollista toteuttaa pikamatkojen lähdössä ilman aavistuslähtöä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia reaktioaikaa pikamatkojen lähdössä. Tutkielmassa pohditaan, mikä on teoreettisesti pienin mahdollinen hyväksytty reaktioaika, jonka laitteisto pystyy tunnistamaan sekä urheilija pystyy tunnistamaan, ettei kyseessä ole varaslähtö.

Pro gradu -tutkielma on osa Jyväskylän yliopiston tutkimusta, jonka tarkoituksena on parantaa ja kehittää pikamatkojen reaktioaikamittausta (Sprint start validation, Jyväskylän yliopisto; Komi, P., Ishikawa, M., Salmi, J., 2007).

Lisäksi tutkielmassa pohditaan miesten ja naisten välisiä eroja liittyen voimantuottoon, esimotoriseen sekä motoriseen aikaan. Lihasten aktivaatiojärjestystä, sekä esimotorista että motorista aikaa on analysoitu tutkielmassa.

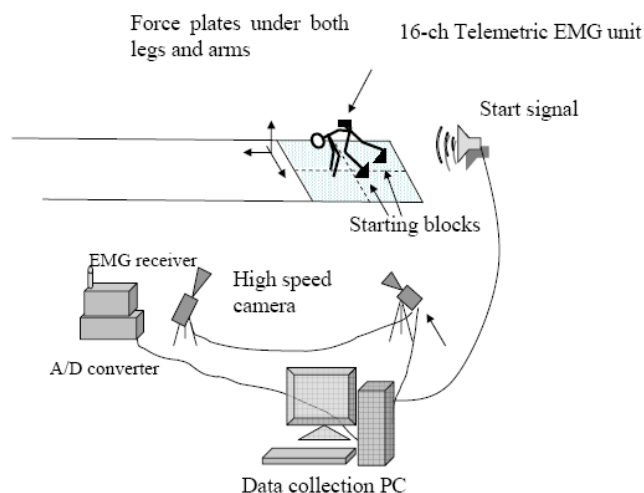
5 MENETELMÄT

5.1 KOEHENKILÖT

Koehenkilöitä tässä tutkimuksessa oli seitsemän (ikä 24 ± 3 vuotta; paino $71,2 \pm 14,2$ kg; pituus 177 ± 7 cm). Heistä neljä oli miesjuoksijaa ja kolme naisjuoksijaa. Kukin juoksija oli kokenut pikamatkojen juoksija. Koehenkilöt valittiin tutkimukseen sillä perusteella, että telineistä lähtö on heille tunnettu suoritus. Kuusi koehenkilöä piti telineissä vasenta jalkaa etummaisena ja yksi koehenkilö oikeaa jalkaa etummaisena.

5.2 MITTAUSPROTOKOLLA

Mittaus suoritettiin Jyväskylän yliopiston laboratoriatilassa. Kukin juoksija suoritti muutaman onnistuneen lähdön. Ennen tutkimuksen aloittamista koehenkilöt lämmittelivät suorittamalla telineistä muutamia lähtöjä. Jokainen koehenkilö sai asettaa lähtötelineet oman tarpeen mukaan. Mittausprotokollan yleisilme oli allaolevan mukainen (kuva 5).

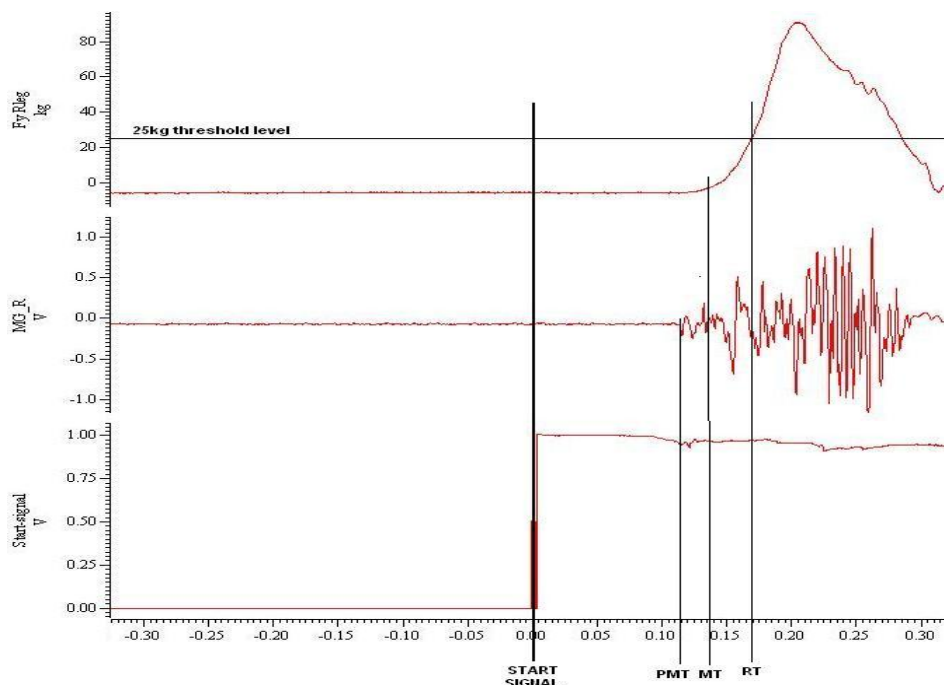


KUVA 5. Mittausprotokolla (Komi ym., 2007).

5.3 MITTAUKSET

5.3.1 Reaktioaika

Reaktioaika määritettiin IAAF:n suosittelman 25kg kynnyksen mukaan. IAAF:n sääntöjen mukaan kynnyksen raja ei saa ylittyä 100 millisekunnin kuluessa lähtösignaalista. Reaktioaika voidaan määrittää signaalista, erikseen pysty- ja vaakasuoravoimia hyväksikäyttäen (kuva 6) tai laskemalla erikseen oikean ja vasemman puolen resultanttivoimat. Motorinen aika tarkoittaa aikaa, joka kuluu EMG:n alkamisesta voimantuoton alkamiseen. Motorinen aika laskettiin lihaskohtaisesti. Motorisen ajan määrittämisessä tarkastellaan tietyn lihaksen EMG:n alkamisen ja koko raajan voimantuoton alkamisen välistä aikaa. EMG:n alkaminen määritettiin signaalista silmämääräisesti, kun signaali nousi perustasosta. Esimotorinen aika määritettiin (EMT) lähtösignaalin ja lihaksen EMG -signaalin väliseksi ajaksi.



KUVA 6. Oikean eli takimmaisen jalan voimasignaali , EMG-signaali ja lähtösignaali. Kuvassa määritetty oikean jalan reaktioaika sekä medial gastrocnemius -lihaksen esimotorinen (PMT) ja motorinen aika (MT).

Signaalinkeräyslaite antaa erikseen vaaka- ja pystysuoravoimat vasemmalle ja oikealle jalalle erikseen. Reaktioaika on määritetty molemmille jaloille erikseen pystysuoran ja vaakasuoran voiman resultantista.

5.3.2 EMG

EMG määritettiin yhteensä 10 lihaksesta koehenkilöä kohden. EMG:n mittaukseen käytettävät elektrodit sijoitettiin Seniamin (Hermens ym. , 1998) suosituksen mukaan.

Mittauksissa käytettiin bipolaarisia pintaelektrodeja (halkaisija 6mm Blue Sensor N-00-S/25, Medicotest, Olstykke, Tanska) sekä EMG mittauslaitetta (kaista 10 Hz – 1kHz per 3 dB; malli 16 - 2, EISA, Freiburg, Saksa). EMG -signaalia käsiteltiin Signal signaalianalyysiohjelmalla (Cambridge Electronics Design Ltd, Englanti). EMG -data kerättiin kannettavaan tietokoneeseen AD -muuntimen välityksellä (Näytteenottotaajuus 2 kHz; Power 1401, Cambridge Electronics Design Ltd, Englanti). EMG -signaalien esitykseen synkronoitiin esitettäväksi lähtötelineisiin kodistuva voima sekä lähtösignaali.

Mitattavat lihakset miehillä:Jalat

- Gastrocnemius medialis, oikea
- Gastrocnemius medialis, vasen
- Soleus, oikea
- Soleus, vasen
- Vastus medialis, oikea
- Vastus medialis, vasen
- Tibialis anterior, oikea

Kädet

- Triceps brachii, vasen
- Biceps brachii, vasen

Selkä

- Erector spinae oikea

Vatsa

- Abdominal, vasen

Mitattavat lihakset naisilla:Jalat

- Gastrocnemius medialis, oikea
- Soleus, oikea
- Tibialis anterior, oikea
- Vastus lateralis, oikea
- Gluteus maximus, oikea
- Gluteus maximus, vasen

Kädet

- Triceps brachii, vasen
- Biceps brachii, oikea
- Biceps femoris, oikea

Selkä

- Latissimus dorsi
- Erector spinae, oikea

Vatsa

- Abdominal, vasen

5.3.3 Voima

Juoksurata koostui kahdesta erillisestä voimalevystä sekä lähtötelineistä (kuva 5). Lähtötelinealueella voidaan mitata vaaka- ja pystysuorasuuntaiset voimat käsistä ja jaloista. Voimat voidaan mitata kehon vasemmalta ja oikealta puolelta erikseen. Voimasignaalit analysoitiin käyttämällä Signal -ohjelmaa. Voimasignaaleista pystyttiin määrittämään reaktioaika.

- F_y = pystysuoravoima (vasen ja oikea jalka erikseen)
- F_z = vaakasuoravoima (vasen ja oikea jalka erikseen)

6 TULOKSET

6.1 REAKTIOAIKA

Reaktioaika vaihteli koehenkilöillä 93 millisekunnin ja 175 millisekunnin välillä riippuen analysointimenetelmästä. Reaktioajan määritykseen on käytetty 25 kg kynnyksrajaa (kuva 6). Seitsemästä koehenkilöstä yhdellä etummainen jalka oli oikea jalka, muilla vasen jalka etummaisena telineissä.

Lihastenvälinen vertailu osoittaa, että valitut lihakset toimivat suhteessa reaktioaikaan. Mitä nopeammin lihakset aktivoituvat ja alkavat tuottamaan voimaa, sitä parempi on reaktioaika. Taulukossa 1 on esitetty miehiltä eri lihasten aktivaatioajat eri lähdöissä. Jalan lihasten sekä selän (electro spinae) aktivaatio tapahtuu sitä nopeammin, mitä pienempi on reaktioaika. Poikkeuksena on tibialis anterior (TA_R) oikeasta jalasta (takimmainen jalka), jossa aktivaatioaika vaihtelee. Myös käden triceps brachii -lihaksen aktivaatioaika vaihtelee, mutta vähemmän kuin tibialis anterior -lihaksen.

TAULUKKO 1. Mieskoehenkilöiden reaktioajan ja lihaksen aktivaatioajan vertailu reaktioaikajärjestyksessä. Lihasten aktivaatioaika on osittain säännönmukainen vertailtaessa sitä reaktioaikaan. Vasen (L) jalka oli etummainen jalka lähtötelineissä.

	KH4 RT 96ms	KH2 RT 108 ms	KH3 RT 156 ms	KH1 RT 160 ms
MG_R	73 ms	98 ms	101 ms	108 ms
MG_L	67 ms	89 ms	94 ms	114 ms
SOL_L	57 ms	86 ms	93 ms	120 ms
VM_R	48 ms	83 ms	101 ms	117 ms
VM_L	41 ms	67 ms	99 ms	109 ms
TA_R	216 ms	222 ms	135 ms	298 ms
ES_R	80 ms	107 ms	123 ms	135 ms
Tricep_L	101 ms	83 ms	102 ms	139 ms

Taulukossa 2 on vertailtu vastaavasti naisten lihaskohtaista aktivaatioaika. Kaikkien lihasten aktivaatioaika on sitä pienempi, mitä pienempi on reaktioaika. Myös tibialis anterior lihaksen aktivaatioaika korreloi reaktioaikaan. Vastaavasti miehillä tibialis anterior lihas ja reaktioaika ei korreloi.

TAULUKKO 2. Naiskoehenkilöiden lihaskohtainen vertailu reaktioaikajärjestyksessä. Lihasten aktivaatioaika on osittain säännönmukainen vertailtaessa sitä reaktioaikaan. Naisilla vasen jalka oli etummainen jalka, paitsi KH7 (oikea jalka etummainen).

	KH7 RT 93 ms	KH6 RT 159 ms	KH5 RT 175 ms
MG_R	27 ms	136 ms	141 ms
SOL_R	33 ms	126 ms	145 ms
TA_R	210 ms	279 ms	330 ms
VL_R	52 ms	106 ms	159 ms
GLU_R	66 ms	114 ms	124 ms
GLU_L	59 ms	136 ms	130 ms
Tricep_L	62 ms	114 ms	123 ms

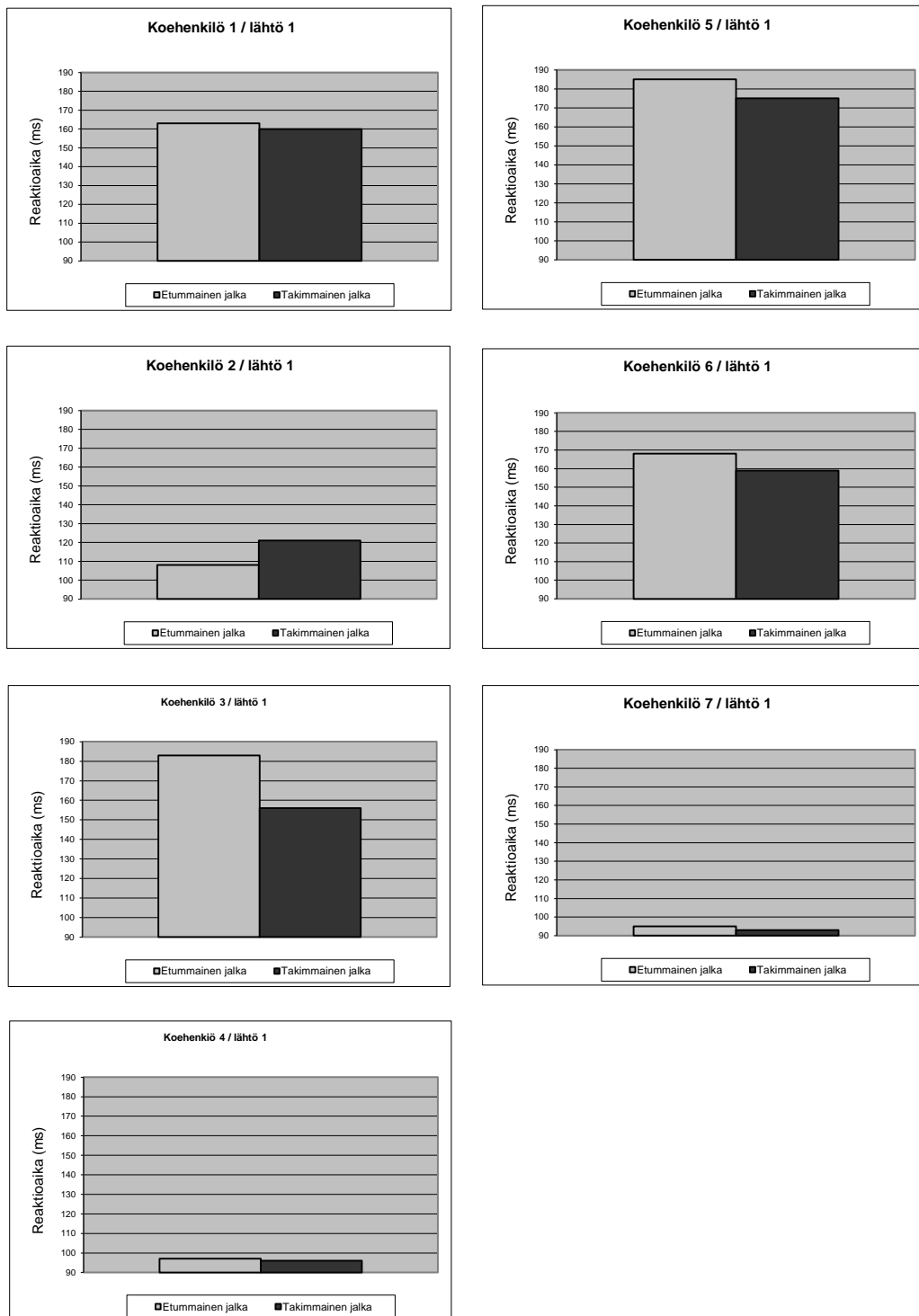
Yksi mieskoehenkilö ja yksi naiskoehenkilö tekivät lähdön telineistä, jossa etummainen ja takimmainen jalka reagoivat alle 100 millisekunnin 25 kg kynnyksrajalla. Mieskoehenkilöllä (kuva 7, koehenkilö 4/lähtö 1) etummaisen jalan (vasen) reaktioaika oli 97 millisekuntia ja takimmaisen jalan (oikea) 96 millisekuntia. Naiskoehenkilöllä (kuva 7, koehenkilö 7/lähtö 1) takimmaisen jalan (vasen) reaktioaika oli 93 millisekuntia ja etummaisen (oikea) 95 millisekuntia. Naiskoehenkilöllä etummainen jalka reagoi nopeammin, kun vastaavasti miehellä takimmainen jalka reagoi nopeammin. Naiskoehenkilön etummaisen jalan medialis gastro -lihaksen aktivaatiotaso nousee merkitsevästi 27 millisekunnin kohdalla. Soleuksen aktiivisuustaso alkaa nousta jo 33 millisekunnin, vastus lateralis 52 millisekunnin ja gluteus maximus 59 millisekunnin kohdalla. Takimmaisen jalan gluteus maximus aktivoituu 66 millisekunnin kohdalla.

Mieskoehenkilön takimmainen jalka reagoi yhden millisekunnin nopeammin kuin etummainen jalka. Takimmaisen jalan lihakset aktivoituvat seuraavasti. Medialis gastro 73 millisekunnin ja vastus medialis 48 millisekunnin kohdalla. Vastaavasti etummaisen jalan vastus medialis aktivoituu 41 millisekunnin kohdalla.

Medialis gastro mitattiin mieshenkilöiltä etummaisesta ja takimmaisesta jalasta. Medialis gastro aktivoitui nopeammin siinä jalassa, missä reaktioaika oli suurempi. Vastaavasti naiskoehenkilöiltä mitattiin gluteus maximus etummaisesta ja takimmaisesta jalasta ja siinä tulokset osoittavat selvästi, mitä nopeammin gluteus maximus aktivoituu, sitä nopeammin sen puolen jalka reagoi. Mieshenkilöillä vastus medialis -lihaksen aktivoitumisaika ei korreloi suoraan kumpi jalka reagoi nopeammin.

Etummaisen ja takimmaisen jalan reaktioajoissa oli eroja. Kuvassa 7 on seitsemän eri lähdön reaktioajat erikseen mitattuna oikeasta ja vasemmasta jalasta. Reaktioajan määrittämiseen on käytetty 25 kg kynnyksrajaa. Voimasignaali on resultanttivoima ja

se on laskettu erikseen molemmille jaloille. Etummainen jalka reagoi hitaammin kuin takimmainen jalka viidessä lähdössä. Koehenkilöt 1-4 ovat miesten ja koehenkilöt 5-7 ovat naisten lähtöjä. Koehenkilöiden 4 ja 7 lähdöt ovat alle 100 millisekunnin reaktioajan lähtöjä eli vilppilähtöjä.



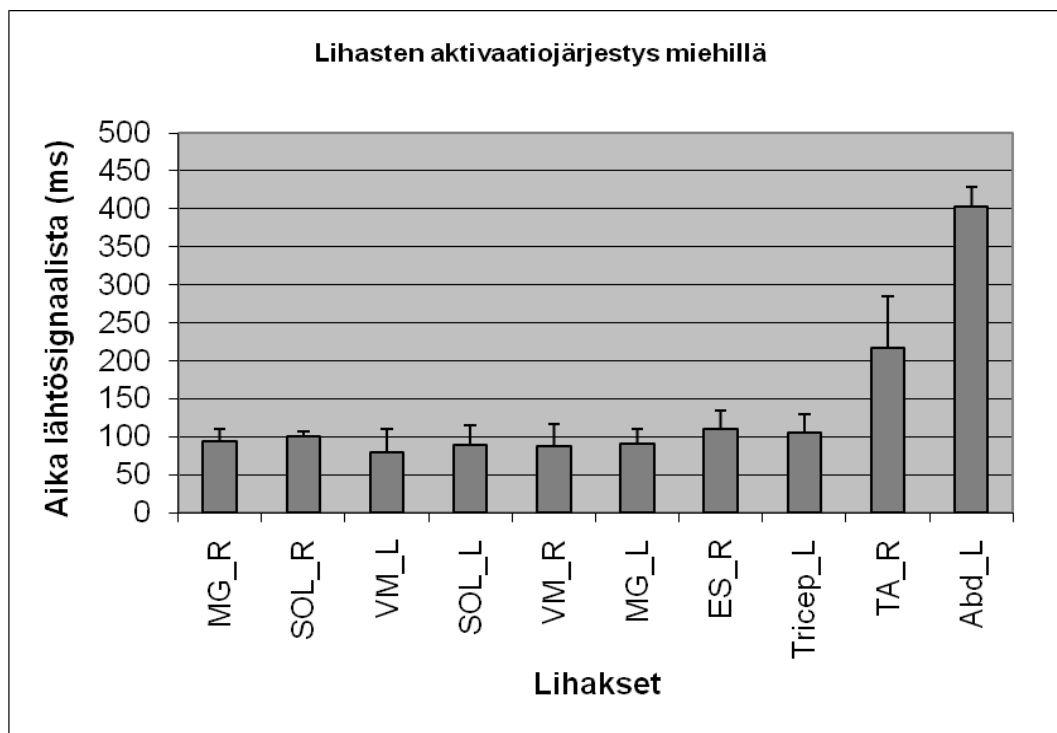
KUVA 7. Etummaisen ja takimmaisen jalan reaktioajat seitsemällä eri koehenkilöllä valituista lähdöistä. Harmaa on etummainen ja musta takimmainen jalka. Huomataan, että takimmainen jalka reagoi nopeammin viidessä eri lähdössä

TAULUKKO 3. Reaktioaika erikseen etummaisesta ja takimmaisesta jalan pystyvoimista. Taulukossa on useampia lähtöjä samalta koehenkilöltä.

	Etummainen	Takimmainen
KH1	163	160
KH2	108 153	121 151
KH3	183	156
KH4	97	96
KH5	185 179	175 165
KH6	168	159
KH7	95	93

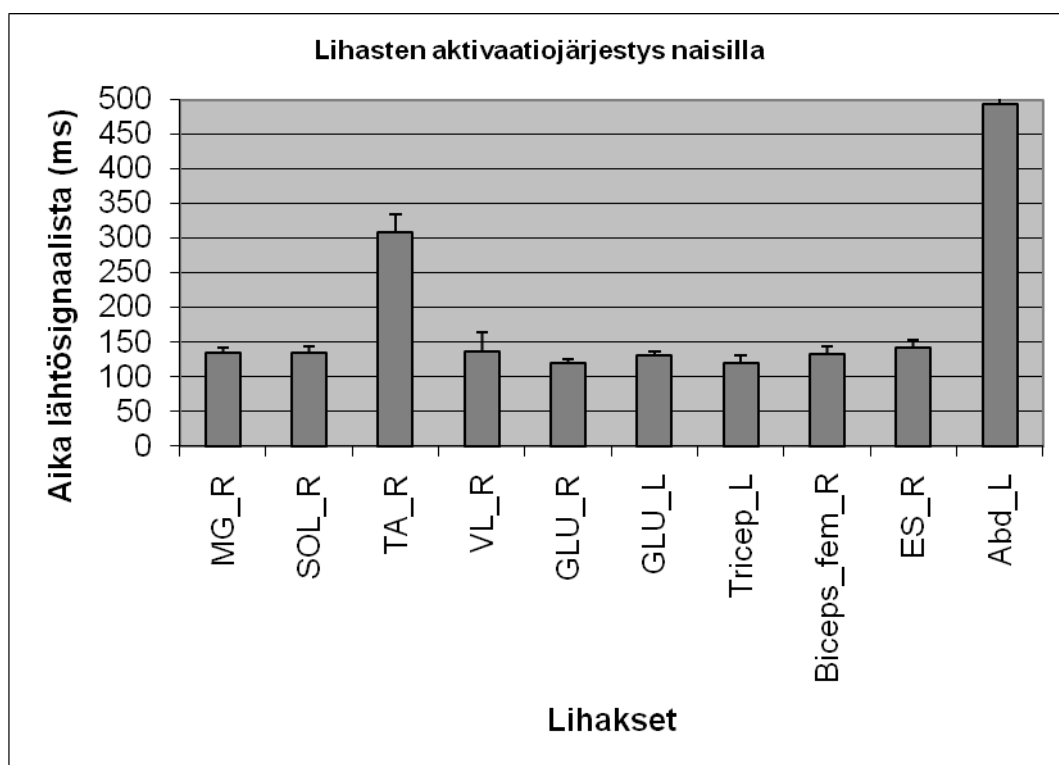
6.2 LIHASTEN AKTIVAATIOJÄRJESTYS

Miehet lähtivät telineistä siten, että vasen jalka (etummainen) oli telineissä lähempänä lähtöviivaa. Vastus medialis reagoi keskimääräisesti nopeimmin (kuva 8), kun verrattiin neljän eri lähdön EMG-aktiivisuutta. Kyseisten lähtöjen reaktioajat olivat 96ms, 108ms, 156ms ja 160ms. Tibialis anterior oikeasta jalasta sekä vatsalihas aktivoituivat hitaammin kuin muut lihakset. Viiden eri jalkalihaksen aktiivisuustaso nousi merkitsevästi ennen 100 millisekunnin rajaa. Etummaisesta jalasta (vasen) reagoivat järjestyksessä vastus medialis (79ms ± 31ms), soleus (89ms ± 26ms) ja medialis gastro (91ms ± 19ms). Takimmaisen jalan lihakset reagoivat järjestyksessä vastus medialis (87 ms ± 29ms), medialis gastro (95ms ± 15ms) sekä soleus (100ms ± 7ms).



KUVA 8. Lihasten aktivaatiojärjestys miehillä (neljästä eri lähdöstä, neljästä eri juoksijasta). Jokaisen miesjuoksijan oikeanpuoleinen jalka oli lähtötelineissä etummainen.

Lihasten aktivaatiojärjestys naisilla osoittaa (kuva 9), että tibialis anterior -lihas sekä vatsalihaksen aktiivisuus alkaa muita lihaksia myöhemmin. Naisten osalta vertailtiin kolmen eri lähdön keskimääräistä lihaskten aktivaatiojärjestystä ja -aikaa. Jalkaisuudet ovat tässä samalla tavalla kuin miehillä. Kyseisten lähtöjen reaktioajat olivat 159ms, 165ms ja 175ms. Naisilta mitattiin pääsääntöisesti oikean eli takimmaisena lihaksia. Gluteus maximus reagoi etummaisessa jalassa hitaammin ($131\text{ms} \pm 4\text{ms}$) kuin takimmaisessa jalassa ($120\text{ms} \pm 5\text{ms}$). Takimmaisena jalan muut lihakset reagoivat seuraavasti nopeusjärjestyksessä: medialis gastro ($134\text{ms} \pm 8\text{ms}$), soleus ($135\text{ms} \pm 10\text{ms}$) sekä vastus lateralis ($137\text{ms} \pm 27\text{ms}$).



KUVA 9. Lihasten aktivaatiojärjestys naisilla kolmesta eri lähdöstä.

6.3 MOTORINEN JA ESIMOTORINEN AIKA

Alla esitetyssä taulukossa (taulukko 4) on esimotorinen aika (PMT) ja motorinen aika mitatuista lihaksista miespuolisilla koehenkilöillä. Reaktioaika on jalasta, kumpi on reagoinut nopeammin (ylittänyt nopeimmin 25 kg kynnyksrajan).

TAULUKKO 4. Esimotorinen ja motorinen aika (ms) etummaisen jalan lihaksissa neljästä eri lähdöstä eri reaktioajoilla (RT). Lihakset medialis gastrocnemius (MG), soleus (SOL) ja vastus medialis (VM) mitattiin vasemmasta jalasta.

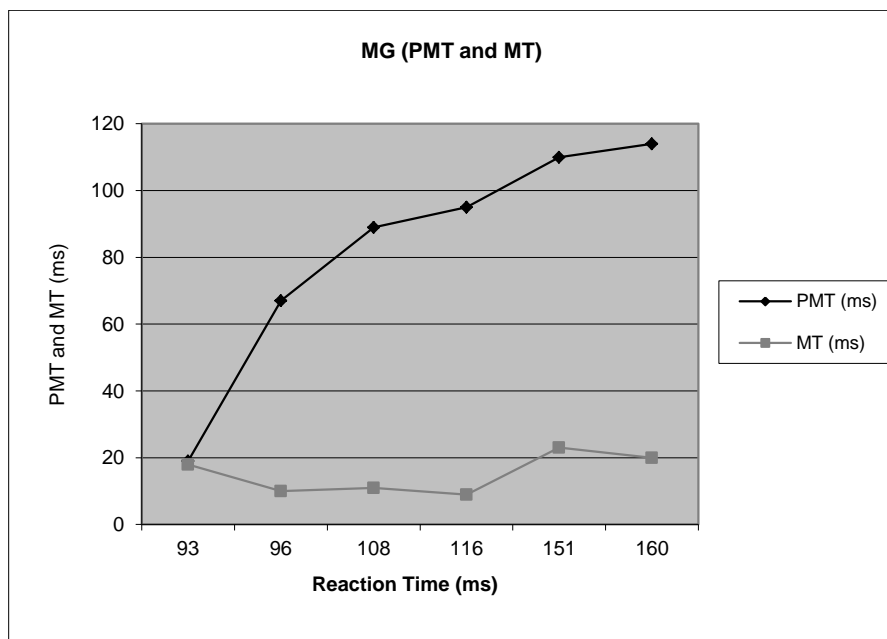
	MG_L	SOL_L	VM_L	RT
KH1	114	120	109	160
KH2	89	86	67	108
KH3	94	93	99	156
KH4	67	57	41	96

Miehet: esimotorinen aika (PMT) etummaisen jalan lihaksissa.

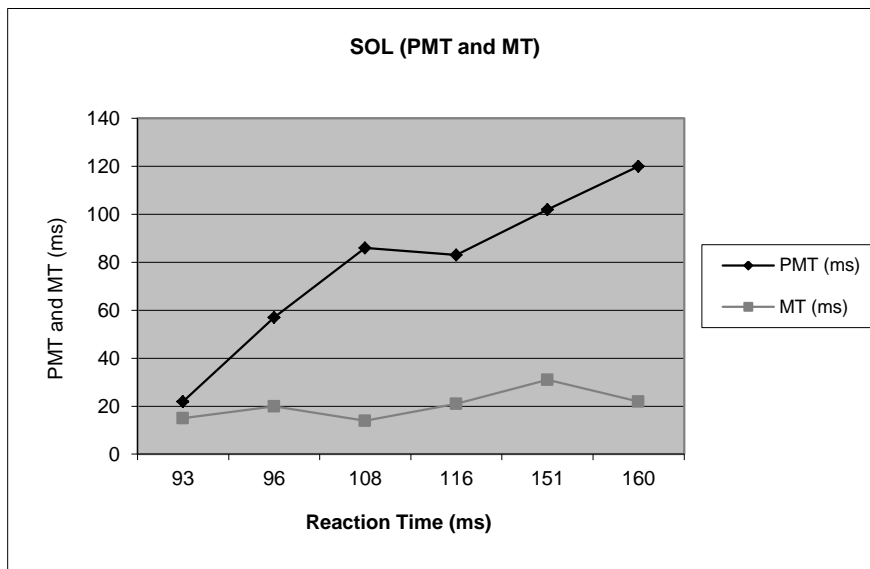
	MG_L	SOL_L	VM_L	RT
KH1	20	22	25	160
KH2	11	14	33	108
KH3	39	40	34	156
KH4	10	20	36	96

Miehet: motorinen aika (MT) etummaisen jalan lihaksissa.

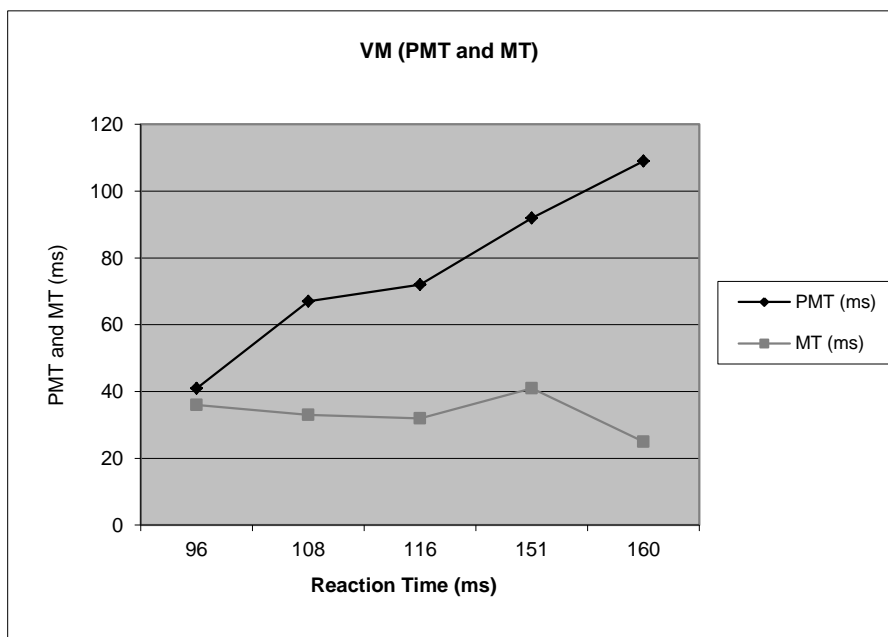
Esimotorista ja motorista aikaa verrataan toisiinsa lihaskohtaisesti. Alla olevissa kuvissa (kuvat 10 – 13) on kuvattu kuudesta eri lähdöstä, joiden reaktioajat olivat 93ms, 96ms, 108ms, 116ms, 151ms sekä 160ms. Esimotorinen aika kasvaa, mitä suuremmaksi reaktioaika kasvaa. Motorinen aika saattaa jopa laskea reaktioajan kasvaessa.



KUVA 10. Medialis Gastrocnemius -lihaksen motorinen ja esimotorinen aika verrattuna reaktioaikaan kuudesta eri lähdöstä.

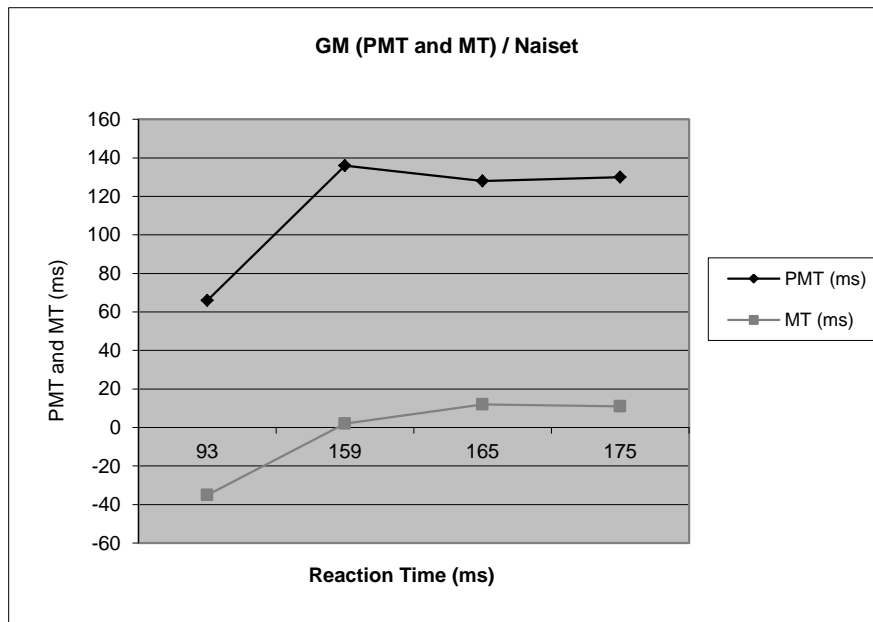


KUVA 11. Soleus -lihaksen motorinen ja esimotorinen aika verrattuna reaktioaikaan kuudesta eri lähdöstä.



KUVA 12. Vastus medialis -lihaksen motorinen ja esimotorinen aika verrattuna reaktioaikaan viidestä eri lähdöstä.

Lisäksi verrattiin gluteus maximus – lihasta etummaisesta jalasta neljästä eri lähdöstä, joissa reaktioajat olivat 93ms, 159ms, 165ms ja 175ms.



KUVA 13. Naiset: Gluteus maximus -lihaksen motorinen ja esimotorinen aika etummaisesta jalasta verrattuna reaktioaikaan. Gluteus maximus reagoi 93ms reaktioajalla jo 20ms ennen voimantuoton alkamista.

Kun reaktioaika on 93 millisekuntia (taulukko 5), voimantuotto etummaisessa jalassa alkaa 35ms ennen kuin gluteus maximus lihaksessa.

TAULUKKO 5. Esimotorinen ja motorinen aika (ms) etummaisen jalan gluteus maximus -lihaksesta neljästä eri lähdöstä eri reaktioajoilla (RT).

	PMT	MT	RT
KH5	130	11	175
	128	12	165
KH6	136	2	159
KH7	66	-35	93

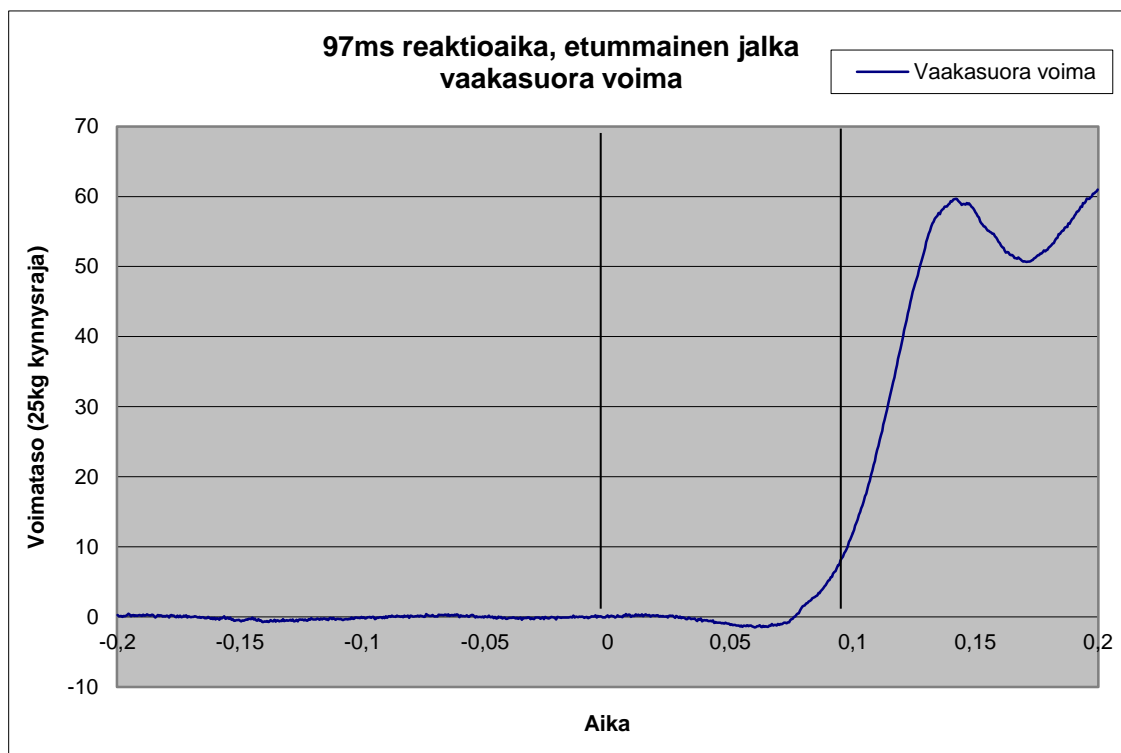
Etummaisesta ja takimmaisesta jalan tiettyjen lihaksien esimotorisen ajan sekä motorisen ajan vertailu (taulukko 6) osoitti epäsäännöllisyyttä tuloksissa. PMT ja MT eivät korreloi reaktioaikaan (RT).

TAULUKKO 6. Medialis gastro (MG), Vastus medialis (VM) ja Gluteus maximus (GLU) lihaksen PMT ja MT sekä jalan reaktioajat (ms).

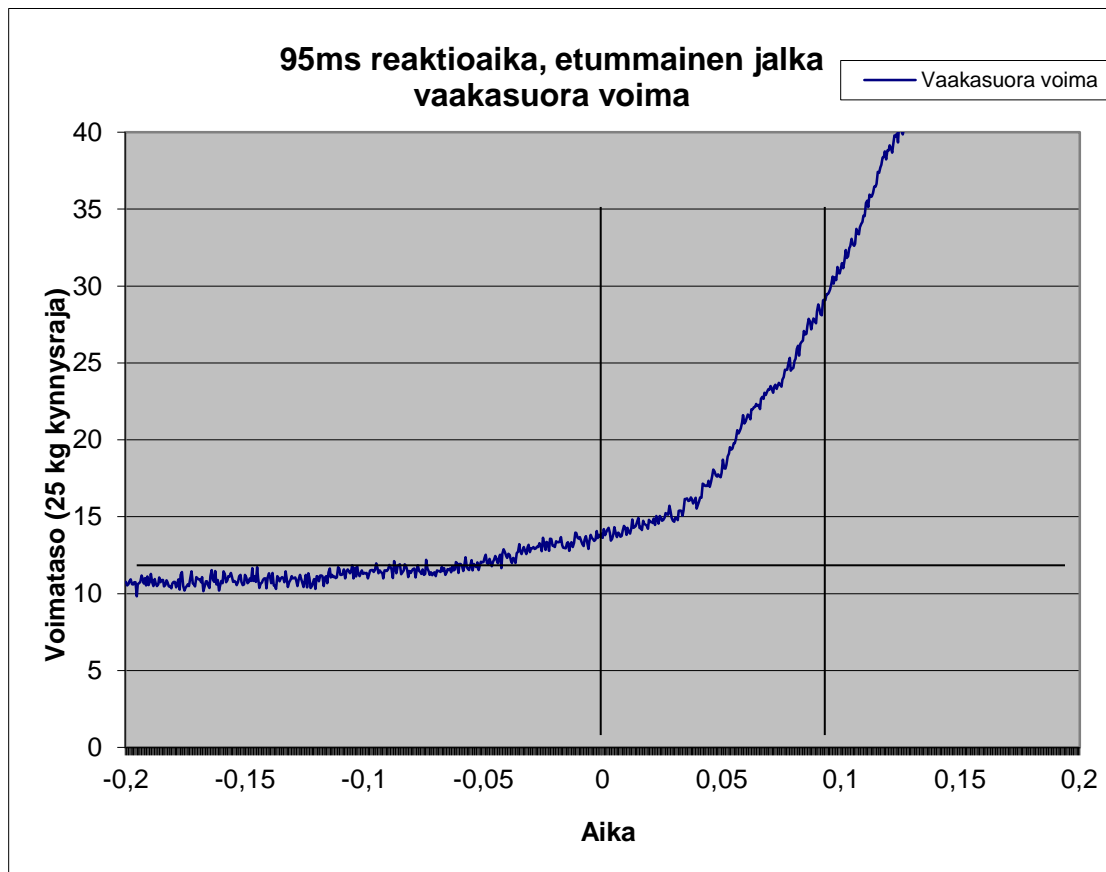
	PMT	MT	RT
MG			
Etu	114	20	163
Taka	108	28	160
Etu	89	11	108
Taka	98	3	121
Etu	94	39	183
Taka	101	26	156
Etu	67	10	97
Taka	73	4	96
VM			
Etu	109	25	163
Taka	117	19	160
Etu	67	33	108
Taka	83	18	121
Etu	99	34	183
Taka	101	26	156
Etu	41	36	97
Taka	48	29	96

	PMT	MT	RT
GLU			
Etu	125	27	185
Taka	124	31	175
Etu	113	19	168
Taka	114	26	159
Etu	66	-36	95
Taka	59	-20	93

Alle 100 ms lähtöjä oli kaksi. Ensimmäisessä lähdössä (kuva 14) etummaisesta jalan reaktioaika oli 97 millisekuntia ja takimmaisesta 96 millisekuntia. Toisen lähdön (kuva 15) etummaisesta jalan reaktioaika oli 95 millisekuntia ja takimmaisesta 93 millisekuntia. Näissä kahdessa eri lähdössä on erona motorinen aika, mikä toisessa lähdössä on negatiivinen kaikilla mitatuilla lihaksilla. Voimantuotto alkaa toisessa lähdössä ennen lähtösignaalia.



KUVA 14. Vaakavoima etummaisesta jalasta. Kynnyksäraja 25kg voiman perustasosta. Nolla on lähtösignaalin kohta.



KUVA 15. Vaakavoima etummaisesta jalasta. Kynnyksraja 25kg voiman perustasosta.

7 POHDINTA

Koehenkilön reaktioajan suhde verrattuna lihaskohtaiseen reaktioaikaan ilmaisee lihasten aktivoitumisesta. Jos reaktio tapahtuu nopeasti, sitä nopeammin ensimmäiset lihakset alkavat aktivoitua. Mitatut lihakset aktivoituvat ja reagoivat kuitenkin paljon ennen toteutunutta reaktioaikaa. Teoriassa pienin mahdollinen reaktioaika oli 73 millisekuntia eli 27 millisekuntia pienempi kuin nykyinen IAAF:n määrittelemä 100 ms vilppilähdön raja. Jos tutkimuksessa mitatuista reaktioajoista vähennetään 27 millisekuntia, lähemmäksi lukemaa pääsee lihakset medialis gastro, soleus ja vastus lateralis. Huomioon on kuitenkin otettava, kumpi jalka on etummaisena eli kummasta jalasta mittaus tehdään. Etummaisen ja takimmaisen jalan reaktioajoissa on huomattavia eroja. Tutkimuksen mukaan takimmainen jalka reagoi yleensä ensin. Samanlaisen löydöksen teki myös Henry (1952) ja Baumann (1979) omilla tutkimuksissaan. Jos oletetaan, että reaktioaika mitataan pelkästään takimmaisen jalan lihaksesta, lähdön tekninen suorittaminen muuttuisi merkittävästi. Tällöin urheilijan etummaisen jalan esijännitys ja voima telinettä kohti olisi todennäköisesti suurempi kuin nyky menetelmällä mitattaessa. Molempien jalkojen saman lihaksen mittaaminen teoriassa asettaisi molemmille jaloilla samanarvoiset kriteerit vilppilähdölle.

Lihakset reagoivat suhteessa kokonaisreaktioaikaan. Poikkeuksena huomioitiin oikeanpuoleisen tibialis anterior -lihaksen vaihtelu. Naisilla tibialis anterior korreloi kokonaisreaktioaikaan mutta miehillä ei. Mitä pienempi oli kokonaisreaktioaika, sitä pienempi oli tibialis anterior -lihaksen reaktioaika naisilla. Miehillä tibialis anterior -lihaksen reaktioaika ei seurannut kokonaisreaktioaikaa. Selkälihas reagoi jokatapauksessa jopa yli 300 millisekuntia lähtösignaalista.

Jalkojen puolierojen pienuutta lihasten aktivaatioajassa kuvaa hyvin keskimääräinen lihaksen aktivaatioaika. Vastus medialis sekä medialis gastro lihaksen aktivaatioaika ovat lähes samansuuruiset. Vasemman jalan (etummainen) soleus -lihas aktivoitui

aikaisemmin kuin oikean jalan (takimmainen) soleus vaikkakin keskimäärin takimmainen jalka reagoi nopeammin kuin etummainen niin kuin reaktioaika -kappaleessa todettiin. Tämän vuoksi ei lihaskohtaisen reaktioajan mittaaminen ole validi menetelmä, koska koko jalan reagointi ei korreloi tietyn lihaksen aktivaatioaikaan. Samansuuntaiset tulokset lihaskohtaisesti ovat nähtävissä myös vastus medialis sekä medialis gastro -lihasten osalta. Etummainen jalka tuottaa lähdössä suuremman voiman kohti telinettä, mikä selittää etummaisen jalan lihasten pienemmän aktivaatioajan kuin takimmaisen jalan lihasten. Takimmainen jalka tuotti kuitenkin voimaa nopeammin yli kynnyksrajaa kuin etummainen jalka.

Naisten osalta merkittävää on gluteus maximus -lihaksen puolierot verrattaessa oikean ja vasemman jalan reaktioaika. Naisten lähdöissä takimmainen jalka reagoi nopeammin kuin etummainen jalka. Myös gluteus maximus -lihaksen aktivaatioaika oli pienempi takimmaisessa jalassa. Myös Mero&Komi ym. (1990) tutkimuksessa todettiin, että etummaisen jalan gluteus maximus lihaksessa aktivoitui vasta työntövaiheessa kun vastaavasti takimmaisessa jalassa gluteus maximus on aktiivisimmillaan lähdön alkuvaiheessa.

Miehillä esimotorinen aika (PMT) valituissa lihaksissa (medialis gastro, soleus, vastus medialis) kasvaa jos reaktioaika suurenee. Myös naisilla valittujen lihaksen esimotorinen aika kasvaa jos reaktioaika kasvaa gluteus maximus -lihaksessa. Vastaavasti motorinen aika (MT) ei käyttäydy esimotorisen ajan tavoin suhteessa reaktioaikaan. Samanlainen löydös huomattiin tutkimuksessa, jossa PMT sekä RT käyttäytyivät samalla tavoin, mutta MT ei (Kimura ym., 2002). Pikamatkojen lähdössä lihakset ovat esijännitettynä, joten RT ja PMT samankaltainen

käyttäytyminen viittaa keskushermoston toimintaan. MT aika kuvaa ainoastaan lihaksen motorista toimintaa. 93 ms reaktioajalla gluteus maximus lihaksen EMG alkoi jo 20 millisekuntia ennen koko jalan voimantuoton alkamista. Tämä voidaan todeta, että gluteus maximus -lihaksen esijännitys saisi aikaan nopean reagoinnin.

Vilppilähdön määrittäminen lihaskohtaisesti esimotorisesta ajasta olisi kuitenkin luottettavampi kuin tietyn yksittäisen lihaksen voimatasoon liittyvä mittaus, koska reaktioajan ja esimotorisen ajan toiminnalla on yhteys keskushermoston kautta. Kuitenkin alle 100ms reaktioajan esimotorinen aika on reilusti pienempi kuin vähän yli 100ms reaktioajan lähdössä. 96ms reaktioajan lähdössä esimotorinen aika on soleus lihaksessa noin 20 millisekuntia. 108ms reaktioajan lähdössä esimotorinen aika medialis gastro -lihaksessa on 67 millisekuntia ja soleus -lihaksessa 57 millisekuntia. Kuitenkin pääsääntöisesti alle 100 millisekunnin lähdöissä voimaa tuottavien lihasten (soleus, medialis gastro ja vastus medialis) reaktioaika on alle 100 millisekuntia.

Lihaksen eri koko voitaisiin ottaa huomioon pikamatkojen lähdössä. PCSA (physiological cross-sectional area) tietyistä lihaksesta laskettuna suhteutettuna sen voimantuottotasoon ja määritettynä tästä kynnyksäraja henkilökohtaisesti saattaisi olla oikeudenmukainen. Gluteus maximus -lihas olisi tähän laskentaan parhain vaihtoehto. Maksimi isometrinen lihasvoima on todettu olevan yhteydessä PCSA -arvoon. (Gatton M, 1999.)

Voidaan olettaa että koehenkilö numero 7 lähtö on varaslähtö, koska voimantuotto alkaa vain 35 millisekuntia lähtösignaalin jälkeen. Työtä tekevä lihas ei mittausten mukaan ole gluteus maximus, koska etummaisen jalan lihaksen PMT on 65 millisekuntia. Näin ollen lihas aktivoituu vasta paljon myöhemmin kuin voimantuotto alkaa. Teoreettinen reagointiaika oli Pain ym. tutkimuksen mukaan alle 85 millisekuntia. Juoksija voi aloittaa pienen voimantuoton jo ennen lähtösignaalia, mutta lähtöä ei tuomita vilppilähdöksi jos kynnyksäraja ei ole ylittynyt. Kynnyksärajan laskemisella saavutettaisiin etuja, joilla pienikin lihaksen esijännitys karsittaisiin pois.

Tutkimuksen johtopäätöksenä voidaan todeta, ettei tietyn lihaksen suoralla mittauksella pystytä saamaan tarkkoja tuloksia ja parannuksia vilppilähtömenetelmään. Saman lihaksen puolierot etummaisen ja takimmaisen jalan välillä ovat epäsäännölliset eivätkä ne korreloi nyky menetelmällä mitattuun

reaktioaikaan. Ainoaksi lisätutkimusta vaadittavaksi jää kynnyksrajaa laskemisesta aiheutuvat haitat ja hyödyt. Esijännityksen minimointi vastaa lähemmäksi sitä teoreettista arvoa, joka on määritetty parhaimmaksi reaktioajaksi Pain ym. (2006) tutkimuksessa. Esijännitys pienentää keskimääräistä motorista aikaa. Hieman kynnyksrajaa alapuolella tapahtuva esijännitys ja voimatason pieni nosto alle kynnyksrajaa saattavat aiheuttaa yli 30 millisekunnin edun kilpailijoihin nähden. Jos kynnyksrajaa lasketaan 25 kilogrammasta jopa 15 kilogrammaan, voidaan olettaa että vastaavasti myös vilppilähdön rajaa 100 millisekunnista voidaan laskea jopa 20 millisekunnilla. Tällöin voidaan eliminoida koko kehon aiheuttamat liikehdinnät sekä yhteisvoimat, jotka jättävät pois oletukset ja arvailut lähdön ennakoinnista.

8 LÄHTEET

- Baumann, W. 1979. Sprint start characteristics of female sprinters. International seminar in biomachanics of sport games and sport activities. 80-86.
- Enoka, R. M. 2002. *Neuromechanics of Human Movement*, third edition. 219-224, 229-235, 247-253, 285-291, 299, 435-439.
- Fozard, J. L., Vercruyssen, M., Reynold, S. L., Hancock, P. A., Quilter, R. E. 1992. Age Differences and Changes in Reaction Time: The Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Gerontol* 1994;49(4):179-189.
- Gatton, M., Percy, M.J., Pettet, G.J. 1999. Difficulties in Estimating Muscle Forces from Muscle Cross-Sectional Area: An Example Using the Psoas Major Muscle. *Spine* 1999; Jul 15;24(14):1487-93.
- Guissard, N., Hainaut, K. 1992. EMG and mechanical changes during sprint start at different front block obliquities. *Sport and Science in Sport and Exercise* 24(11):1257-1263.
- Gutiérrez-Davila, M., Dapena, J. 2006. The Effects of Muscular Pre-Tensing on the Sprint Start. *Journal of Applied Biomechanics* 2006; 22:194-201.
- Henry, M. F. 1952. Force-time characteristics of the sprint start. *Res Q*; 21:301-312.
- IAAF Competition Rules 2010-2011.
<http://www.iaaf.org/competitions/technical/regulations/index.html>
- Kawama, K-N. 1995. Effects of time uncertainly and instructed muscle tension on fractionated reaction time. *Japanese Psychological Research* 1996; 38(4):234-239.
- Kimura, K., Imanaka, K., Kita, I. 2002. The effects of different instructions for preparatory muscle tension on simple reaction time. *Hum Mov Sci* 2002; 21(5-6):947-60.
- Komi, P., Ishikawa, M., Salmi, J. 2007. Audiotry reaction times and neuromuscular functions in sprint start: validation of the false start detection systems. A research plan prepared for the IAAF.
- Marieb E.N., Hoehn K. 2007. *Human Anatomy & Physiology*, Seventh Edition. 290-291, 389.
- McFarlane, B. 2001. Women´s 100m hurdles. *Modern Athlete and Coach* 39(4), 13-18.

- McMorris, T. 2004. Acquisition and performance of sports skills. 80.
- Mero, A., Komi, P. 1990. Reaction time and electromyography activity during a sprint start. *Eur J Appl Physiol* 1990; 61:73-80.
- Mero, A., Kuitunen, S., Harland, M., Kyröläinen, H., Komi, P. 2005. Effects of muscle – tendon length on joint moment and power during sprint starts. *Journal of Sports Sciences* 2006; 24(2):165-173.
- Mero, A., Peltola, E., Saarela, J. 1987. Nopeus- ja kestävyys harjoittelu. Jyväskylä: MERO OY. 23-30, 133.
- Nicol, C., Komi, P. 1998. Significance of passively induced stretch reflexes on achilles tendon force enhancement. *Muscle & Nerve* 21: 1546-1548.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A., Björkqvist, S-E. 1997. Ihmisen fysiologia ja anatomia 8.-11.painos. WSOY. 64, 518, 546-547.
- Pain, M. T. G., Hibbs, A. 2006. Sprint starts and the minimum auditory reaction time. *Journal of Sports Sciences* 2007; 25(1):79-86.
- Rammsayer, T. H., Bahner, E., Netter, P. 1995. Effects of Cold on Human Information Processing: Application of a Reaction Time Paradigm. *Integr Physiol Behav Sci* 1995;30(1):34-45.
- Sharkey, B. J., Gaskill, S. E. 2007. Fitness and health 6th ed. Hong Kong. Human Kinetics. 145-146.
- Suzuki, T., Qiang, Y., Sakuragawa, S., Tamura, H., Okajima, K. 2005. Age-related Changes of Reaction Time and p300 for Low-contrast Color Stimuli: Effects of Yellowing of the Aging Human Lens. *J Physiol Antropol* 2006;25(2):179-87.
- Tun, P.A., Lachman M. E. 2005. Age Differences in Reaction time and Attention in a National Telephone Sample of Adults: Education, Sex and Task Complexity Matter. *Dev Psychol* 2008;44(5):1421-1429.