

**ERITYYPPISTEN ALKUVERRYTTELYJEN AKUUTIT  
VAIKUTUKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN  
TOIMINTAAN JALKAPALLOMAALIVAHDEILLA**

**Jarmo Keränen**

**Pro gradu**

**Syksy 2010**

**Liikuntabiologian laitos**

**Jyväskylän yliopisto**

**Työn ohjaajat:**

**Jarmo Piirainen**

**Vesa Linnamo**

## TIIVISTELMÄ

**Keränen, Jarmo 2010. Erityyppisten alkuverryttelyjen vaikutukset hermolihasjärjestelmän toimintaan jalkapallomaalivahdeilla. Biomekaniikan Pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. 49 s.**

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli vertailla erityyppisten alkuverryttelyjen vaikutuksia hermolihasjärjestelmän toimintaan jalkapallomaalivahdeilla. Perinteinen alkuverryttely (TRAD) toteutettiin matalaintensiteetisellä hölkällä sekä staattisilla venytyksillä ja aktivoiva alkuverryttely (ACT) toteutettiin korkeaintensiteetisillä harjoitteilla sekä dynaamisilla venytyksillä. Kymmenen miespuolista jalkapallomaalivahtia (18 - 34 vuotiaita) suorittivat kaksi erityyppistä alkuverryttelyä satunnaisessa järjestyksessä ja testien välillä oli eroa 48 tuntia. Alkuverryttelyiden jälkeen mitattiin maksimaalinen tahdonalainen voima (MVC), nopea voimantuotto (RFD) ja maksimaalinen EMG medial gastrocnemius -, rectus femoris -, biceps femoris - ja soleuslihaksesta. Maksimi M-aalto ja V-aalto (voluntary wave) mitattiin soleuslihaksesta isometrisessä penkkiprässissä MVC:n aikana sähköstimulointia hyväksi käyttäen. H-refleksi (Hoffman reflex) ja M-aalto mitattiin levossa seisoma-asennosta. Lisäksi mitattiin reaktio-liikeajat sekä staattinen tasapaino. Analysoitu data osoitti, että reaktio-liikeajat paranivat molemmissa olosuhteissa ja RFD (ACT 23.3 % vs. TRAD -6.3 %) ja RFD:n aikaiset maksimaaliset EMG-vasteet gastrocnemius-lihaksessa (ACT 28.4 % vs. TRAD -9.7 %) penkkiprässin aikana paranivat merkittävästi ACT:n jälkeen, ACT ( $P < .05$ ). Suhteellinen muutos V/Mmax-suhteessa korreloi suhteelliseen RFD:n nousuun ( $r = .705$ ,  $P < .05$ ) ACT:n jälkeen. Kummallakaan alkuverryttelyllä ei ollut merkittäviä muutoksia MVC:hen, H-refleksiin, reaktioaikoihin tai staattiseen tasapainoon. Näiden tulosten mukaan korkeaintensiteettinen alkuverryttely lisää keskushermoston hermostollista ohjausta ja tätä kautta parantavat myös RFD:tä vaikka tämä ei kuitenkaan selvästi näkynyt maalivahtien reaktioaikojen ja torjuntasuoritusten suoritusten paranemisena.

Avainsanat

Alkuverryttely, RFD, MVC, V-aalto

## ABSTRACT

**Keränen, Jarmo 2010. Acute effects of different warm-up protocols on neuromuscular functions in soccer goal keepers. Master thesis in Biomechanics. University of Jyväskylä, Department of Biology of Physical activity. 49 pages.**

The purpose of this study was to compare the acute effects of different warm-up protocols on neuromuscular functions in soccer goalkeepers. Two different warm-up protocols were utilized traditional warm-up consisting low intensity running plus static stretching (TRAD) and active dynamic exercise performance (ACT). Ten male soccer goalkeepers (age 18-34) performed two different warm-ups in random order on nonconsecutive days. After the warm-ups, maximum voluntary contraction (MVC), rapid force development (RFD) and maximal EMG from the medial gastrocnemius, rectus femoris, biceps femoris and soleus muscles as well as maximal M-wave and V-wave from the soleus muscle were measured in isometric bench press. Rest H-reflex and M-wave were measured in standing rest conditions. In addition, reaction-movement times and static balance control were measured. Results showed that reaction movement times were enhanced in both conditions and RFD (ACT 23.3 % vs. TRAD -6.3 %) and RFD maximal EMG responses in the gastrocnemius muscle (ACT 28.4 % vs. TRAD -9.7 %) during leg bench press were enhanced significantly more following ACT ( $P < .05$ ). Relative change in V/Mmax-ratio correlated with relative increment of the RFD ( $r = .705$ ,  $P < .05$ ) after the ACT warm up. Gastrocnemius EMG during MVC was significantly lower after TRAD ( $22.8 \pm 21.2$  %  $p < .05$ ). No other changes were observed in any muscles after both warm-ups. There were no significant changes in MVC, H-reflex, reaction times or in balance control in both warm-ups. These results suggest that high intensity warm up will increase the neural drive from central pathways and thus increase the rapid force development. This was not, however, clearly seen as improvement in performance simulating actual game situation of soccer goalkeepers.

Key words

Warm up, RFD, MVC, V-wave

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	JALKAPALLOILIJAN PERUSOMINAISUUDET.....	7
	2.1 Jalkapallosuoritus.....	7
	2.2 Reaktioopeus.....	7
	2.3 Tilannenopeus.....	9
	2.4 Liikkuvuus.....	10
	2.5 Tasapaino.....	11
	2.6 Koordinaatio ja ketteryys.....	11
	2.7 Aistit ja motorinen kyvykkyys potkusuurituksessa.....	12
3	ALKUVERRYTTELY.....	13
	3.1 Alkuverryttelyn tarkoitus.....	13
	3.2 Venytystekniikat.....	14
	3.2.1 Staattinen venytys.....	14
	3.2.2 Dynaaminen venytys .....	14
	3.2.3 Ballistinen venytys.....	14
	3.2.4 PNF-menetelmät.....	15

4	PROPRIOSEPTISTEN AKTIVITEETTIEN VAIKUTUKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN.....	17
	4.1 Tasapainoharjoittelun krooniset vaikutukset .....	17
	4.2 Tasapainoharjoittelun akuutit vaikutukset.....	18
	4.3 Staattisen venytyksen akuutit vaikutukset.....	20
	4.4 Dynaamisen venyttelyn akuutit vaikutukset.....	23
	4.5 Dynaamisen harjoituksen akuutit vaikutukset.....	24
	4.6 Yhteenveto proprioseptisistä vaikutuksista.....	25
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA ONGELMAT.....	27
6	LÄHTEET .....	28

# 1 JOHDANTO

Alkuverryttelyn yleiset periaatteet urheilijoiden valmistautumisessa suoritukseen on maailmanlaajuisesti hyväksytty kaikissa urheilulajeissa. Nykyään harva urheilija yrittää harjoitella tai kilpailla ilman ”warm-upia”. Kuitenkin, samalla kun yleiset periaatteet alkuverryttelyn ympärillä pysyvät hyväksytyinä, laaja määrä todisteita nostaa esiin kysymyksiä nykykäytännöistä ja antaa mahdollisia vaihtoehtoja parantaa niitä. Hyvin suunnitellulla alkuverryttelyllä on positiivisia vaikutuksia suoritukseen; parantunut nopea voimantuotto (RFD) ja reaktioaika (Asmussen ym. 1976), parantunut lihasvoima ja teho (Enoka 2008, 305), alentunut lihasten viskositeetti ja parantuneet aineenvaihdunnalliset reaktiot (Enoka 2008, 305-306).

Optimaalinen warm-up vaihtelee urheilulajien kesken ja tämä täytyy ottaa huomioon lajin fysiologisten ja biomekaanisten vaatimusten mukaan. Perinteinen alkuverryttely on keskittynyt energiasysteemiin ja lihaksen fysiologisiin prosesseihin ja jättänyt huomioimatta alkulämmittelyn neurologiset näkökulmat. (Jeffrey 2007).

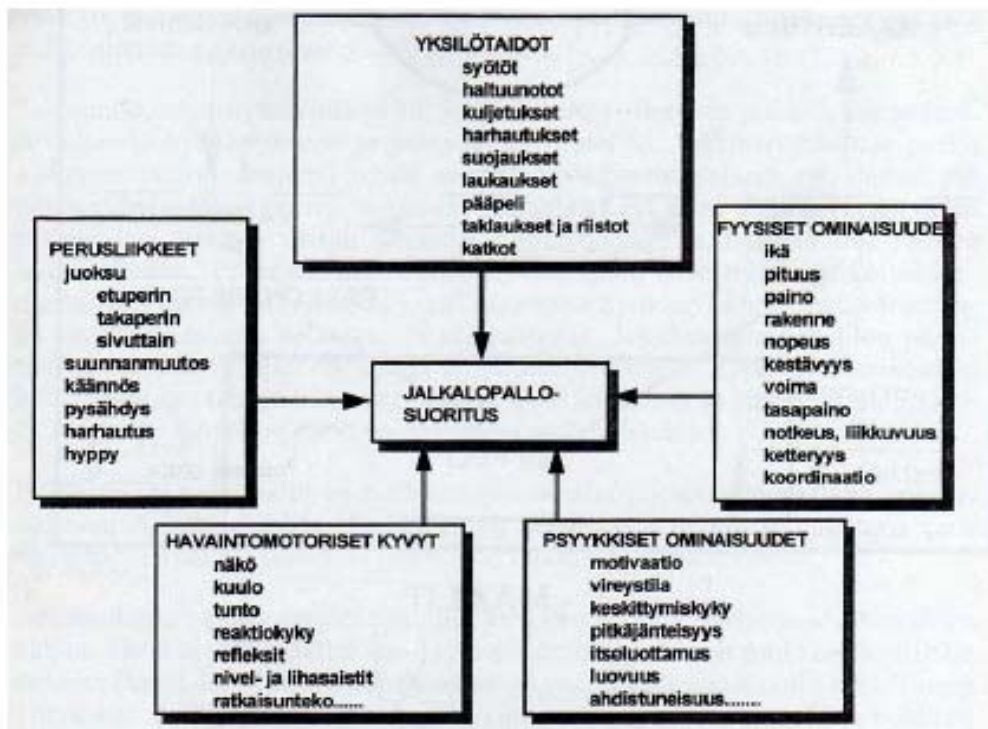
Huippu-urheilussa jalkapalloilijan on hallittava monipuoliset yksilötaidot ja liikkumisen edellyttämät perusliikkeet heti ottelun alkuhetkistä lähtien, joten ottelua edeltäneet valmistavat toimenpiteet ovat keskeisessä asemassa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kahden erityyppisen alkulämmittelyn vaikutuksia 18 – 34 – vuotiaiden jalkapallomaalivahtien hermolihasjärjestelmän havaintomotorisiin kykyihin (reaktionopeuteen ja refleksivasteisiin) sekä fyysisiin ominaisuuksiin (RFD:hen, tasapainoon ja ketteryyteen). Tavoitteena on tätä kautta saada uutta tietoa 18 – 34 - vuotiaiden jalkapallomaalivahtien optimaalisen alkuverryttelyrutiinin kehittämiseen.

## 2 JALKAPALLOILIJAN PERUSOMINAISUUDET

### 2.1 Jalkapallosuoritus

Jalkapalloilijan on hallittava monipuoliset yksilötaidot ja liikkumisen edellyttämät perusliikkeet (kuva 1). Kumpikin aihekokonaisuus sisältää motorisia valmiuksia, joiden oppimisen on jakauduttava koko pelaajauran ajalle. (Luhtanen 1996, 13)



Kuva 1. Jalkapallosuoritukseen vaikuttavia tekijöitä on useita (Luhtanen 1996, 13)

### 2.2 Reaktionopeus

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 arvokilpailussa saadaan välittömästi laukauksen jälkeen reaktioajat kuuloärsykkeeseen. Lyhimmät reaktioajat pikajuoksussa ovat hieman yli 0.100 sekuntia ja kyseistä rajaa pidetään vilppilähdön rajana. (Keskinen ym. 2004, 164.)

Tyypilliset reaktioaikojen vaihtelualueet ovat seuraavat:

Kuuloreaktio 0.100-0.160 s

Näköreaktio 0.140-0.200 s

Valintareaktio 0.180-0.240 s

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

Reaktionopeus tarkoittaa urheilijan kykyä reagoida mahdollisimman nopeasti ulkoiseen ärsykkeeseen, mitä mitataan yleensä reaktioajalla. Reaktioaika alkaa ärsykkeestä ja loppuu toiminnan alkamiseen. Ärsykkeeseen reagointi voi tapahtua vain yhdellä tavalla (esim. pikajuoksun lähtö; yksinkertainen reaktio) tai jalkapallon tapaan siten, että toimintamalleja on useita (valintareaktio) (Mero ym. 1987, 18). Esimerkkejä reaktionopeudesta pelitilanteessa on pelaajan nopea ja oikea reagoiminen vastustajan harhautukseen, joukkuekaverin syötön haltuunottoon tai laukaisu suoraan syötöstä. Reagointiin vaikuttavat jalkapalloilijan tekninen ja taktinen valmius, pelinlukutaito, aloite-, päätöksenteko-, havainnointi- ja tasapainokyky sekä motivaatio (Luhtanen & Miettinen 1987, 55). Visuaalinen kenttä on silmin havaittu alue ja se voidaan jakaa sentraaliseen osuuteen ja reunaosuuteen. Moni joukkuepelaaja kerää ääreisnäkökentällä tietoa ympärillä tapahtuvista asioista. Kyky kerätä visuaalista informaatiota visuaalisen näkökentän reunoilta mahdollistaa pelaajien nopean ja sopivan vasteen ja se on tärkeää paremmassa urheilusuorituksessa. Monet tutkijat (esim. Ando ym. 2008) ovat raportoineet akuutin harjoittelun vaikutuksia ihmisen havainto-motoriseen suoritukseen. Harjoitustason lisääntyminen nostaa vireystilaa, joka puolestaan vaikuttaa havainto-



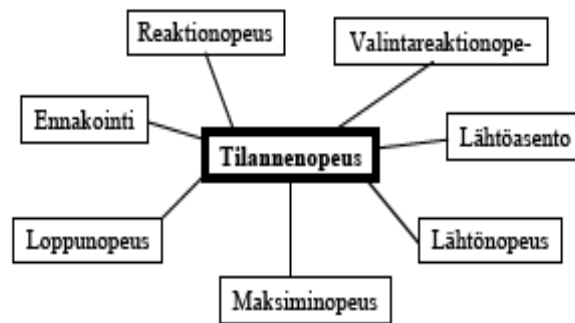
motoriseen suoritukseen. On väitetty, että vireystilan nousu voi johtaa kaventuneeseen huomioalueeseen, jolloin ympäristön perifeerisen alueen signaalit progressiivisesti eliminoidutvat. (Ando ym. 2008). Reaktionopeus ja valintareaktionopeus ovat kehittyneet pelaajan perimän ja harjoitustaustan mukaisella tavalla. Ne eivät huipputasolla ole juurikaan harjoittelulla parannettavissa. (Luhtanen 1996, 113)

### **2.3 Tilannenopeus**

Jalkapallossa on useita eri pelinaikaisia suorituksia, joissa tapahtuman reagointiin ja suorituksen vaatimaan toimintaan jää todella minimaalisesti aikaa, jopa vain muutamia satoja millisekunteja. Pelitilanteissa tilannenopeus (kuva 2) riippuu lihasten energiavarojen lisäksi myös erityisen paljon pelaajan havaintomotorisista tekijöistä ja ratkaisunteen nopeudesta. Paras pelaajakombinaatio on sellainen, jossa pelaaja on nopea fyysisesti ja havaintomotorisesti. Tilanteen ennakoitinopeus paranee lajikokemuksen myötä. Pelissä tämä nopeuden osa tarkoittaa kykyä lukea peliä pelin aikana ja kykyä löytää lähtömerkki pelistä muita ennen. (Luhtanen 1996, 113)

Nopeusharjoittelussa pelinopeutta kehitetään kaikilla sellaisilla harjoitteilla ja pelitilanteilla, jotka kehittävät tilannenopeutta. Jalkapalloilijan nopeus kentällä lisääntyy kun hänen juoksutekniikkansa, notkeutensa ja niveltensä liikkuvuus paranevat ja kun lihasten pika- ja räjähtävävoima lisääntyvät. Nopeuden kehittämiseen tähtäävässä harjoittelussa vahvistetaan pelissä tarvittavia lihaksia, etenkin juoksussa tarvittavia lihaksia. Juoksunopeuden kasvu merkitsee useimmiten myös lisäystä pelinopeudessa.

Jalkapallossa on erittäin tärkeää kehittää reaktionopeutta näköreaktioon perustuvilla harjoitteilla. Harjoituksen päälinjoihin kuuluu keskittyminen, reaktioharjoitteiden sijoittaminen alkuverryttelyyn ja sen jälkeen, näköärsyksen monipuolinen ja lajinomainen käyttäminen sekä ärsykeaikojen vaihtelu. Keskittymis- ja rentoutusharjoituksia voidaan käyttää lisäharjoitteina. (Luhtanen 1996, 118)



Kuva 2. Tilannenopeuteen vaikuttavia tekijöitä. (Luhtanen & Miettinen 1987.)

Tilannenopeuteen jalkapallossa vaikuttaa moni eri asia, kuten ennakointi, lähtönopeus ja maksiminopeus. Mitä parempi pelaaja on, sitä lyhyempi on hänen reaktio – ja valinta-aikansa. (Luhtanen & Miettinen 1987).

## 2.4 Liikkuvuus

Yleisliikkuvuus tarkoittaa liikkuvuutta yleisellä tasolla ja lajikohtainen liikkuvuus tarkoittaa lajille tyypillistä erityisnotkeutta, jalkapallossa esimerkiksi lonkkanivelen liikkuvuus. Liikkuvuutta voidaan parantaa erilaisilla venyttelyharjoituksilla. Ennen liikkuvuusharjoittelua tulee suorittaa verryttely, jolloin lihasten ja muiden kudosten lämpötila kasvaa ja parantaa siten nivelen liikkuvuutta. Liikkuvuusharjoitus voi olla joko kehittävä tai säilyttävä. Kehittävässä liikkuvuusharjoituksessa voidaan käyttää sekä aktiivisia että passiivisia harjoitteita (10 – 15 kpl) ja suorituksen kesto 30 – 120 sekuntia. Sarjoja 3 -5 / harjoite ja toistoja 15 – 20. Säilyttävässä liikkuvuusharjoitteessa (alkuverryttelyn yhteydessä) käytetään lyhytkestoisia venytyksiä (5 – 10 s), loppuverryttelyn yhteydessä venytykset ovat keskipitkiä (10 - 30 s). Hyvällä liikkuvuudella on positiivinen vaikutus taitoon, nopeuteen, voimaan ja kestävyys ja lisäksi se ehkäisee loukkaantumisia. Hyvä liikkuvuus on myös olennainen osa kehon normaalia toimintaa ja se mahdollistaa laajat liikeradat vähäisillä kudosten aiheuttamilla vastuksilla. (Suomen Palloliiton valmentajakoulutusmateriaali 2003). Hyvä liikkuvuus on myös olennainen osa kehon normaalia toimintaa ja se mahdollistaa laajat liikeradat vähäisillä kudosten aiheuttamilla vastuksilla. (Vuori 2005.)

## 2.5 Koordinaatio ja ketteruus

Koordinaatio on monimutkainen biomotorinen kyky, joka liittyy läheisesti nopeuteen, voimaan, kestävyYTEEN ja joustavuuteen. Koordinaation fysiologinen perusta on keskushermoston hermostoprosessien koordinaatiossa (Bompa 1999, 380). Urheilijan liikkeet, tahdonalaiset tai refleksit, yksinkertaiset tai monimutkaiset, ovat lihassupistusten tulosta ja ne voivat joko kiihdyttää liikkeitä tai hillitä niitä. Monimutkaisemmat liikkeet, joita urheilija ei ole vielä automatisoinut, rajoittuvat tiettyihin tekijöihin, erityisesti koordinoimattomiin ärsytyksiin, jotka puolestaan vaikuttavat agonistien ja antagonistien osallistumisen tasoon ja tuloksena on kontrolloimattomat ja heikosti koordinoituneet liikkeet. Säädelty motorinen aktiivisuus saa aikaan tarkan ja nopean reaktion stimulukseen. Useiden taidollisten tai teknisten toistojen tuloksena ärsytyksen ja inhibition hermostoprosessit tulevat koordinoitummiksi ja se aiheuttaa vakaan, tehokkaan ja tarkan motorisen taidon. (Bompa 1999, 380). Keskinen ym. mukaan (2007, 187) koordinaatiolla tarkoitetaan hermo-lihasjärjestelmän kykyä tuottaa tarkoituksenmukaisia liikkeitä.

Jalkapallossa ketteruus tarkoittaa nopeaa ja tasapainoista asennon ja suunnan muuttamista, se lisää liikevalmiutta, tilannenopeutta ja tehoa suoritukseen ja on siten tärkeä ominaisuus jalkapalloilijalle. Koordinaatio tarkoittaa jalkapallossa monipuolista sekä rytmistä että eriytmistä juoksu- ja liikkumistaitoa sekä pallonkäsittelykykyä esimerkiksi syöttö- ja laukaustilanteissa. Koordinaatio yhdistyy ketteryyteen esimerkiksi harhautuksissa. (Suomen Palloliiton koulutusmateriaali 2005b.)

## 2.6 Tasapaino

Tasapainolla tarkoitetaan kykyä ylläpitää haluttu kehon asento paikallaan ollessa tai liikkeessä. Tasapainon voidaan katsoa olevan osa hermo-lihasjärjestelmän toimintaa yhdessä mm. lihasvoiman, nopeuden, notkeuden, anaerobisen tehon, ketteryyden ja koordinaation (kyky aistia kehon asentoja ja yhdistää liikkeitä toisiinsa eri tilanteissa) kanssa. (Keskinen ym. 2007, 187-188). Jalkapallossa hyvä tasapaino on yksi

tärkeimmistä maksiminopeuden ja tehon sekä varmuuden osatekijöistä. (Suomen Palloliitto 1999, 5.)

Tasapaino liittyy erityisesti sisäkorvan tasapainoelinten (vestibulaarijärjestelmä) kykyyn aistia kehon asentoja ja liikkeitä. Myös näkö sekä pinta- ja niveltunto (somasensoriikka, propioseptiikka) ovat tärkeitä aistijärjestelmiä tasapainon säilyttämisessä. Ikääntyessä näön osuus tasapainon säilyttämisessä korostuu. Kyky säilyttää tasapaino on pikkuaivojen ja muiden eri osien yhteistyön tulosta. Keskushermoston saamansa viestin perusteella välittää viestiä mm. lihaksistolle tasapainon säilyttämiseksi. (Keskinen ym. 2007, 187-188). Tasapaino on tärkeää myös jalkapallossa tarvittavissa käänöksissä (Suomen Palloliiton valmentajakoulutusmateriaali 2005.) Tasapaino voidaan jakaa staattiseen ja dynaamiseen tasapainoon. Normaali tasapaino edellyttää kykyä säilyttää kehon painopiste hallittavissa olevalla alueella sekä paikallaan seistessä (staattinen tasapaino) että liikkeessä (dynaaminen tasapaino). (Suomen Fysioterapeuttiliitto 1998.)

## **2.7 Aistit ja motorinen kyvykkyys potkusuorituksessa**

Aistien ja motorinen kyvykkyuden yhteyttä potkusuorituksessa nuorilla jalkapalloilijoilla tutkivat Zisi ym. (2003). Tutkimuksessa selvitettiin tukijalan reaktivoimia potkun aikana. Arvioitiin reaktioajat yksinkertaiseen, valintareaktioon ja erottelemaan tilanteeseen, huomion ylläpitoon ja syvään aistimiseen sekä asentoaistin tuntuun. Tuloksena löydettiin merkittävä korrelaatio potkuimpulssissa valintareaktioajassa ja huomioreaktioajassa. Merkittävä suhde potkuimpulssissa ja informaation prosessoinnin nopeudessa antoi oletuksen että nopealla vasteella voi olla tärkeä rooli potkusuoritukseen. Nämä löydökset voivat välittää hyödyllistä tietoa suunnitellussa harjoittelua ja testauskäytäntöjä. (Zisi ym. 2003).

## 3 ALKUVERRYTTELY

### 3.1 Alkuverryttelyn tarkoitus

Alkulämmittelyllä tarkoitetaan harjoittelua, liikkeitä tai liikekokonaisuuksia, jotka auttavat urheilijaa saavuttamaan kehon toiminnan kannalta parhaan mahdollisen valmiustilan harjoitus- tai kilpailusuoritusta varten (Saari ym. 2009, 3). Alkulämmittelyn aikana kehossa tapahtuu verenkierron lisääntymistä elimistön lämpötilan nousua sekä hengitystiheyden nousua. Lisäksi harjoitettavan alueen lämpötilan noustessa lihaksiin tietoa vievien ja lihaksista tietoa tuovien hermojen impulssien kulkunopeus kasvaa ja sitä kautta lihasten voimantuottokyky ja proprioseptiikka eli asento- ja liikeaisti tehostuu (Saari ym. 2009, 4). Sen myötä nopeus, reaktiokyky, tasapaino ja räjähtävyys sekä liikkeen taloudellisuus paranevat merkittävästi. Myös keskushermostossa liikkeeseen ja sen kontrolliin vaadittavien aivoalueiden aineenvaihdunta lisääntyy lämmittelyn yhteydessä jos se sisältää lajinomaisia liikeratoja. Lihaksen lämpötilan noustessa, myös lihaksen elastisuus lisääntyy. Alkulämmittelyn yhteydessä tapahtuvassa venyttelyssä tulisi tehdä lyhytkestoisia toiminnallisia venytyksiä. Tällaiset aktiivis-dynaamiset venytysliikkeet vastaavat lajiliikkeitä ja yksi esimerkki toiminnallisesta liikkuvuusharjoituksesta on askelkyykky eteen kädet nostaen. (Hakkarainen ym. 2009, 273).

Oikeanlaisessa liikeharjoittelussa lihasten toiminta herkistyy ja lihaksen elastisen energian hyväksikäyttö tehostuu. Hyvän lämmittelyn on havaittu parantavan tarkkaavaisuutta. Lämmittely aktivoi näkökykyä sekä keskushermoston eri osien yhteistyötä, minkä seurauksena valppauskyky tehostuu. Valppauden lisääntyminen parantaa motorisen toimien koordinaatiota ja tarkkuutta. (Saari ym. 2009, 4). Perrierin (2009) mukaan tähän mennessä vähän tiedetään staattisen ja dynaamisen venytyksen vaikutuksista reaktioaikaan. Kilpaurheilussa, jossa erot voittajien ja häviäjien välillä voi olla pienet, on olennaista, että valmentajilla ja alan ammattilaisilla on tietoa suunnitella paras mahdollinen warm-up rutiini, jolla suoritus maksimoidaan.

## **3.2 Venytystekniikat**

### **3.2.1 Staattinen venytys**

Kaksi perusvenytystä ovat staattinen venytys ja ballistinen (dynaaminen) venytys. Staattinen venytys pitää sisällään lihaksen pitenemisen liikealueen rajoille sekä pitämisen tätä asentoa useita sekunteja (Enoka 2008, 309). Staattinen venytys on venytysmenetelmistä yksinkertaisin ja siinä kudoksiin kohdistetaan tietyn ajan ulkoapäin tuotettu venyttävä voima, joka voidaan aiheuttaa harjoituskumppanin, terapeutin, vetolaitteen, painovoiman, asennon tai muiden raajojen toiminnan avulla. (Ylinen 2002, 43). Staattinen venyttely vaikuttaa suorituskykyyn heikentävästi, (Behm 2004; Faigenbaum 2005; Perrier 2009) mutta mekanismit tämän taustalla eivät ole täysin selvillä. Perrierin (2009) mukaan selvää kuitenkin on, että yhdistelmä mekaanisia ja hermostollisia tekijöitä on staattisella venytyksellä aiheutetun heikentyneen voimantuoton taustalla

### **3.2.2 Dynaaminen venytys**

Dynaamisessa venyttelyssä käytetään raajan tai vartalon liike-energiaa, jotta saavutetaan niiden liikkuvuuden maksimiraja. Toisin kuin ballistisessa venyttelyssä, dynaamisessa venyttelyssä liike on hallittua ja rauhallista eikä siinä ylitetä liikkuvuuden rajaa. Dynaaminen venyttely on hyvä osa esimerkiksi lämmittelyä ennen liikuntasuoritusta ja se lisää dynaamista notkeutta. Dynaaminen venyttely sisältää aktiivisia liikkeitä koko nivelen liikelaajuudella siten, että venytystä ei pidetä ääriasennossa missään vaiheessa. Tällä tavalla voidaan lisätä joustavuutta menettämättä hermolihaskäyttöä. (Perrier 2009)

### **3.2.3 Ballistinen venytys**

Ballistinen venytys on dynaamista venytystä, sisältäen nopeita, toistuvia ja nykiviä lihaksen ja liikeradan rajoilla vaikuttavia liikkeitä. (Costa ym. 2008; Enoka 2008, 309).

Ballistisessa venytysmenetelmässä liikkeen aikaansaavien myötävaikuttajalihasten toistuvat nopeat ja voimakkaat lihassupistukset aikaansaavat vastavaikuttajalihasten venymisen. Voimakas ja nopea venytys aiheuttaa refleksin, jonka vaikutuksesta lihas aktivoituu ja vastustaa venytystä. Ballistinen venytys ei kuitenkaan ole niin nopea, että se provosoisi voimakkaan lihassupistuksen, joka estäisi liikkeen. Lihaksen jännitystaso on kuitenkin huomattavasti korkeampi kuin staattisessa venytyksessä ja jännitysrentoutustekniikalla suoritettussa venytyksessä. Se on vaativa venytystekniikka ja sen suorittaminen edellyttää taitoa, tasapainoa, liikeradan hyvää hallintaa, voimaa ja nopeutta. Lajinomaisena harjoitteluna se on erityisesti jalkapalloilijoiden, painonnostajien, keihäänheittäjien ja monien muiden yleisurheilijoiden suosima venytysmenetelmä. Tämän venytysmenetelmän etuna urheilussa on se, että siinä yhdistyvät venytysharjoittelu ja liikkeen koordinaation harjoittelu. (Ylinen 2002, 50).

### **3.2.4 PNF - menetelmät**

Koska venyttelyharjoitukset yhdistetään usein lihaksen kireyden tunteeseen, jotkut venytystekniikat on suunniteltu parantamaan rentoutta ja sitä kautta lisäämään joustavuutta. Kolme tämäläyppistä harjoitusta on johdettu kuntoutusproseduurista, joka on tunnettu nimellä proprioseptinen neuromuskulaarinen fasilitaatio (PNF). (Enoka 2008, 310). Yksi PNF - menetelmistä on jännitys - rentoutus - venytys (contract – relax - stretch) – tekniikka, joka koostuu venytettävän lihaksen maksimaalisesta isometrisestä supistuksesta, jota seuraa rentoutus ja venytys liikealueen rajoille saakka. (Enoka 2008, 310).

Venytyksessä voidaan käyttää avustajaa tai sen voi suorittaa itse. Henkilö jännittää isometrisesti venytyssuunnan vastakkaiseen suuntaan toimivaa lihasta joko maksimaalisesti tai osittaisella voimalla avustajan estäessä liikkeen. Sen jälkeen lihas rentoutetaan ja niveltä käännetään niin pitkälle, että lihas-jännesysteemi kiristyy uudelleen (Ylinen 2002, 48). Toinen PNF – menetelmä on antagonist – jännitys - venytys (antagonist – contract – stretch), joka vaatii avustajan tai terapeutin avustusta. Henkilö vie nivelen ensin venytettävään asentoon ja jännittää vastavaikuttajalihasta terapeutin estäessä liikkeen, jonka jälkeen henkilö rentouttaa lihaksensa ja vie sitten nivelen uuteen venytysasentoon supistamalla myötävaikuttajalihasta. (Enoka 2008,

310). Kolmas PNF – menetelmä on jännitys - rentoutus, jännitys – venytys, joka on yhdistelmä jännitys - rentoutus ja antagonisti - jännitys – tekniikoista. (Enoka 2008, 310). PNF-venytykset perustuvat uskomukseen että lihassupistus voisi aiheuttaa resiprookkisen inhibition sallien laajemman venytyksen, vaikka nykykirjallisuus ei enää kaikilta osin tuekaan tätä uskomusta. Chalmers (2004) esitti, että venytettävän lihaksen esijännitys tai antagonistin jännitys ei aiheuttaisi riittävän pitkää rentoutumista venytettävään lihakseen. Hänen tutkimuksessaan ilmeni, että H-refleksin ja venytysrefleksin alentumat eivät olisikaan lähtöisin Golgin jänne-elimestä vaan lihasspindelin sensorisen signaalin presynaptisesta inhibitiosta. (Chalmers 2004).



## **4 PROPRIOSEPTISTEN AKTIVITEETTIEN VAIKUTUKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN**

### **4.1 Tasapainoharjoittelun krooniset vaikutukset**

Tasapainoharjoittelua käytetään nykyisin selvästi aiempaa enemmän myös jalkapalloilijoiden fyysisessä harjoittelussa. Yaggie ym. (2006) tutkivat neljän viikon tasapainoharjoittelu-ohjelman vaikutuksia spesifiin toiminnallisiin tehtäviin. Tasapainoharjoittelu paransi suoritusta valittujen urheiluun liittyvien aktiviteettien ja asentokontrollimittauksien osalta. Tasapainoharjoittelu näyttäisi vaikuttavan proprioseptiseen palautteeseen, reaktioaikaan ja lihasvoimaan. Käytetty tasapainoharjoittelu ei kuitenkaan vaikuttanut vertikaalihyppyyn ja se antaa viitteitä siitä, että teholarjeihin ei olisi tasapainoharjoittelusta hyötyä. Yaggien (2006) mukaan tasapainoharjoittelun tavoite on parantaa afferentti-hermoratojen aktiivisuutta, jotta liikkeiden herkkyyks paransi. Käytännöllisesti katsottuna tasapainoharjoittelun hyödyt ovat parantuneessa kontrollin tietoisuudessa ja näin ollen sitä on suositeltavaa käyttää harjoittelutekniikkana tai ohjaavana aktiviteettina harjoittelun ammattilaisille.

Gruber ym. (2004) tutkivat sensomotorisen harjoittelun vaikutuksia RFD:hen ja neuraaliseen aktivaatioon. Kyvykkyys kehittää korkeata lihasvoimaa lyhyessä ajassa on toiminnallisesti tärkeää monissa urheilulajeissa mutta tärkeää myös nivelten stabiliteetin aktivoimisessa. Tutkimuksen tarkoitus oli tutkia spesifiin sensomotorisen harjoittelun adaptaatiota jalan ojentajalihasten räjähtävään voiman laatuun maksimaalisen isometrisen supistuksen aikana. He havaitsivat, että maksimi staattinen jalkavoima ei muuttunut, mutta RFD-max lisääntyi huomattavasti. Parannus RFD:ssä liittyi lisääntyneeseen vastus medialiksen aktiivisuuteen. Parannus hermolihasaktivaatiossa oli huomattava lihastoiminnan alkuvaiheissa. Parantuneen afferenttiaktivaation on pohdittu olevan yksi mahdollinen mekanismi parantuneeseen hermostolliseen aktivaatioon.

Tämän tyyppinen adaptaatio voi olla hyödyllinen useissa urheilu suorituksissa ja parantunut aktivaatio voi myös ennaltaehkäistä loukkaantumisia. (Gruber ym. 2004). Gruber & Gollhofer (2007) tutkivat myös H- ja venytysrefleksin harjoittelu-spesifejä adaptaatioita soleus-lihaksessa. Osallistujat suorittivat neljän viikon tehoharjoittelun (ballistinen voimatreeni) tai tasapainoharjoittelun (sensomotorinen harjoittelu (SMT)). Molemmat harjoittelutavat paransivat tasapainokontrollia ja RFD:tä, kun taas vähentymät venytysrefleksin peak-to-peak amplitudissa ja Hmax:Mmax-suhteessa levossa mitattuna rajoittuivat sensomotoriseen harjoitteluun. Erot refleksiherkkyydessä eri harjoittelussa osoittivat erilaisen adaptaation erilaista hermostollista mekanismia. Vähentynyt refleksiherkkyys SMT:n jälkeen oli aiheutettu supraspinaalilla vaikutuksella. Tutkijat pohtivat mahdollista mekanismia niin, että se johtui lisääntyneestä Ia-afferenttien presynaptisesta inhibitiosta.

Toiminnallinen harjoittelu epävakaalla pinnalla on ollut tärkeä menetelmä kuntoutuksessa ja parannuskeino koordinaatioon ja hermolihasmallien rekrytointiin (Holm ym., 2004; Mattacola & Dwyer, 2002; Strojnik ym., 2002). Lisäksi hermolihasmekanismilla on merkittävä rooli tasapainossa ei vain liikkumattomuudessa, vaan myös liikkeen aikana (Holm ym. 2004; Mattacola & Dwyer, 2002).

## **4.2 Tasapainoharjoittelun akuutit vaikutukset**

Erilaisten sensomotoristen harjoitusten akuutteja ja pitkäkestoisia vaikutuksia hermolihaskäytännön suorituskykyyn tutki Zemkova (2009) käyttämällä erilaisia tasapainoharjoitteita. Asentoon liittyvää stabiliteettia arvioitiin sekä staattisissa että dynaamisissa olosuhteissa käyttäen huojuntalevyä ja satunnaisesti liikkuvaa alustaa. Löydöksenä he totesivat, että pitkään kestävä alaraajoihin kohdistuva proprioseptinen stimulaatio heikentää staattista tasapainoa mutta väliaikaisesti parantaa dynaamista tasapainoa. Samassa tutkimuksessa arvioitiin tehtävääorientoituneen proprioseptisen harjoituksen vaikutuksia sensomotorisiin parametreihin ja johtopäätös oli, että tällainen harjoitus akuutisti parantaa sensomotorista suoritusta harjoituksen aikana.

Johtopäätöksenä Zemkovan tutkimuksessa todettiin, että proprioseptiikan tehostunut toiminta parantaa hermosäätelyn toimintaa, joka johtaa parempaan motoneuronien syttymistasoon ja motoristen yksiköiden aktivaation synkronisaatioon. Maior ym. (2009) tutkivat hermolihasktivaatiota jalkakyykkyharjoituksen aikana epästabiililla alustalla (kuva 3). Tutkimuksen tarkoitus oli vertailla quadriceps-lihasten lihasaktiivisuutta kyykkyharjoituksessa sekä epästabiililla tasolla että ilman. Tulokset osoittivat huomattavasti suuremman lihasaktivaatiotason epästabiililla pinnalla. Tulosten mukaan epästabiiliutta voi olla hyvä liittää joihinkin voimaharjoittelujaksoihin lihasaktiivisuuden lisäystä varten. Tutkimukset ovat olleet ristiriitaisia ja mm. Behm ym. (2002) ja Anderson & Behm (2004) esittivät kolme hypoteesia sille, että epästabiililla alustalla on alemmat lihasvoimat; 1) kontrolli, ylläpito sekä raajojen ja nivelten tasapaino ovat yhdessä 2) afferenttien 1b (interneuronin inhiboiva 1b) aktivaatio, joka nousee golgin jänne-elimessä, inhiboi agonistia ja kiihdyttää antagonistia. 3) EMG-mittaukset ilman hermosysteemin adaptaatiota. Epästabiililla alustalla harjoittelu aiheuttaa proprioseptisen systeemin laajimman aktivaation pääosin staattisessa aktiviteetissa afferenttien johdosta (Magnusson ym., 1996; Vrhagen ym., 2005). Lisäksi tutkijat ovat osoittaneet nämä potentiaaliset vaikutukset dynaamisissa aktiviteeteissa (Heitkamp ym., 2001; Soderman ym., 2000).



Kuva 3. Epästabiililla alustalla suoritettu kyykkyharjoitus. (Maior ym. 2009)

### 4.3 Staattisen venytyksen akuutit vaikutukset

Alkuverryttelyjen yhteydessä suoritetuista venyttelyistä ja niiden tehokkuudesta on monenlaisia tutkimustuloksia ja näiden tutkimusten rajoitteena ovat usein venyttelyjen kestojen vaihtelut. Samuel ym. (2008) lähtivät tutkimuksessaan selvittämään akuutin staattisen ja ballistisen venyttelyn vaikutuksia kevennyshyppyyn sekä alaraajojen tehoon ja voimantuottoon. He saivat hieman ristikkäisiä ja yllättäviä tuloksia, sillä kummallakaan venytyksellä ei ollut vaikutusta kevennyshyppyyn eikä voimantuottoon, mutta toisaalta venyttelyt heikensivät alaraajojen tehoa. Alpkaya ym. (2007) selvittivät akuutin staattisen venytyksen vaikutusta reaktioaikaan ja voimantuottoon. Tulosten perusteella 15 sekunnin kestoisilla staattisilla venytyksillä ei ollut vaikutusta reaktioaikaan eikä räjähtävän voiman tuottoon.

Behm ym. (2004) tutkivat akuutin staattisen venytyksen vaikutusta voimaan, tasapainoon (proprioseptiikkaan), reaktioaikaan ja liikeaikaan. Tutkimuksessa tarkasteltiin quadricepsin, hamstringin ja plantar flexorin venytystä 3\*45 sekunnin jaksoissa ja 15 sekunnin palautuksilla kullekin lihasryhmälle. Tutkimuksessa ei löydetty merkittäviä eroja MVC:ssä venyttelyryhmän ja kontrolliryhmän välillä eikä myöskään kyvykkyydessä saavuttaa submaksimaalisia voimia. Venyttelyllä oli kuitenkin huomattava heikennys tasapainoon, kuten myöskin reaktio- ja liikeaikaan. Johtopäätöksenä Behm ym. totesivat, että akuutit venyttelyjaksot heikensivät saavutettuja alkuverryttelyvaikutuksia tasapainon, reaktioajan ja liikeajan osalta. Tasapaino sisältää vuorovaikutusta automaattisen asennonpidon ja kehon sekä raajojen lihasten tahdonalaisen motoristen käskyjen välillä. Bloem ym. spekuloiivat, että polvet, lantio ja keho aloittavat liikkeet ennen automaattista asentovastetta. Keskushermosto suorittaa ennakoivaa asentokorjausta, kun se odottaa itse-aiheutettua asennon häirintää. Venyttämällä aiheutettu reaktio- ja liikeajan heikennys voi liittyä samanlaiseen mekanismiin kuin tasapainon häirinnässä. On hyvin epätodennäköistä, että valostimuluksen visuaalinen ja sitä seuraava keskushermoston aktivointi jalan liikuttamiseen voisi laskea venytyksen vaikutuksesta. Lisääntynyt motoneuronien inhibitio vaikuttaa korkean kynnyksen nopeasti supistuviin motorisiin yksiköihin ja tämä voi siis olla osallinen venytyksellä aiheutettuun reaktio- ja liikeajan laskemiseen.

Monet tutkimukset ovat osoittaneet alkuverryttelyjä seuraavien suoritusten olevan ristiriitaisia. Vaikka suurin osa osoittaa, että kehon lämpötilan noustessa suoritus paranee, niin osa tutkimuksista osoittaa inhiboiviakin vaikutuksia alkuverryttelyjen jälkeen. Nämä ristiriitaiset tulokset voivat olla epäjohdonmukaisia harjoitustyypin, intensiteetin, keston tai näiden yhdistelmän suhteen alkulämmittely-proseduurissa. Alkulämmittely voi tuottaa hermon johtumisnopeuden kasvua ja se puolestaan voi parantaa nopeusvastetta tasapainohäiriöitä vastaan yhtä hyvin kuin osallistua reaktio- ja liikeajan parannuksiin. (Behm 2004).

Costa ym. (2009) tutkivat eripituisten staattisten venytysten vaikutuksia dynaamiseen tasapainoon. Venyttelysessiot sisälsivät polkupyöräergometri - lämmittelyn ja sitä seurasi passiivinen alaraajojen venyttely. Venytykset toteutettiin kahdella eri tavalla, joko pitämällä venytysasentoa 15 sekunnin ajan tai pitämällä venytysasentoa 45 sekunnin ajan. Venytys toistettiin kolme kertaa ja pidettiin 15 sekuntia taukoa venytysten välissä. Kontrolliryhmään kuuluvat suorittivat saman lämmittelyn ilman venytyksiä. 15 sekunnin olosuhteet tuottivat merkittävän parannuksen tasapainosuorituksessa. 45 sekunnin venytys eikä kontrolliryhmä eivät saavuttaneet merkittäviä vaikutuksia tasapainosuoritukseen. Venyttely interventio 15 sekunnin pidolla voi parantaa tasapainosuoritusta vähentämällä huojuntaepätasapainoa. Staattisen venytyksen ja juoksemalla tehdyn alkuverryttely-harjoituksen akuutteja vaikutuksia akillisjänteen refleksiaktiivisuuteen selvitettiin Rosenbaumin ym. (1995) tutkimuksessa ja johtopäätöksenä he totesivat, että staattinen venytys voi alentaa vammautumisriskiä, mutta huippuvoima, nopea voimantuotto ja emg-aktiivisuus vähenivät ja emg-latenssiajat kasvoivat verrattuna kontrolliryhmään.

Staattinen lihasjännitys ylläpitää asentoa ja jännityksen riittävän suuri muutos saa aikaan liikkeen. Ylisen (2002) mukaan lihassukkulalla ja Golgin jänne-elimellä on tärkeä merkitys lihaksen toiminnan säätelyssä. Ne ovat aistinelimiä, joiden tehtävä on välittää informaatiota lihasjännityksestä. Lihasseijasteet (myotatic reflexes) liittyvät lihasjännityksen säätelyyn. Staattinen venytys parantaa liikkuvuutta, mikä johtuu sidekudosten mekaanisesta venyttymisestä ja lihaskäämireseptorien venyttymisestä. Tämä vähentää lihaskäämireseptorien aktiivisuutta, joka vähentää puolestaan lihakseen tulevan liikehermon aktiivisuutta. Jännitys-rentoutusvenytys ja ballistinen venytys

vaikuttavat eri tavalla, koska aktiivinen lihassupistus aktivoi sekä Golgin jänne-elimä että lihaskäämireseptoreita. (Ylinen 2002, 34).

Etnyre ym (1986) tutkivat H-refleksin vaihtelua staattisessa venyttelyssä ja kahdessa PNF-variaatiossa. Kolmen erilaisen venytysmenetelmän vaikutuksia soleus-lihaksen motoneuronaltaan ärsyyntyvyyteen Hoffmanin refleksillä mitattuna vertailtiin keskushermoston vaikuttaa edistäen lihas mukautumaan pitenemiseen. H-aalto laski hitaasti staattisen venytyksen aikana. Supistus-rentoutusmenetelmä (CR) tuotti perusteellisen inhibition supistuksen jälkeisillä useiden satojen millisekuntien aikana, mutta asteittain lisääntyi samoihin arvoihin kuin oli staattisessa venytyksessä (SS) kaksi sekuntia supistuksen jälkeen. H-refleksin arvot CRAC-menetelmällä (contract-relax-antagonist-contract) olivat suuresti laskeneet venytysvaiheessa pienellä lisäyksellä kahden sekunnin jälkeen. Johtopäätöksenä todettiin, että useilla inhiboivilla hermostollisilla vaikutuksilla voi olla lisäävä vaikutus perusteelliseen motoneuronaltaan ärtyvyystilan alenemiseen. On päätelty, että suurempi motoneuronaltaan inhibatio vähentää lihaksen supistuvuutta ja siten sallii enemmän lihaksen mukautumista, ja on esitetty, että PNF-menetelmä aiheuttaa suurimman potentiaalin lihaksen pidentymiseen. Tätä tukevat aiemmat tutkimukset, joissa vertailtiin liikelaajuuksia käyttäen näitä kolmea venytysmenetelmää (Holt ym. 1970; Moore ja Hutton 1980; Etnyre ja Abraham 1985).

Avelan ym. (1999) tutkimuksessa selvitettiin vaihtelevan refleksivasteen herkkyyttä toistuvan ja pitkittyneen passiivisen lihasvenytyksen jälkeen. Tulokset osoittivat selvän huonontumisen lihastoiminnassa välittömästi toistuvan passiivisen venytyksen (RPS) jälkeen. Nämä muutokset olivat yhdessä alentuneen refleksiherkkyyden kanssa; venytysrefleksin amplitudi väheni 84,8 % ja sähköisesti aiheutetun H-refleksin suhde maksimaaliseen M-aaltoon väheni 43,8 %.

Tutkimus osoittaa, että mekanismi joka vähentää lyhyen latenssijan herkkyyttä voi aktivoitua RPS:n takia. Tämän systeemin lähtökohta näyttäisi olevan suurikokoisten afferenttien aktiivisuuden väheneminen, johtuen lihasspindeliherkkyyden vähenemisestä toistuvassa venytyksessä.

#### 4.4 Dynaamisen venyttelyn akuutit vaikutukset

Little ym. (2006) tutkivat erilaisten alkulämmittelyjen aikaisten venyttelykäytäntöjen vaikutuksia nopeusominaisuuksiin ammattilaisjalkapalloilijoilla. Ominaisuudet testattiin kevennyshyppysuorituksessa, 10 metrin lähtönopeudessa, lentävällä 20 m juoksussa ja ketteryydessä erilaisten alkuvenyttelyjen jälkeen. Alkuvenyttelyt oli jaettu staattiseen venytykseen, dynaamiseen venytykseen ja ei – venyttelyyn. He löysivät merkittävän eron kevennyshypyissä, jossa dynaamistyyppinen venyttelyprotokolla tuotti merkittävästi paremmat 10 metrin lähtönopeusajat kuin muilla menetelmillä. 20 metrin lentävässä juoksussa sekä dynaaminen että staattinen venytysprotokolla tuottivat merkittävästi nopeamman ajan kuin venyttelemätön protokolla. Ketteryyteen dynaamisella venyttelyllä oli merkittävästi paras vaikutus. Ammattilaispelaajilla alkuvenyttelyyn sisällytettynä staattisella venytyksellä ei ollut haitallista vaikutusta huippunopeuteen. Dynaaminen venyttely oli kuitenkin tehokkain tapa valmistautua korkeaa nopeutta vaativaan suoritukseen.

Dynaamisen venyttelyn suorituskyvyn parannukset liittyvät useisiin tekijöihin, joita ovat mm. lisääntynyt lihaksen lämpötila, liikkeen harjoittaminen ja PAP (postactivation potentiation). PAPista on kahta erilaista teoriaa ja ensimmäinen liittyy fosforylaatioon eli fosfaatin lisäykseen ATP-tuotannossa maksimaalisen tahdonalaisen supistuksen aikana. (Hamada ym. 2000). Toinen teoria liittyy Hoffmanin refleksiin, joka kuvaa alfamotoneuronialtaan herkkyystilaa ja on arveltu, että PAP-interventio parantaa H-refleksiä ja tätä kautta parantaa myös hermoimpulssien kulkua lihakseen. (Hodgson ym. 2005).

Dynaaminen venyttelyprotokolla on luonteeltaan aktiivinen, koska henkilö jatkaa työtä matalasta kohtuulliseen intensiteettiin. Lihaksen lämpötila nousee lisääntyneestä aineenvaihdunnasta, lisääntyneestä kuona-aineen poistosta ja hermoimpulssin johtumisnopeuden kasvusta. On mahdollista, että aktiivis-spesifin liikemallin harjoitus voi johtaa parempaan suoritukseen. Esimerkiksi submaksimaaliset sprinttityyppiset harjoitukset johtavat parantuneeseen sprinttisuoritukseen ja sen on arveltu johtuvan parantuneesta liikemallikoordinaatiosta. Lisäksi liikemallin mukaisten harjoitusten

tekeminen dynaamisessa venyttelyssä voidaan käyttää hyväksi lajeissa, joissa tarvitaan korkeanopeuksisia liikkeitä. Tällainen laji on myös jalkapallo. (Perrier ym. 2009)

PAP-mekanismiin on laajasti oletettu johtuvan dynaamisen venyttelyn jälkeisestä parantuneesta suorituskyvystä. PAP lisää lihassupistuksen tehokkuutta alentamalla motoristen yksiköiden rekrytointikynnystä ja lisäämällä tasoa, jossa poikittaissiltoja muodostuu. Nopeampi poikittaissiltojen muodostuminen voisi vaikuttaa RFD:hen, joka vaikuttaa suoritusnopeuteen. Lisäksi Behm ym. (2004) arvelivat, että PAP voisi hyödyttää tasapainoa ja reaktioaikaa laskemalla vasteaikaa kehon asennon muutokseen. PAP ilmenee submaksimaalisten tai maksimaalisten lihassupistusten jälkeen ja sen vuoksi dynaamista venytystä sisältävät lihassupistukset aktivoivat tätä hyödyllistä mekanismia. Täten, PAP voi osittain selittää suoritusparannukset maksimivoimassa, tasapainossa, reaktioajassa ja ketteryyssmittauksissa. (Perrier ym. 2009)

Little ym. (2006) mukaan dynaaminen venyttely on aktiivinen supistusprosessi ja suorituskyvyn parantuminen voi johtua spesifien liikkeiden harjoittelun kautta tulleesta motorisen kontrollin kiihottumisesta, parantuneesta verenkierrosta tai kohonneesta ytimen tai periferian lämpötilasta, joka voi lisätä hermoreseptoreiden herkkyyttä ja lisätä hermoimpulssien nopeutta ja mahdollisesti näin voimistaa lihassupistuksen nopeutta ja voimaa.

#### **4.5 Dynaamisen harjoituksen akuutit vaikutukset**

Faigenbaumin (2005) tutkimuksessa tutkittiin kolmea erilaista lämmittelyprotokollaa käyttäen staattista venytystä tai dynaamista harjoitusta. Alkuverryttelyprotokollat koostuivat viiden minuutin kävelystä ja viiden minuutin staattisesta venytyksestä, 10 minuutin dynaamisesta harjoittelusta tai 10 minuutin dynaamisesta harjoittelusta + kolme pudotushypystä 15 cm laatikolta. Kunkin lämmittelysession jälkeen henkilöiltä testattiin vertikaalihyppy, pituushyppy, sukkulajuoksu ja v-istumisasennon joustavuus. Vertikaalihyppy- ja sukkulajuokсутulos laskivat merkittävästi staattisen venytyksen jälkeen verrattuna dynaamiseen harjoitukseen ja dynaamiseen harjoitukseen pudotushypyillä, ja pituushyppysuoritus aleni merkittävästi staattisen venytyksen jälkeen verrattuna dynaamiseen venyttelyyn pudotushypyillä lisättynä. Joustavuudessa



ei sen sijaan ollut eroja kolmella eri lämmittelyrutiinilla. Tuloksena tässä tutkimuksessa ehdotettiin että voi olla suotavaa lapsilla suorittaa kohtuullisesta korkeaan intensiteetin dynaamista harjoittelua ennen korkean tehon suoritusta. Tutkimuksessa arvioitiin mahdollisia mekanismeja niin, että korkean intensiteetin pudotushyppyt aktivoivat hermoroja ja näin aiheuttivat suuremman hermolihajärjestelmän valmiusasteen. Lisätutkimusta tarvitaan selittämään tämän vaikutuksen mekanismeja ja ehkä on niin, että lämmittelyprotokollat voisivat sisältää enemmän intensiivisiä harjoitteita, jotta varsinainen suoritus tulisi optimoitua. (Faigenbaum 2005).

Alkuverryttely 10 minuutin juoksumatolla tehtynä vaikutti siten, että huipputeho aleni hieman, nopea voimantuotto parani sekä emg-aktiivisuus ja emg-latenssiajat vähenivät merkittävästi. Juoksemalla tehty warm-up vaikutti selvästi voiman tuottoa parantavasti ja emg-aktiivisuutta alentavasti, joka voidaan nähdä suoritusta parantavana vaikutuksena. (Rosenbaum 1995).

#### **4.6 Yhteenveto proprioseptisistä vaikutuksista**

Staattinen venyttely vaikuttaa tutkimusten mukaan olevan epäsuopivaa alkuverryttelyyn sen suorituskykyä laskevan vaikutuksen vuoksi. Varsinkin pidemmällä (45 s) pidoilla negatiiviset vaikutukset (heikennykset tasapainosuoritukseen, reaktioaikaan ja liikeaiaan) korostuvat ja ilmiön taustalla on todennäköisesti presynaptinen inhibitio. Dynaamisten venytysten, dynaamisten harjoitusten sekä lyhytkestoisten tasapainoharjoitusten hyödyt korkeaa intensiteettiä vaativien lajien alkuverryttelyyn vaikuttaisi tutkimusten mukaan olevan selkeät. Kuitenkin mahdollisimman optimaalisten alkuverryttelyjen suunnitteluun tarvitaan enemmän tutkimusta, koska syntyneet ristiriitaiset tutkimustulokset voivat johtua epäjohtonmukaisista alkuverryttelyprotokollista. Perrier ym. 2006) johtopäätöksessään totesi, että aika vähän tiedetään reaktionopeuteen vaikuttavista tekijöistä. Tasapainoharjoittelun kroonisten vaikutusten tuloksista on myös hieman ristiriitaisia tuloksia, joskin säännöllisen harjoittelun vaikutukset näyttäisivät selvästi parantavan reaktionopeutta, RFD:tä ja

voimaa (mm. Zemkova ja Gruber). Zemkova suositteli lisätutkimusta eri ryhmille toteutettavista harjoitteista.

Tutkimuksia tasapainoharjoittelun akuuteista hyödyistä verrattuna kroonisiin vaikutuksiin on vähemmän. Zemkovan tutkimuksen löydöksenä todettiin akuutin tasapainoharjoittelun vaikuttavan parantavasti dynaamiseen tasapainoon ja tästä voisi päätellä lyhyen tasapainoharjoittelun lisäävän aktivoivan alkuverryttelyn suorituskykyä parantavia vaikutuksia.

## 5. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA ONGELMAT

Huippu-urheilussa pelaajan tulee olla valmis alusta saakka ja valmiuden tulisi kestää ottelun loppuun saakka. Jalkapallomaalivahdilta vaaditaan keskittymis- reaktio- ja nopeusvoimaominaisuuksia koko ajan. Reaktionopeudesta ei ole juurikaan hyötyä ellei liikkuvuus, tasapaino, koordinaatio, ketteryys ja potkusuoritus ole kunnossa.

Huippu-urheilussa pienetkin muutokset reaktioajassa, liikeajassa ja tasapainossa saattavat vaikuttaa suoritukseen ratkaisevasti. (Perrier 2009; Behm 2004). Alkuverryttelyiden yleiset periaatteet ovat maailmanlaajuisesti hyväksytyjä vaikka monet tutkimukset ovat osoittaneet mahdollisuuksia parantaa käytäntöjä suorittamalla sensorimotorisia ja dynaamisia harjoitteita (Gruber 2004 ja Faigenbaum 2005). Perinteisessä alkuverryttelyssä on keskitytty pääosin energiasysteemiin ja fysiologisiin prosesseihin ja huolimatta uudemmissa tutkimuksista, hermostolliset näkökohdat on usein jätetty huomioimatta (Jeffrey 2007). On tärkeää saada lisää tutkittua tietoa, jotta voidaan suunnitella mahdollisimman optimaalinen alkuverryttelyrutiini ja lisätutkimusta tarvitaan mm. refleksivasteiden mittaamisen osalta, jolloin tätä kautta voisi löytyä selittäviä mekanismeja parantuneen suorituskyvyn taustalla.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kahden erilaisen urheilusuoritusta edeltävän alkulämmittelyrutiinin vaikutuksia hermolihaskäytännön toimintaan jalkapallomaalivahdeilla.

Tutkimuskysymykset:

1. Miten reaktioajat eroavat näiden kahden lämmittelytavan vaikutuksesta?
2. Mikä on eri lämmittelyiden vaikutus refleksi vasteeseen?
3. Vaikuttavatko lämmittelyt eri tavalla tasapainoon, RFD:hen ja MVC:hen?

Hypoteesina on se, että aktiivinen alkuverryttely stimuloi ja parantaa enemmän refleksivasteita ja keskushermostoa parantaen näin lämmittelyn tehokkuutta.

## LÄHTEET

Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, P. and Dyhre-Poulsen, P. (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J.Appl. Physiol* 92: 2309-2318.

Alpkaya, U., Koceja, D. J. (2007). The effects of acute static stretching on reaction time and force. *Sports Med Phys Fitness*. Jun;47(2):147-50.

Ando S.; Kokubu M.; Kimura T.; Moritani T.; Araki M. (2008) Effects of Acute Exercise on Visual Reaction Time. *Int J Sports Med*. 29(12):994-8.

Asmussen, E., Bonde-Peterson, F. and Jorgenson K., (1976). Mechanoelastic properties of human muscles at different temperatures. *Acta Physiologica Scandinavica*. 96:86-93.

Avela J, Finni T, Liikavainio T, Niemelä E, Komi PV. (2004). Neural and mechanical responses of the triceps surae muscle group after 1 h of repeated fast passive stretches. *J Appl Physiol*.;96(6):2325-32.

Beckett, JR., Schneider, KT., Wallman, KE., Dawson, BT., Guelfi, KJ., (2008). Effects of static stretching on repeated sprint and change of direction performance. *J Sport Rehabil*.;17(2):186-205.

Behm, D.G., Bambury, A, Cahill, F., Power, K. (2004). Effect of Acute Static Stretching on Force, Balance, Reaction Time, and Movement Time. *Med.Sci. Sports Exerc*. 36(8): 1397-1402.

Bompa, T. O. (1994). *Periodization. Theory and Methodology of Training*.

Caraffa A., Cerulli G., Projetti M., Aisa G. and Rizzo A. (1996). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1996;4(1):19-21

Chalmers, G. (2004). Re-examination of the possible role of Golgi tendon organ and muscle spindle reflexes in proprioceptive neuromuscular facilitation muscle stretching. *Sports Biomech.* 2004; 1:159-83.

Costa, B., Vieira, E.R. (2008). Stretching to reduce work-related musculoskeletal disorders: a systematic review. *J. Rehabil Med.* 2008; 40: 321-328.

Costa, P., Graves, B.S, Whitehurst, M. Jacobs, Patrick L. (2009). The Acute Effects of Different Durations of Static Stretching on Dynamic Balance Performance. *J Strength Cond Res* 23(1):141-7.

Egan, Alison D.; Cramer, Joel T.; Massey, Laurie L.; Marek, Sarah M. (2006) Acute Effects of Static Stretching on Peak Torque and Mean Power Output in National Collegiate Athletic Association Division I Women's Basketball Players. *J Strength Cond Res.* 2006 Nov;20(4):778-82

Enoka R.M., (2002). *Neuromechanics of Human Movement*. Champaign, IL: Human Kinetics

Etnyre BR, Abraham LD (1986). H-reflex changes during static stretching and two variations of proprioceptive neuromuscular facilitation techniques. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.*;63(2):174-9

Faigenbaum, A.D., Bellucci, M., Bernieri, A., Bakker, B., Hoorens, K., (2005). Acute Effects of Different Warm-Up Protocols on Fitness Performance in Children. *J Strength Cond Res.*;19(2):376-81.

Fletcher IM., Monte-Colombo MM. (2009). An investigation into the possible physiological mechanisms associated with changes in performance related to acute responses to different preactivity stretch modalities. *Med Sci Sports Exerc.*;41(2):444-50.

Gruber, M., and Gollhofer A. (2007). Training-Specific Adaptations of H- and Stretch Reflexes in Human Soleus Muscle. *J Mot Behav.*39(1):68-78.

Gruber, M. (2004) Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol.*92(1-2):98-105.

Hakkarainen H., Jaakkola T., Kalaja S., Lämsä J., Nikander A., Riski J. (2009). Lasten ja nuorten urheiluvallmennuksen perusteet. VK-kustannus Oy.

Hamada, T., Sale, D.G., & MacDougall, J.D. (2000). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(2), 403-111.

Haverinen Marko (2005). Lihastonuksen yhteys hermolihasjärjestelmän suorituskykyyn. Pro gradu-tutkielma

Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 25 (7), 385-395.

Jeffreys Ian (2007). Warm-up revisited: The ramp method of optimizing warm-ups. UK Strength and conditioning association. Available at: <http://www.allproperformance.co.uk/PSCRampwar20up.pdf>. Accessed March 24, 2010.

Keskinen K., Häkkinen K., Kallinen M. (2007). Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellinen Seura ry.

Little, T., Williams, A.G. (2006). Effects of Differential Stretching Protocols During Warm-Ups on High-Speed Motor Capacities in Professional Soccer Players. *J Strength Cond Res*;20(1):203-7.

Luhtanen, P., (1996). Jalkapallovalmennus. Suomen Palloliitto r.y.

Luhtanen, P. & Miettinen, P. (1987). Jalkapallovalmentajan käsikirja 1. Suomen Palloliitto, Hangon kirjapaino.

Maiores Alex Souto, Simao Roberto, Belmiro Freitas de Salles, Miranda Humberto, Costa Pablo Brando (2009). Neuromuscular activity during the squat exercise on an unstable platform.

Mero, A., Kyröläinen, H. ja Häkkinen, K. (2004). Hermolihasjärjestelmän rakenne ja toiminta.

Mero, A., Nummela A., Keskinen K., (1997). Nykyaikainen urheiluvalmennus. Gummerus Kirjapaino Oy.

Perrier, E.T (2009) The effects of static and dynamic stretching on reaction time and performance in a countermovement jump. Available at: <http://ir.library.oregonstate.edu/jspui/bitstream/1957/11825/1/ThesisFinalManuscript.pdf> Accessed April 14, 2010

Rosenbaum, D., Hennig EM. (1995). The influence of stretching and warm-up exercises on Achilles tendon reflex activity. J Sports Sci. 1995 Dec; 13(6):481-90.

Ryan EE, Lopez R, Rossi M, Doherty J, Cleary MA. The effect of the contract-relax-antagonist-contract form of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on balance.: Florida International University, Miami, FL

Saari M., Lumio M., Asmussen P., Montag H. (2009) Käytännön lihashuolto.

Samuel, MN., Holcomb, WR., Guadagnoli, MA., Rubley, MD., Wallmann, H. (2008). Acute effects of static and ballistic stretching on measures of strength and power. J Strength Cond Res. 2008 Sep;22(5):1422-8.

Suomen Palloliitto (1999). Jalkapallomaalivahdin tekniikat. Forssan kirjapaino.

Suomen Palloliiton valmentajakoulutusmateriaali 2003.

Vuori I. (2005). Liikunta lapsena ja nuorena.

Zemkova, E. (2009). The acute and long-term effect of different sensorimotor exercises on neuromuscular performance. Medicina Sportiva 13(2): 1734-2260.

Yaggie, J., Campbell, B.M. (2006). Effects of Balance Training on Selected Skills. J Strength Cond Res. 2006 May;20(2):422-8.

Ylinen, J.(2002). Venytystekniikat 1. Medirehabook kustannus Oy.

Ylinen J. (2007) Physical exercises and functional rehabilitation for the management of chronic neck.



ACUTE EFFECTS OF DIFFERENT WARM-UP PROTOCOLS ON NEUROMUS-  
CULAR FUNCTIONS IN SOCCER GOAL KEEPERS

Keränen Jarmo, Piirainen Jarmo, Linnamo Vesa

Neuromuscular Research Center

Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland.

Corresponding author:

Jarmo Keränen,

Neuromuscular Research Center

Department of Biology of Physical Activity

University of Jyväskylä

Kidekuja 2, Snowpolis, 88610 Vuokatti

Finland

[jarmo.keranen@jyu.fi](mailto:jarmo.keranen@jyu.fi)

mob: +358-44-2629170

## Abstract

The purpose of this study was to compare the acute effects of different warm-up protocols on neuromuscular functions in soccer goalkeepers. Different warm-up protocols were utilized including traditional warm-up consisting of low intensity running plus static stretching (TRAD) and active dynamic exercise performances (ACT). Ten male soccer goalkeepers (age 18-34) performed two different warm-ups in random order on nonconsecutive days. After the warm-ups, maximum voluntary contraction (MVC), rapid force development (RFD) and maximal EMG from the medial gastrocnemius, rectus femoris, biceps femoris and soleus muscles as well as maximal M-wave (muscle compound action potential) and V-wave (neural drive) from the soleus muscle were measured in isometric bench press. H-reflex (Hoffman-reflex) and M-wave were measured in standing rest conditions. In addition, reaction-movement times and static balance control were measured. Analysis of the data revealed that RFD (ACT 23.3 % vs. TRAD -6.3 %) and RFD EMG responses in the gastrocnemius muscle (ACT 28.4 % vs. TRAD -9.7 %) during leg bench press were enhanced significantly more following ACT ( $P < .05$ ). Relative change in V/Mmax-ratio correlated with relative increment of the RFD ( $r = .705$ ,  $P < .05$ ) after the ACT warm up. There were no significant changes in MVC, H-reflex, reaction times or in balance control in both warm-ups. These results suggest that ACT warm up will increase the neural drive from central pathways and thus increase the rapid force development. This was not, however, clearly seen as improvement in performance simulating actual game situation of soccer goalkeepers.

### Key words

Warm up, RFD, MVC, V-wave

## Introduction

It is important to examine the rationale behind why to warm-up because a well designed warm-up can have a positive effect on athletes performance (Jeffrey 2007). Duration and intensity of the warm-up session must be adjusted according to the environmental conditions. Warm-up should be a well-planned component in every training session. In competitive sports where the difference between winning and losing may be a substantial, it is important to have the knowledge to design the best warm-up routine to maximize performance because even small changes in reaction time, movement time, and balance can have a dramatic impact on performance (Perrier 2009; Behm et.al. 2004). Principle of the warm-up is almost universally accepted in the preparations of athletes in all sports (Jeffrey 2007) and general principles are quite well accepted. However, some studies have reported that there are possible opportunities to improve practices by taking into account sensorimotor activities (Gruber 2004) and moderate-to high-intensity dynamic exercises prior the performance (Faigenbaum et.al. 2005).

Stretching is an essential part of warm-up in order to enhance performance and minimize the risk of injury. Implications of stretching on muscle/tendon flexibility, minimizing injury, enhancing athletic performance and generally preparing the athlete for exercise are discussed (Smith 1994) and in many studies (Brad et al 2009; Samuel et al 2008) different stretching techniques have proven to be in a big role in performance. Static stretching is most common part of many warm-up routines although it is well documented that static stretching may have negative effects on balance, reaction time and movement time (Behm 2004; Faigenbaum 2005; Perrier 2009). Neurologically, static stretching has been shown to reduce excitatory drive from the Ia afferents onto the  $\alpha$ -motoneurons (Avela et al 2004) and maximal voluntary contraction to potentiate some reflex responses (Pensini et al 2004). On the other hand, some studies have shown that static stretching has no effects on athlete performance (Little 2006; Beckett et al. 2008). Therefore the use of static stretching may be questionable in warm-up and mechanical and neural variables behind after stretching should be investigated. A number of studies report that high-intensity dynamic exercises before the performance which require a high power output are recommended and it is suggested that dynamic stretch-

ing has greater applicability to enhance performance on power outcomes compared to static stretching (Brad et al 2009; Faigenbaum 2004; Khorasani 2010). Dynamic stretching consists of active movements and it may improve performance by several mechanisms. It has been argued that warm-ups with an active component preserve elevated muscle temperature, may increase range of motion without reducing neural input to working muscles and may improve coordination and thus, lead to improvements in events requiring speed, power and reaction time (Perrier 2009). However, neurological aspects behind this phenomenon are not investigated enough and there is a need to pay more attention to reflex sensitivity measurements in warm-up studies.

The ability to change position and direction rapidly and accurately is a characteristic needed when playing soccer or any team sport. Players of national caliber are extremely agile, and this may be a feature that distinguishes soccer players from other athletes. (Garrett et al. 1999). For soccer goalkeepers it is important to have an ability to react to a given visual stimulus and accelerate to a right direction with good balance control. To the best of our knowledge, no studies have compared the acute effects of different traditional and active warm-up effects on alpha-motoneuron pool activity and neural drive responses. Warm-up strategy dependent adaptation may differ in spinal and supraspinal level and can thus be crucial for effective motor output. In addition, the relation of these neuromuscular parameters with balance control and reaction performance might be crucial. This information would be useful for coaches who wish to maximize the warm-up effects. The purpose of this investigation was to examine the acute effects of two different warm-up protocols in reflex and neural drive responses and therefore in reaction times and force output in different conditions. It was hypothesized that dynamic warm-up will stimulate and enhance reflex responses and neural activity more than static stretching leading to better performances in athletes.

## Methods

### Subjects

Totally 10 male soccer goalkeepers (27.8 years  $\pm$  5.9 years) participated in this study. All subjects signed an informed consent and were aware of the protocol and possible risks of the study. The study was conducted according to the declaration of Helsinki and the methods used were approved by the ethics committee of the University of Jyväskylä.

### Test protocol

The whole protocol consisted of pretest, traditional (TRAD) and active warm-up protocols (ACT) (Tables 1 and 2) and posttests after the warm-ups. The total time for one protocol was approximately 2.5 hours. Protocol TRAD consisted of 2 minutes of light intensity running and static stretching focusing on the lower body. Subjects held each stretch for 30 seconds at a point of mild discomfort, relaxed for 10 seconds between stretches. Five muscle groups were stretched two times and total time from the beginning to the end took 10 minutes. Protocol ACT consisted of active dynamic exercises with no static stretches. All phases were made with high intensity and rest intervals were 10 seconds between phases. In order to reduce the effects of learning, half of the subject group started with warm-up TRAD and another half started with warm-up ACT. There was a 48 hour time cap between the different warm up study sessions.

Table 1: Protocol TRAD consisted of 2 minutes of light intensity running and static stretching focusing on the lower body. Subjects held each stretch for 30 seconds at a

point of mild discomfort, relaxed for 10 seconds between stretches. Five muscle groups were stretched two times and total time from the beginning to the end took 10 minutes.

Phase	Activity	Intensity	Repetition	Duration
1	Ligth running	7 km/h	1	2 min.
2	Adductor stretch	Mild uncomfortable	1	30 seconds
3	Gluteus maximus stretch	Mild uncomfortable	1 both sides	30 seconds
4	Hamstring muscles	Mild uncomfortable	2	30 seconds
5	Quadriceps stretch	Mild uncomfortable	2 both sides	30 seconds
6	Calf stretch	Mild uncomfortable	2 both sides	30 seconds

Table 2: Protocol ACT consisted of active dynamic exercises with no static stretches. All phases were made by high intensity and rest intervals were 10 seconds between phases. In order to reduce the effects of learning, half of the subject group started with warm-up TRAD and another half started with warm-up ACT.

Phase	Activity	Intensity	Repetition	Duration
1	High knee run forward and backward	High	2 times 13 m	1 min
2	Heel ups forward and backward	High	2 times 13 m	1 min
3	Step squats forward and backward	High	2 times 13 m	2 min
4	Middle body activation by static tension	High	3 times	1 min 50 seconds
5	Jumps with one leg over the hurdles forward and backward	High	2 times	2 min
6	Counter Movement Jumps	MAX	3 times 3	1 min

## Measurements

The order of the measurements was as follows: 1) H-reflex, M-wave and V-wave (soleus muscle) 2) Rapid force development (RFD) and MVC (leg extension bench press) 3) static balance 4) reaction-movement times (in the field).

## EMG

Bipolar surface electrodes (Ag/AgCl, interelectrode distance 2cm) were placed over the rectus femoris (RF), biceps femoris (BF), medial gastrocnemius (MG) and soleus (S) muscles of the right leg. Electrode positions were carefully determined and marked to ensure identical places between two different study days. Interelectrode resistance was kept below 5 k $\Omega$  by shaving, abrasion and disinfecting the skin. Electrodes were placed according to Seniam (Hermens et.al. 1999). The data were recorded and filtered using an EMG measuring system (Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finland) and analysed with MegaWin software (Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finland). EMG signals were sampled at 1 kHz, amplified (gain 1000), and band-pass filtered (10-1000 Hz). Average EMG from RFD and MVC was calculated for muscles within two time windows. During MVC the window was  $\pm$  200 ms around peak torque and during RFD the window was the first 200 ms from the onset of the torque production.

## H-reflex and M-wave

During H-reflex measurements subjects stood relaxed and H-reflex and M-wave responses were measured from the soleus muscle by stimulating (Constant current stimulator DS7A, Digimeter Ltd, UK) the tibialis nerve in the popliteal fossa. The stimulation intensity was started from 10 mA and the intensity was increased 1 mA until the maximal H-reflex was determined. After that, maximal M-wave was measured increasing the intensity with 10 mA intervals, until the M-wave achieved the constant level (Mmax). In stimulations, 200 microsecond rectangular pulse was used with a 0.2 Hz stimulation frequency. Alpha-motoneuron pool excitability was evaluated by using Hmax / Mmax ratio of the corresponding peak-to-peak amplitudes.

## V-wave

The V-wave was measured in the same way as the H-reflex but using supramaximal stimulation intensity (Mmax intensity +50%) during MVC. Participants performed seven MVCs with duration of three second and with one minute intervals between performances. Stimulation was given one second after the onset of the torque production. Peak-to-peak V-wave and M-wave responses were determined. The level of efferent neural drive from spinal  $\alpha$ -motoneurons was evaluated by calculating the V/Mmax-ratio (Aagaard et al. 2002).

#### RFD and MVC

Leg extension MVC and RFD were measured using a custom-build bench press dynamometer (University of Jyväskylä; Finland). Subjects were seated with 110, 45 and 80 degree knee, hip and ankle angles, respectively. They were instructed to perform three trials at the maximum level as fast as possible against the plate with one minute rest intervals between performances. Data were collected and analysed by using Mega Electronics ME6000 trough the isolation unit ISO4 (Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finland). Rapid force development was measured as a force produced between time points 0-200 ms and MVC was the maximal measured force level.

#### Static balance measurements

Static balance was measured using BT4 balance platform (Hurlabs Oy, Tampere, Finland). Balance activity was measured with two 30 second period including 30 seconds rest intervals between performances. Black point was placed in the wall for eye focus. Hands were kept together on the front of the subject to minimize the effects of the arm movement. Centre-of-pressure (COP) trace length and area were analyzed.

#### Reaction-movement times

Reaction-movement times were measured in natural conditions on the football field (figure 1.) by using reaction time equipments (Newtest, Oulu, Finland). To avoid anticipation in reaction-movement test subjects were not told how many visual stimuli are given and in which direction. Subjects were standing on the contact mat knees slightly bent, hands resting on hips and facing the visual stimuli (LED signals) and performed a



dive to the ball according to given direction from the LED signals (Figure 1). Photocells were placed beside the balls. Reaction-movement time was measured from LED signal to the subjects take off from the mat. Movement – acceleration time was measured from contact mat to the photocell. These times were summarized as a total time.

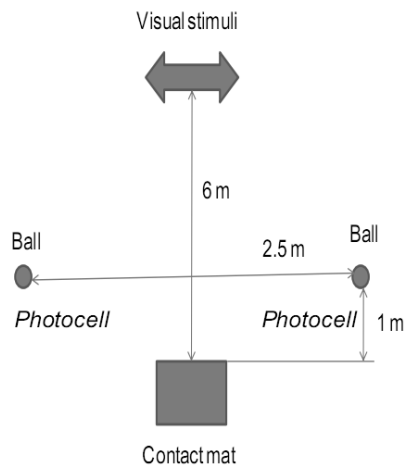


Figure 1: Reaction-movement times: Subjects were standing on the contact mat and performed a save to the ball to given direction.

### Statistical methods

Mean values and standard deviations ( $\pm$ SD) were calculated. Correlations between neuromuscular parameters in two different warm-ups were measured using Pearson's correlation. Pre- and post tests of both warm-up methods were analyzed by using paired sampled T-test. The results were considered as statistically significant if the p-values were below 0.05. The results were analyzed by SPSS statistical software (version 16.0, SPSS Inc.;Chicago, IL,USA).

### Results

## H-reflex

In TRAD H-reflex and M-wave peak-to-peak amplitudes were  $2.68 \pm 0.9$  mV and  $6.7 \pm 1.6$  mV, respectively. In ACT H-reflex and M-wave peak-to-peak amplitudes were  $2.60 \pm 1.3$  mV and  $6.3 \pm 1.6$  mV, respectively. In TRAD protocol H/M relation in pre test was  $0.43 \pm 0.19$  and in post test  $0.42 \pm 0.17$  (n.s.) so there was no change in H/M-ratio. In ACT protocol H/M relation in pre test was  $0.44 \pm 0.18$  and in post test  $0.44 \pm 0.23$ , (n.s.) so both warm-ups caused quite similar result in H-reflex responses.

## V-wave

In TRAD V-wave and M-wave peak-to-peak amplitudes were  $1.53 \pm 0.63$  mV and  $6.8 \pm 2.0$  mV, respectively. Comparing V/Mmax-relation changes from pre test to the post test in TRAD there was a  $2.4 \pm 32.5\%$  increase (n.s.) in V/Mmax-relation. In ACT V-wave and M-wave peak-to-peak amplitudes were  $1.83 \pm 0.73$  mV and  $6.1 \pm 1.97$  mV. After the ACT warm-up, V/Mmax-ratio was increased by  $5.4 \pm 31.5\%$  (n.s.).

## RFD and MVC

In TRAD, bench press rapid force development decreased by  $6.3 \pm 17.2\%$  (n.s.) (figure 2) from pre- to post test and there were also slight but no significant change in MVC. In ACT the rapid force development was enhanced by  $23.3 \pm 12.2\%$  ( $p < .05$ ) and MVC  $7.4 \pm 10.4\%$  (n.s.). The relative improvement in RFD after ACT was significantly higher ( $p < .05$ ) than after TRAD. A significant positive correlation was observed between the relative changes in RFD and V/Mmax after ACT ( $r = .705$   $p < .05$ ).

EMG activity during rapid force development decreased by  $4.4 \pm 20.1\%$  (n.s.) in soleus and  $9.7 \pm 21.6\%$  (n.s.) in gastrocnemius after the TRAD condition and increased by  $11.2 \pm 17.2\%$  (n.s.) in soleus and  $28.4 \pm 36.9\%$  (n.s.) in gastrocnemius after the ACT condition (figure 2). The relative difference in gastrocnemius EMG activity ( $p < .05$ ) during RFD was significant between the warm-ups. There were no significant changes in muscle activities in biceps femoris and rectus femoris muscles in either warm-ups. Gastrocnemius EMG during MVC (figure 3) was significantly lower after TRAD ( $22.8 \pm 21.2\%$   $p < .05$ ). No other changes were observed in any muscles after both warm-ups.

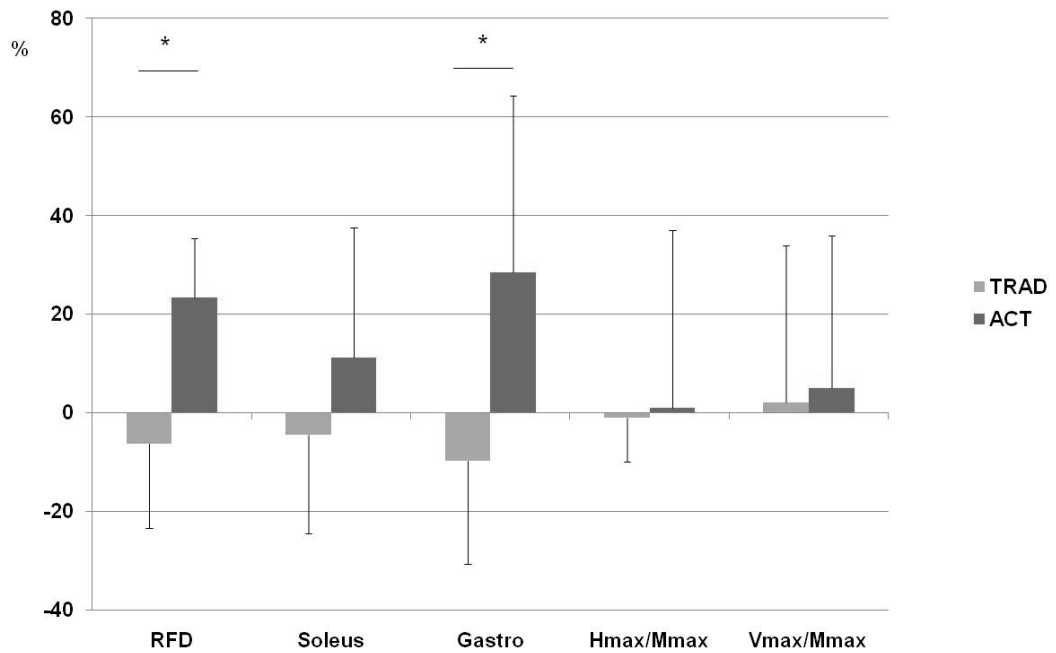


Figure 2. Acute warm-up effects: relative changes of the RFD, plantar flexor EMG activity, H-reflex and V-wave responses.

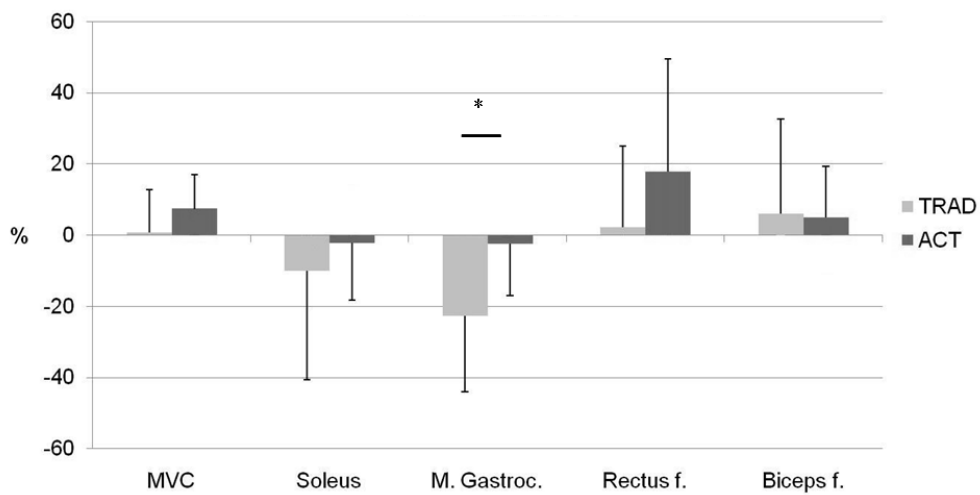


Figure 3. Acute warm-up effects: relative changes of the MVC and maximal EMG responses.

Static balance

In static balance, COP mean trace length and C90 area were  $284 \pm 82.4$  mm and  $143.4 \pm 40.6$  mm<sup>2</sup> in TRAD and  $286 \pm 90.6$  mm and  $127.1 \pm 58.8$  mm<sup>2</sup> in ACT, respectively. In TRAD trace length was decreased by  $8.7 \pm 21.8\%$  (n.s.) and C90 area was increased by  $4.1 \pm 47.4\%$  (n.s.) after the warm-up. On the other hand ACT results showed  $3.6 \pm 17.9\%$  (n.s.) decrement in trace length and  $6.9 \pm 74.5\%$  (n.s.) increment in C90 area.

#### Reaction-movement times

In reaction-movement test, the best performance in TRAD was  $952 \pm 184$  ms and in ACT  $798 \pm 202$  ms. There was a slight difference in reaction-movement times between two different warm-ups but significant difference was not observed. Both TRAD and ACT caused better total times after the warm-up. Enhancements in TRAD were  $4.3 \pm 9.0\%$  and in ACT  $7.7 \pm 11.1\%$  but these enhancements were not significantly different from each other.

## DISCUSSION

The purpose of this study was to compare two different warm-up protocols: the first one included mainly static stretching and the another one dynamic exercises without static stretching. We tried to find out 1) how two different warm-ups will affect to the alpha-motoneuron pool activity and neural drive responses, 2) are there differences in reaction-movement times between two different warm-up protocols and 3) how acute effects are shown in the balance, RFD and MVC.

The first main finding was a significant difference in the relative development of RFD on the bench press ( $22.8\%$ ,  $p < .05$ ) and relative EMG responses in the gastrocnemius muscle ( $28.4\%$ ,  $p < .05$ ) which were observed after ACT. The second main finding was that there were no significant differences in H-reflex responses between the two different warm-ups. The third main finding was a significant correlation between the relative changes in RFD and V/Mmax ( $r = .705$ ,  $p < .05$ ) which was observed after ACT, but not

after TRAD. Despite of these changes in torque production and neural development, there were no significant differences in reaction-movement times, or balance control.

Alpkaya et al. (2007) investigated the effects of acute static stretching on reaction time and force and they found no significant differences in reaction time and force between the stretching and control conditions. Their conclusion was that three sets of 15 seconds duration of static stretching did not have a positive or negative effect on reaction time and explosive force. On the other hand, Behm et al. (2004) concluded that an acute bout of static stretching (three sets of 45 seconds duration) impaired balance and reaction/movement time. In the present study the duration of static stretching was 30 seconds and as a result we observed a slight, but non significant decrement on emg-activity of gastrocnemius muscles, RFD and reaction time. There was also no change in balance control.

Avela et al. (2004) in their study presented that there are effects of the prolonged and repeated passive stretching of the triceps surae muscle reflex sensitivity. Maximal voluntary contraction, average electromyographic activity of the gastrocnemius and soleus muscles, and zero crossing rate of the soleus muscle decreased clearly. These changes were associated with a clear immediate reduction in the reflex sensitivity. In our study static stretching in TRAD condition caused clear reduction in RFD and muscles emg activities whereas activities without static stretching in ACT condition enhanced RFD and muscles emg activities, so that the relative difference between these two conditions were statistically significant. This is in line with Fletcher et al. (2009) who showed that a warm-up incorporating static-dynamic stretches causes greater muscle activity and that is one of the mechanisms to explain the increase in performance in countermovement, drop jump and peak torque.

Effects of differential stretching protocols during warm-ups on high-speed motor capacities in professional soccer players were investigated by Little et al (2009). They found that dynamic-stretch protocol produced significantly faster agility performance than did both the no-stretch protocol and the static stretch protocol. Faigenbaum et al (2005) reported similar findings in their study with children. They used three different warm-up protocols utilizing static stretching or dynamic exercise performance. In their investigation, performance in the vertical jump, long jump, and shuttle run were de-

creased following low-intensity aerobic exercise and static stretching as compared to warm-up treatments with moderate- to high-intensity dynamic movements. They speculated that drop jumps activated additional neural pathways and enhanced to a greater degree the readiness of the neuromuscular system. In our study the arrangements were almost similar with Faigenbaum's (2005) study and comparison of results leads to the same conclusion that prior to the performance of activities which require a high power output, all-aged individuals should perform moderate- to high-intensity dynamic exercises. Additionally, we examined the neuromuscular mechanisms that may explain performance-enhancing effects of dynamic and active warm-up exercises. Significant correlations between the relative change of the RFD and V/Mmax values were observed only after ACT condition suggesting that active warm-up indeed plays a role in neural activation.

In the present study, soccer goalkeepers' reaction-movement time was chosen as a performance measure because it describes quite well the goal keepers reaction and agility abilities. The set-up was built to simulate natural game situation of soccer goalkeepers as closely as possible. The reaction-movement times included reaction time to visual stimulus and the time from the take-off to the "ball" (photo cell) and the results indicated that both warm-up protocols enhanced total time (reaction-movement + agility). Differences between pre- and posttest were not significant but the improvement was somewhat greater after ACT as was seen also in RFD. It might be that dynamic warm-up activities improve the high power production and this depends on ability of the neural system to activate the muscles due the increased level of excitation of the motoneurons by the central nervous system. It should be noted, however, that reaction-movement measurements were made at the end of protocol and the effects of warm-up may have been attenuated.

In this study it was little surprising that no significant differences were observed in Hmax/Mmax-ratio because a trend of enhanced performance in reaction-movement times and RFD indicates that ACT protocol causes improved neural activation. The H-reflex is an artificially elicited reflex response and it has been used widely to indicate the excitability of the alpha-motoneuron pool. This would indicate that the warm-up did not lead to any changes in motoneuron pool excitability but rather the changes occurred

in higher levels. On the other hand, H-reflex was measured in rest conditions, which might partly explain the non significant observation. This is supported by the small increase observed in V-wave/M-wave ratio and the correlation of V-wave/M-wave ratio with RFD after ACT. ACT included active and dynamic exercises including sensorimotor training. Possible mechanism behind increased RFD maybe enhanced extrafacilitatory drive from the afferent system for the improved neural activation (Gruber et al. 2004), although the rest H-reflex did not change after either warm-up. Aagaard et.al. (2002) showed that H-reflex may change during activation even if the resting H-reflex did not change. Therefore alpha-motoneuron pool adaptation cannot be totally disclosed in this case.

Gruber et al. (2004) showed that four week sensorimotor training had a great impact on the neuromuscular system at the initiation of force production. Although the present study investigated only acute effects of active warm-up including sensorimotor training, the results show similar indications. These results suggest that there are advantages to perform high-intensity counter movement jumps prior to activities that require a high power output. It seems that the ACT condition activated neural pathways and enhanced to a greater readiness of the neuromuscular system by enhancing the neural activation. It is well documented that the results of maximum voluntary contraction are not significantly affected by acute static stretching (Behm 2004, Alison 2006) and our findings were similar. TRAD protocol had no impact on MVC and ACT protocol caused a small positive impact on MVC.

Costa et al. (2009) studied the acute effects of different durations of static stretching on dynamic balance performance and reported that a stretching protocol of 45-second hold durations does not adversely affect balance when using the current stabilometry testing procedure. Furthermore, a stretching intervention with 15-second hold durations may improve balance performance by decreasing postural instability (Behm et al. 2004). According to them under conditions of high instability the central nervous system may suppress anticipatory postural adjustments and voluntary responses of trunk and limb muscles to postural challenges would therefore play a prominent role. Stretch-induced changes to either the afferent limb muscle responses (proprioception) or the mechanical output would be expected to affect the ability to adapt effectively to stability challenges. In our study almost all movements like high knee running, one leg hoppings and step

squats in ACT conditions were made forwards/backwards and thus subjects had to concentrate to balance control as well. These performances were quite demanding and they required control of proprioceptive system. However our findings with balance scores did not differ between TRAD and in ACT conditions. Possible explanation for this may be that balance was measured in the final phase of the measurements approximately 30 min after the warm-up. It has been shown that the positive effects of warm-up last about 15-18 min (Faigenbaum et. al 2010). Therefore possible neural effects may have been diminished due to too long time after the warm-up.

In conclusion, based on the greater improvement of rapid force production and EMG activity after the active warm-up protocol it can be suggested that the athletes should utilize the active warm-up rather than traditional static stretching in order to optimize their power performance.

## REFERENCES

Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, P. and Dyhre-Poulsen, P. (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J.Appl. Physiol* 92: 2309-2318.

Alpkaya, U., Koceja, D. J. (2007). The effects of acute static stretching on reaction time and force. *Sports Med Phys Fitness*. Jun;47(2):147-50.

Avela J, Finni T, Liikavainio T, Niemelä E, Komi PV. (2004). Neural and mechanical responses of the triceps surae muscle group after 1 h of repeated fast passive stretches. *J Appl Physiol*. 2004 Jun;96(6):2325-32. Epub 2004 Feb 13.

Avela, J., Kyröläinen, H., and Komi, P. V. (1999). Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J Appl Physiol*. Apr;86(4):1283-91.

Beckett, JR., Schneider, KT., Wallman, KE., Dawson, BT., Guelfi, KJ., (2008). Effects of static stretching on repeated sprint and change of direction performance. *J Sport Rehabil*. May;17(2):186-205.



Behm, D.G., Bambury, A., Cahill, F., Power, K. (2004). Effect of Acute Static Stretching on Force, Balance, Reaction Time, and Movement Time. *Med.Sci. Sports Exerc.* 36(8): 1397-1402.

Bompa, T. O. (1994). *Periodization. Theory and Methodology of Training.*

Curry, B.S., Chengkalath, D., Crouch, G.J.,Romance, M., and Manns, P.J. (2009). Acute effects of dynamic stretching, static stretching, and light aerobic activity on muscular performance in women. *J Strength Cond Res* Sep;23(6)1811-1819.

Costa, P., Graves, B.S, Whitehurst, M. Jacobs, Patrick L. (2009). The Acute Effects of Different Durations of Static Stretching on Dynamic Balance Performance. *J Strength Cond Res* Jan;23(1):141-7.

Enoka R.M., (2002). *Neuromechanics of Human Movement.* Champaign, IL: Human Kinetics

Faigenbaum, A.D., Bellucci, M., Bernieri, A., Bakker, B., Hoorens, K., (2005). Acute Effects of Different Warm-Up Protocols on Fitness Performance in Children. *J Strength Cond Res.* 2005 May;19(2):376-81.

Faigenbaum AD, McFarland JE, Kelly NA, Ratamess NA, Kang J, Hoffman JR. (2010). Influence of recovery time on warm-up effects in male adolescent athletes. *Pediatr Exerc Sci.* May;22(2):266-77.

Fletcher IM., Monte-Colombo MM. (2009). An investigation into the possible physiological mechanisms associated with changes in performance related to acute responses to different preactivity stretch modalities. *Med Sci Sports Exerc.* Feb;41(2):444-50.

Garrett W. E.,and Kirkendall D. T. (1999). *Exercise and Sport Science.*

Gruber, M., and Gollhofer A. (2007). Training-Specific Adaptations of H- and Stretch Reflexes in Human Soleus Muscle. *J Mot Behav.* 2007 Jan;39(1):68-78.

Gruber, M. (2004) Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Jun;92(1-2):98-105.

Hermens, HJ., Freriks, B., Merletti, R., Hägg, G., Stegeman, D., Blok, J. et al.(1999). European recommendations for surface electromyography: deliverable of the SENIAM project. Enschede: Roessingh Research and Development; 1999.

Jeffreys, I. (2007). Warm-up revisited: The ramp method of optimizing warm-ups. UK Strength and conditioning association. Available at: <http://www.allproperformance.co.uk/PSCRampwar20up.pdf>. Accessed March 24, 2010.

Khorasani, MA., Sahebozamani, M., Tabrizi, KG, Yusof, AB. (2010). Acute Effect of Different Stretching Methods on Illinois Agility Test in Soccer Players. *J Strength Cond Res* Jan. 2010 Feb 18.

Little, T., Williams, A.G. (2006). Effects of Differential Stretching Protocols During Warm-Ups on High-Speed Motor Capacities in Professional Soccer Players. *J Strength Cond Res* Feb;20(1):203-7.

Morita, H, Shindo M. Yanagawa, S., Yoshida, T., Momoi, H., Yanaqisawa N. (1995). Progressive decrease in heteronumous monosynaptic 1a facilitation with human ageing. *Exp Brain Res.* 1995;104(1):167-70.

Pensini, M., and Martin A. (2004). Effect of voluntary contraction intensity on the H-reflex and V-wave responses. *Neurosci Lett.* 2004 Sep 9;367(3):369-74.

Perrier, E.T. (2009). The effects of static and dynamic stretching on reaction time and performance in a countermovement jump. Available at: <http://ir.library.oregonstate.edu/jspui/bitstream/1957/11825/1/ThesisFinalManuscript.pdf> Accessed April 14, 2010

Rosenbaum, D., Hennig EM. (1995). The influence of stretching and warm-up exercises on Achilles tendon reflex activity. *J Sports Sci.* Dec; 136(6):481-90.

Samuel, MN., Holcomb, WR., Guadagnoli, MA., Rubley, MD., Wallmann, H. (2008). Acute effects of static and ballistic stretching on measures of strength and power. *J Strength Cond Res.* Sep;22(5):1422-8.

Smith CA. (1994). The warm-up procedure: to stretch or not to stretch. A brief review. *J. Orthop Sports Phys Ther.* Jan; 19(1):12-7.

Subasi, SS., Gelecek, N., Aksakoglu G. (2008). Effects of different warm-up periods on knee proprioception and balance in healthy young individuals. *J Sport Rehabil.* May;17(2):186-205.

Zemkova, E. (2009). The acute and long-term effect of different sensorimotor exercises on neuromuscular performance. *Medicina Sportiva* 13(2): 1734-2260.

Yaggie, J., Campbell, B.M. (2006). Effects of Balance Training on Selected Skills. *J Strength Cond Res.* 20(2):422-8.