

**AKTIIVISEN VOIMATYYPPISEN
PALAUTUMISHARJOITTEEN VAIKUTUS
VOIMANTUOTTOON JA LIHASAKTIIVISUUTEEN**

Riina Flink

Kandidaatin tutkielma
Biomekaniikka
Kevät 2010
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Riina Flink. 2010. Aktiivisen voimatyyppisen palautumisharjoitteen vaikutus voimantuottoon ja lihasaktiivisuuteen. Kandidaatin tutkielma, Biomekaniikka, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. 52 s.

Voimatyyppisen harjoitteen vaikutusta voimaharjoituksesta palautumiseen on tutkittu hyvin vähän. Tämän tutkimuksen tarkoituksena olikin tutkia aktiivisen palautumisjakson vaikutusta raskaasta jalkaprässiharjoituksesta palautumiseen. Aktiivisen palautumisen ryhmä (AP, 5 koehenkilöä) suoritti harjoituksen jälkeen aktiivisen jalkaprässiharjoitteen (10x10) 30% kuormalla alkuperäisestä maksimikuormasta. Passiivisen palautumisen ryhmä (PP, 9 koehenkilöä) taas suoritti passiivisen palautumisjakson jonka aikana he vain istuivat. Koehenkilöiltä seurattiin erilaisia voimamuuttujia ja lihasaktiivisuuteen liittyviä muuttujia, kuten maksimaalinen isometrinen voima (MVC), voimantuotonopeus (RFD) ja maksimaalinen integroitu elektromyografia (iEMG) eli lihasaktiivisuus. Lähtötaso mitaus suoritettiin 1,5 tuntia ennen 10 x10 x 70 % jalkaprässisarjaa. Heti kuormituksen jälkeen (post 0h), heti palautumisjakson jälkeen (post 1h), sekä 2,5 h ja 20 h kuormituksen jälkeen suoritettiin seurantamittaukset. Koehenkilöiden vähäinen määrä ja heidän isot keskinäiset erot hankaloittivat tulosten tulkintaa. Suurien keskihajontojen vuoksi tilastollisesti merkitseviä eroja ei monessakaan muuttujassa löydetty, vaikka arvot erosivatkin keskiarvoiltaan paljon. Maksimivoiman tuloksista kuitenkin pystyttiin päättelemään, että PP – ryhmän palautuminen oli nopeampaa kuin AP – ryhmän. Maksimivoima oli palautunut PP – ryhmällä lähtötasolleen 20 tunnin kuluttua kuormituksesta kun AP – ryhmän MVC ei palautunut lähtötasolleen tutkimusasetelman aikana. Lisäksi juuri heti palautumisjakson jälkeen ryhmien voimatasoissa oli suurin ero. PP – ryhmä oli palautunut 79 %:iin lähtötasosta kun AP – ryhmä oli palautunut vain 63 %:iin lähtötasosta. Näiden tulosten perusteella voidaan päätellä, että AP – ryhmän palautumisharjoitteen kuorma oli todennäköisesti liian raskas. Tämän tutkimuksen perusteella ainakaan näin raskas voimatyyppinen palautumisharjoite ei nopeuta harjoituksesta palautumista vaan pikemminkin pidentää palautumisaikaa.

Avainsanat: aktiivinen palautuminen, voimatyyppinen harjoite, MVC, iEMG

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	4
2 VOIMAHARJOITUKSEN AIKAANSAAMA LIHASVÄSYMYS.....	5
2.1 Sentraalinen lihasväsymys	6
2.2 Perifeerinen lihasväsymys.....	8
3 ERILAISTEN VOIMAKUORMITUSTEN AIKAANSAAMA MUUTOS MAKSIMAALISESSA ISOMETRISESSÄ VOIMASSA (MVC) JA LIHASAKTIIVISUUDESSA (EMG).....	11
4 VOIMAHARJOITUKSESTA PALAUTUMINEN.....	13
4.1. Erilaisten voimaharjoitusten vaikutus palautumisaikaan.....	13
4.2 Aktiivinen palautumistapa lyhentää palautumisaikaa.....	16
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	20
6 MENETELMÄT	21
6.1 Koehenkilöt.....	21
6.2 Tutkimusasetelma	21
6.3 Analysointi	23
7 TULOKSET	26
7.1 Maksimivoima.....	26
7.2 Voimantuoton nopeus	27
7.3 Lihasaktiivisuus.....	33

8 POHDINTA	37
LÄHTEET	45
LIITE 1	49

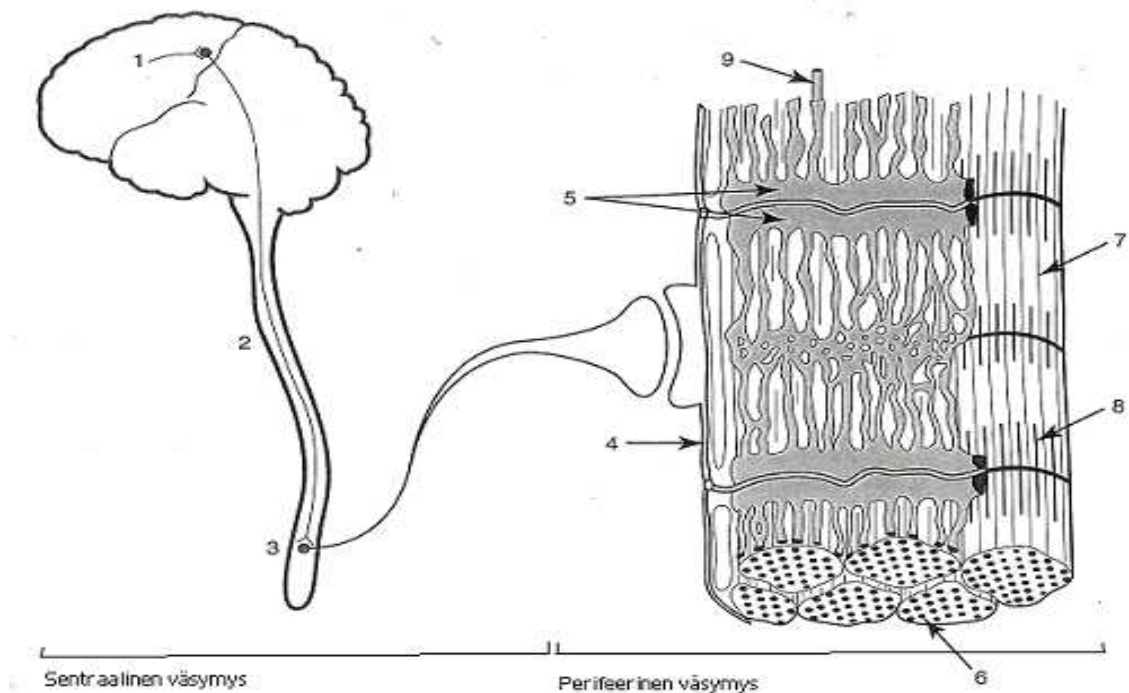
1 JOHDANTO

Fyysisestä kuormituksesta palautuminen mahdollisimman nopeasti on etenkin urheilijoiden kannalta tärkeää. Mitä nopeammin palautuminen tapahtuu, sitä useammin pystytään tekemään harjoituksia ja sitä tehokkaampia harjoitukset ovat, mitä palautuneemmassa tilassa keho on. Palautumisaikaan vaikuttaa harjoituksen laatu eli esimerkiksi tehdäänkö voimavaikeasti kestävyyssuorituksista harjoittelua sekä se, että miten raskas kyseinen harjoitus on ollut. Mitä enemmän harjoitus saa aikaan lihasväsymystä, sitä hitaampaa palautuminen on. Palautumista arvioidaan lajista riippuen joko hengityskaasumuuttujien tai maksimaalisen voiman ja lihasaktiivisuuden mittaamisen avulla. Palautumista voidaan nopeuttaa muun muassa hieronnalla, venyttelyillä, palautumisjuomilla sekä aktiivisilla palautumisharjoitteilla. Aktiivisten palautumisharjoitteiden on todistettu monessa tutkimuksessa edesauttavan palautumista huomattavasti. Tätä on kuitenkin tutkittu lähinnä kestävyysuorituksissa lajeissa, ja yleensä palautumisharjoitteetkin ovat olleet aerobisia. Lisäksi palautumisen mittana on käytetty usein maksimaalisen hapenottokyvyn palautumista lähtöarvoonsa. Kevyiden voimatyypisten palautumisharjoitteiden vaikutusta palautumisen nopeuteen on tutkittu toistaiseksi vähän. Tämän tutkimuksen tarkoituksena onkin selvittää, että nopeuttaako kevyt voimatyypinen palautumisharjoite maksimaalisen isometrisen voiman (MVC), voimantuottonopeuden (RFD, rate of force development), voimantuottoajan, maksimaalisen integroidun lihasaktiivisuuden (iEMG, integroitu elektromyografia), MVC/iEMG –suhteen sekä voimantuoton alun lihasaktiivisuuden ja keskivoimien palautumista lähtöarvoihinsa. Hypoteesina on, että aktiivinen palautumisharjoite lyhentää palautumisaikaa.

Tämä tutkimus suoritetaan osana laajempaa reserviläistutkimusta, jossa selvitetään voimaharjoituksen, kestävyysuorituksen sekä yhdistetyn voima- ja kestävyysuorituksen akuutteja vaikutuksia hermolihasjärjestelmään, aineenvaihduntaan, sydän- ja verenkiertoelimistöön sekä lihassoluvaurioihin. Lisäksi vertaillaan onko palautuminen nopeampaa passiivisella vai aktiivisella palautumistavalla. Päämääränä on kehittää sotilaiden harjoitusohjelmia niin, että he pystyisivät selviämään sotatilanteiden fyysisesti raskaista tilanteista paremmin.

2 VOIMAHARJOITUKSEN AIKAANSAAMA LIHASVÄSYMYS

Lihäsväsymyksen määritelmii on monia. Useimmiten se on kuitenkin määritelty alentuneena kyknä tuottaa maksimaalista voimaa tai tehoa (Taylor ym. 2000). Lihäsväsymys johtuu useimmiten sekä sentraalisista että perifeerisistä tekijöistä (Schillings ym. 2003). Sentraalinen väsymys saa alkunsa niistä osista, jotka ovat hermolihaspäätteen yläpuolella. Tällaisia ovat aivojen alueella olevat hermo-osat, kuten primaarinen aivokuori sekä perifeeriset hermot. Perifeeriseksi osiksi lasketaan hermolihasliitokset ja niiden alapuolella sijaitsevat rakenteet (kuva 1). (Schillings ym. 2003.)



KUVA 1. Lihäsväsymystä aikaansaavat tekijät. Sentraalisiin tekijöihin kuuluvat primaarisen aivokuoren aktivaation lasku (1), sentraalisen aktivaatiotason lasku (2) ja motoristen yksiköiden aktiivointikyvyn heikkeneminen (3). Perifeerisiin tekijöihin kuuluvat hermo- ja lihassolun johtumisnopeuden lasku (4), ärsytys- supistuskoplauksen heikkeneminen (5), energian saannin heikkeneminen ja aineenvaihduntatuotteiden kerääntyminen (6), poikittaissiltojen muodostumisen (7 ja 8) ja verenkierron heikkeneminen (9) sekä lihassoluvauriot. (Mukaeltu Enoka 2000, 375.)

Schillings ym. (2003) mukaan kahden minuutin isometrisen käsivarren fleksioharjoitteen aikaansaama väsymys on suurimmaksi osaksi perifeerisen väsymyksen aikaansaannosta. Heidän tutkimuksessaan lihasväsymys oli 89 % perifeeristä ja 12 % väsymyksestä johtui pelkästään sentraalisen aktivaatiotason huonontumisesta. Lisäksi he todistivat, että isometrisessä väsytyksessä väsymyksen takana on ensimmäisen minuutin aikana lähes kokonaan perifeeriset tekijät, kun taas toisen minuutin aikana väsymyksen takana ovat lähes kokonaan sentraaliset tekijät. Kuitenkin eri tekijät vaikuttavat isometrisen ja dynaamisen harjoituksen aikaansaamaan väsymykseen. Raastad & Hallén (2000) tutkivatkin nimenomaan dynaamisen liikkeen aikaansaamaa lihasväsymystä. He arvioivat dynaamisen harjoituksen aikaansaaman lihasväsymyksen taustalla olevan sekä perifeerisiä että sentraalisia tekijöitä, mutta eivät kommentoineet, miten iso osuus niillä on väsymykseen.

2.1 Sentraalinen lihasväsymys

Sentraalisen lihasväsymyksen saa aikaan primaarisen motorisen aivokuoren aktivaation lasku, sentraalisen aktivaatiotason lasku (Kuchinad ym. 2004, Todd ym. 2003), motoristen yksiköiden (MY) syttymistiheyden lasku (Kuchinad ym. 2004, Carpentier ym. 2001), joidenkin MY:iden syttymiskynnyksen nousu ja voiman lasku (Carpentier ym. 2001) sekä epäonnistuminen kaikkien alfa-motoneuronien sytyttämisessä (Andersen ym. 2003, Carpentier ym. 2001). Sentraaliseen väsymykseen voidaan laskea kuuluvaksi myös refleksi-toimintojen heikkeneminen, sillä se vaikuttaa suoraan alfa-motoneuronien syttymiseen (Garland & McComas 1990).

Sentraalisista tekijöistä johtuvaa lihasväsymystä mitataan nykyään usein TMS (transcranial magnetic stimulation) - tekniikan avulla. (Andersen ym. 2003, Carson ym. 2002, Hunter ym. 2008) TMS:ssä aivokuorelle annetaan suoraan magneettinen stimulus samalla kun koehenkilö suorittaa maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen. Tästä aiheutuva käyrä (superimposed twitch) kertoo kuinka hyvin koehenkilön aivot pystyvät aktivoimaan lihaksia. Mitä enemmän stimulus lisää voimakäyrän amplitudia, sitä vähemmän koehenkilö saa itse aktivoitua lihaksia. Väsymyksen seurauksena kyseinen amplitudi yleensä kasvaa, eli

väsyneenä ihminen pystyy aktivoimaan lihaksia vähemmän aivoista käsin. Tämä osoittaa, että on tapahtunut sentraalista väsymystä. (Hunter ym. 2008.) Sentraalista väsymystä voi arvioida myös lihas - tai hermostimulaation avulla, joissa periaate on sama kuin TMS:ssä. Niissä maksimaalisen supistuksen aikainen stimulus annetaan aivokuoren sijasta joko lihakseen tai hermoon. Mitä suuremman voimanlisäyksen stimulaatio saa aikaan, sitä enemmän on tapahtunut sentraalista väsymystä. Superimposed twitchistä voi laskea suoraan tahdonalaisen aktivaatiotason. Motivaatio vaikuttaa paljon superimposed twitchiin. Jos koehenkilöllä ei ole tarpeeksi motivaatiota supistaa lihaksia maksimaalisesti, tahdonalainen aktivaatiotaso on matala. (Allen ym. 1995.)

Isometrisessä väsytyksessä on todistettu, että tahdonalainen aktivaatiotaso laskee, kun ylläpidetään pientä voimaa pitkään. Sen sijaan jos isompaa voimaa pidetään yllä, (luonnollisesikin lyhyemmän aikaa kuin pienempää voimaa) ei aktivaatiotasossa tapahdu muutoksia. Niinpä isoilla kuormilla isometrisesti harjoiteltaessa väsymys on lähinnä perifeeristä. (Kuchinad ym. 2004.)

Yleinen ajatus on, että kun väsymyksen seurauksena alfa- motoneuroneiden johtuvuus huononee, alkavat motoriset yksiköt syttymään hitaammin. Tämä aiheuttaa voiman laskua. Kuitenkin Carpentier ym. (2001) mukaan täytyy ottaa huomioon, että motoristen yksiköiden syttymistiheyden muutos riippuu kuormituksen tyypistä, esimerkiksi lihastyötavasta sekä sen kestosta. He tutkivat first dorsal interosseuksen 67 motorisen yksikön käyttäytymistä kun tehtiin eripituisia isometrisiä supistuksia 50 %:lla MVC:stä (maximal voluntary contraction). Korkean syttymiskynnyksen MY:illä syttymistiheys nousi väsytyksen puoleksa välissä, mutta laski sen jälkeen. Matalan syttymiskynnyksen MY:illä syttymistiheys laski koko suorituksen ajan. Jotkin korkean syttymiskynnyksen omaavat MY:t lakkasivat toimimasta väsymyksen voimistuessa. Myös Kuchinad ym. (2004) totesivat noin 50 % MVC:stä tehdyn noin kolmen minuutin isometrisen väsytyksen laskevan korkean syttymiskynnyksien motoristen yksiköiden syttymistiheyttä.

Carpentier ym. (2001) tutkivat motoristen yksiköiden syttymistiheyden lisäksi myös syttymiskynnyksen muutosta isometrisen väsytyksen aikana. Matalan syttymiskynnyksen moto-

risilla yksiköillä syttymiskynnys pysyi muuttumattomana tai laski, kun taas korkean syttymiskynnyksen MY:iden kynnys nousi. Matalan syttymiskynnyksen MY:t pystyivät tuottamaan väsyneinä enemmän voimaa kuin levossa, kun korkean syttymiskynnyksen MY:iden voima puolestaan laski väsymyksen seurauksena.

Refleksitoimintojen huonontuminen vaikuttaa suoraan alfa - motoneuronien syttymisherkyyteen. Tämän on todennut muun muassa Garland ym. (1990) H - refleksimitoituksissaan, joissa he tutkivat, että voisiko refleksitoiminnan heikkeneminen olla syynä EMG:n (lihasaktiivisuus) laskulle. He päättelivät, että suurimmalla osalla koehenkilöistä väsymys ei voinut johtua ainakaan aivoista tulevan virran laskusta, koska väsytyksessä suoritettiin stimuloitujen suoraan lihaksen hermoa. Lisäksi EMG:n lasku ei johtunut hermolihaspäänteen tai lihassolumembraanin herkkyyden laskusta. Tutkijoiden mukaan EMG:n lasku johtui mitä ilmeisimmin juuri alfa- motoneuronien herkkyyden laskusta, johon refleksitoimintojen heikkeneminen vaikuttaa suuresti. Myös Carson ym. (2002) tulivat tutkimuksessaan johtopäätökseen, että golgin laitteiden ja lihasspindelien toiminnan muuttuminen väsymyksen seurauksena saattaa olla osasy syy voiman laskuun. He pohtivat, että myös ryhmän III- ja IV- afferenttien heikentynyt toiminta vaikuttaa alentuneeseen voimaan varsinkin eksentrisen väsymyksen seurauksena.

Sentraalinen väsymys ei häviä ainakaan vielä 14 minuutin sisällä kuormituksesta (Hunter ym. 2008). Onkin todistettu, että joidenkin MY:iden syttymistiheyden palautuminen väsymyksestä voi kestää jopa 30 minuuttia (Carpentier ym. 2001). Tästä voitaisiin päätellä, että myöskään sentraalinen väsymys ei häviä 30 minuutin sisällä kuormituksesta.

2.2 Perifeerinen lihasväsymys

Perifeerinen lihasväsymys johtuu hermolihaspäänteen, sarkolemman tai lihaksen sisällä impulssia johtavien osien hidastuneesta toiminnasta, jonka kautta myös ärsytys- supistuskoplaus ja poikittaissiltojen muodostuminen heikkenee. Perifeeristen osien toimintaa voidaan tutkia mittaamalla lihassolun johtumisnopeutta. (Schillings ym. 2003.) Perifeeristä

väsymystä saa aikaan myös aineenvaihduntatuotteiden, kuten laktaatin kerääntyminen (Bosco ym. 2000) ja energiavarastojen hupeneminen (Sahlin & Broberg 1990). Lisäksi soluvauriot lisäävät perifeeristä väsymystä (Ferri ym. 2006). Perifeeristä väsymystä voi tutkia väsyttämällä lihasta hermostimulaation avulla. Tällöin sentraaliset tekijät eivät vaikuta EMG:n tai MVC:n laskuun. (Garland ym. 1990.) Jos lepotilanteessa mitatun hermostimulaation amplitudi on suurempi ennen kuormitusta kuin mitä kuormituksen jälkeen, voidaan olettaa lihasväsymyksen taustalla olevan perifeerisiä tekijöitä (Todd ym. 2003). Lisäksi väsymyksen oletetaan olevan lähinnä perifeeristä jos EMG:ssä ei tapahdu muutoksia MVC:n kuitenkin laskettua. (Ferri ym. 2006). Isoilla kuormilla isometrisesti lihasta väsyttäessä lihasväsymyksen voidaan ajatella olevan lähinnä perifeeristä (Kuchinad ym. 2004), varsinkin suorituksen ensimmäisellä minuutilla (Schillings ym. 2003).

Lihassolun johtumisnopeuden ajatellaan vaikuttavan voimakkaasti lihasväsymykseen. Tätä tutkivat Schillings ym. (2003). He mittasivat johtumisnopeuden sekä ennen että jälkeen isometrisen väsytyksen. Lihassolun johtuvuus laski huomattavasti isometrisen väsytyksen ensimmäisellä minuutilla. Toisen eli viimeisen minuutin ajan johtuvuus pysyi muuttumattomana. Niinpä perifeerinen lihasväsymys oli väsytyksen ensimmäisellä minuutilla lähes kokonaan perifeeristä kun toisella minuutilla väsymystä aiheuttivat suurilta osin sentraaliset tekijät.

Perifeeristä väsymystä on arvioitu paljon mittaamalla laktaattikonsentraatiota, sillä laktaattikonsentraation ajatellaan olevan suorassa yhteydessä lihasväsymykseen (Draper ym. 2006). Lisäksi pH on yhteydessä laktaattiin, sillä laktaatin muodostuessa muodostuu myös vety-ioneita, jotka laskevat elimistön pH:ta. Onkin arveltu, että juuri elimistön pH:n lasku olisi todellinen syy lihasväsymykseen, eikä laktaatti itsessään. (Bosco ym. 2000.) Kuitenkin laktaatin mittaaminen on yleisempää kuin suora pH:n mittaaminen.

Lihakseen kertyneen laktaatin määrä riippuu paitsi henkilön henkilökohtaisista ominaisuuksista myös voimaharjoitteen laadusta. Hypertrofiaa lisäävän harjoitteen on todettu nostavan enemmän laktaattikonsentraatiota kuin voimaa lisäävän tai tehotyypin voimaharjoitteen. (McCaulley ym. 2009, Linnamo ym. 2000.) Izquierdo ym. (2009) havaitsivat laktaatin nou-

sevan jo yhden kymmenen toiston (10RM, repeat max) jalkaprässi sarjan jälkeen. Linnamo ym. (2000) havaitsivat veren laktaatin olevan 5x10x 67 % konsentristen jalkaprässitoistojen jälkeen noin 4 % koholla. Harjoitteen aikaansaama laktaattikonsentraatio on yhteydessä henkilön lihassolutyyppiin. Koehenkilöillä, joilla oli enemmän nopeita lihassoluja, havaittiin korkeammat laktaattikonsentraatiot kuin niillä, joilla oli enimmäkseen hitaita lihassoluja. (Linnamo ym. 2000.) Tästä voitaisiin päätellä, että ne joilla on enemmän nopeita lihassoluja saavat aikaisempiä suurempaa lihasväsymystä kuin ne joilla on enemmän hitaita lihassoluja.

Laktaatin lisäksi on tutkittu myös muiden aineenvaihduntatuotteiden yhteyttä lihasväsymykseen. Muun muassa ammoniumkonsentraatio on koholla jo yhden voimaharjoitussarjan jälkeen (Izquierdo ym. 2009). Alentunut kreatiinifosfaatin konsentraatio saattaa olla myös lihasväsymyksen taustalla (Raastad ym. 2000). Raastad ym. (2000) kuitenkin arvioivat sekä ammonium- että vety-ioni konsentraatioiden palautuvan lähtöarvoihinsa jo 5 minuuttia kuormituksen jälkeen, joten maksimivoimaa alhaisemmat arvot 5 - 20 minuutin kohdalla eivät voi olla metabolisten tekijöiden aikaansaannosta. He myös arvioivat, että Ca^{2+} (kalsium) -ionien vähentynyt vapautuminen sarkoplasmisesta kalvostosta saattaa hyvinkin olla alhaisen voimatason syynä. (Raastad ym. 2000.)

Soluvauriot lisäävät lihasväsymystä. Soluvaurioiden selvittämiseksi on usein mitattu kreatiinikinaasi-konsentraatiota. (Ferri ym. 2006.) Kreatiinikinaasi-konsentraatio nousee etenkin eksentrisessä työssä, jossa soluvaurioita on todettu syntyvän enemmän kuin konsentrisessä työssä (Carson ym. 2002). Myös dynaamisen liikkeen, jossa on mukana sekä eksentristä että konsentristä lihastyötä, on arveltu saavan aikaan lihassoluvauriota (Ferri ym. 2006). Raastad ym. (2000) tutkimuksessa kreatiinikinaasin konsentraatiolla ja lihasväsymyksellä ei puolestaan havaittu olevan mitään korrelaatiota.

3 ERILAISTEN VOIMAKUORMITUSTEN AIKAANSAAMA MUUTOS MAKSIMAALISESSA ISOMETRISISSÄ VOIMASSA (MVC) JA LIHASAKTIIVISUUDESSA (EMG)

Lihäsväsymystä mitataan usein maksimaalisen isometrisen voiman (maximal voluntary contraction, MVC) ja lihasaktiivisuuden mittaamisen (elektromyography, EMG) avulla. MVC suoritukselta voidaan laskea isometrisen maksimivoiman lisäksi RFD (rate of force development) eli maksimaalinen voimantuottonopeus. (McCaulley ym. 2009.) MVC ja EMG muuttujien muutosta erilaisten voimakuormitusten jälkeen on tutkittu paljon. Enimmäkseen kuormitusmallina on ollut kuitenkin isometrinen kuormitus. (Schillings ym. 2003, Kuchinad ym. 2004), harvemmin dynaaminen, jossa olisi mukana sekä konsentrista että eksentristä liikettä (Kroon & Naeije 1988). Isometrinen kuormitus saa aikaan erilaisia vasteita kuin dynaaminen (Babault ym. 2006). Riippumatta siitä, että miten lihaksen väsymys on saatu aikaan, on sekä MVC:n (Schillings ym. 2003, McCaulley ym. 2009, Izquierdo ym. 2009, Linnamo ym. 2000), RFD:n (McCaulley ym. 2009, Linnamo ym. 2000, Raastad ym. 2000) että maksimaalisen EMG-aktiivisuuden (McCaulley ym. 2009, Garland ym. 1990) havaittu useimmiten laskevan väsymyksen seurauksena. Täytyy ottaa kuitenkin huomioon, että usein RFD ja EMG –aktiivisuus saatetaan laskea erilailla. Esimerkiksi McGalley ym. (2009) mittasivat RFD 200ms suorituksen alun jälkeen, kun usein se voidaan laskea myös siitä kohtaa nousevaa voimakäyrää, jossa voimantuottonopeus on kaikkein suurinta. On saatu myös tutkimustuloksia, joissa MVC:ssä (McCaulley ym. 2009) tai EMG:ssä (Kuchinad ym. 2004, Linnamo ym. 2000, Ferri ym. 2006) ei tapahdu muutoksia voimakuormituksen jälkeen tai EMG –aktiivisuus on jopa noussut voimaharjoituksen jälkeen (McCaulley ym. 2009, Kuchinad ym. 2004, Carson ym. 2002). EMG:n käyttäytymisen riippuukin hyvin pitkälti lihastyötavasta, koska eksentristen liikkeiden ansiosta EMG usein nousee. Myös MVC:n laskun suuruus on usein riippuvainen lihastyötavasta. Esimerkiksi Carson ym. (2002) saivat konsentrisella väsytyksellä aikaan vain 8,3 % voimalaskun, kun eksentristen väsytyksen jälkeen lasku oli 31 %. Suuri voimanelasku eksentrisen harjoituksen jälkeen johtuu muun muassa syntyneistä soluvaurioista. (Carson ym. 2002.) Myös

harjoituksen kuormittavuus eli esimerkiksi painojen suuruudet vaikuttavat väsymykseen. Linnamo ym. (2000) saivat konsentrisella jalkaprässiliikkeellä aikaan pienemmillä painoilla 4,2 % MVC:n laskun ja isommilla painoilla 5,7 % laskun. Myös sillä on merkitystä, että minkä tyyppinen voimaharjoitus on. Tehotyypisessä harjoituksessa, jossa on pitkät sarjapalautukset, ei lihasväsymystä synny merkitsevästi. Myös hermostollisen- ja hypertofiaa lisäävän harjoitteen vasteet ovat erilaiset, sillä McCaulley ym. (2009) tutkimuksessa hermostollinen harjoite laski EMG - aktiivisuutta, kun taas hypertofinen harjoite nosti EMG - aktiivisuutta. Sen sijaan MVC laski kummassakin ryhmässä saman verran.

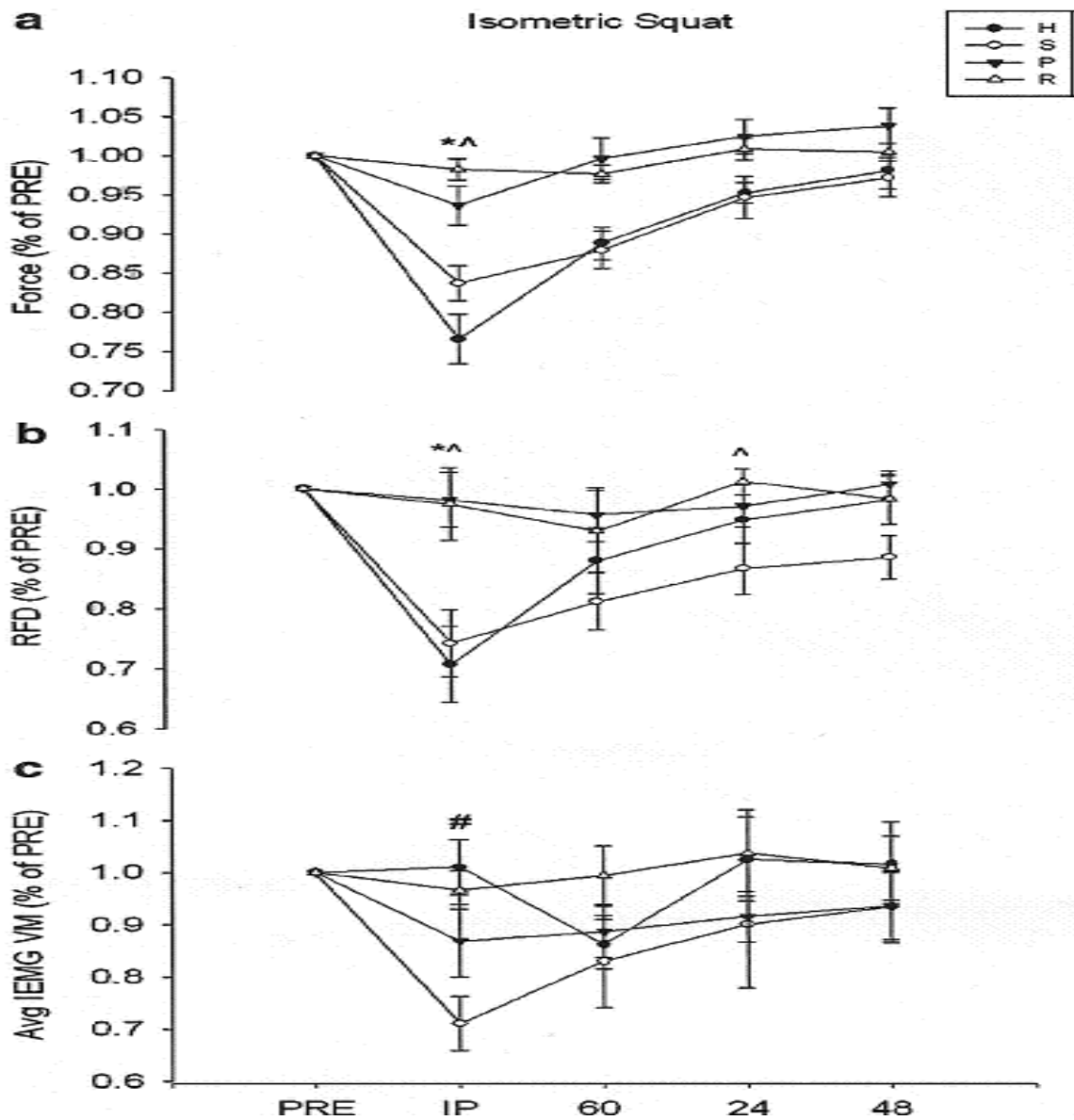
Lihaskäytön (EMG) ja voiman (MVC) havaitaan joissain tutkimuksissa olevan yhteydessä toisiinsa. Kun EMG palautuu lähtöarvoonsa, myös voima palautuu lähtöarvoonsa. (Kroon & Naeije 1988). Carson ym. (2002) kuitenkin osoittivat, että eksentristen liikkeiden avulla aikaansaatu lihasväsymys muuttaa EMG/MVC - suhdetta. Suhde kasvaa, eli väsynyt lihas tarvitsee enemmän lihasaktiivisuutta saavuttaakseen saman voimantason kuin väsymättömän lihas. Konsentrisessa työssä suhteen muuttumista ei havaittu. Tästä tutkijat päättelivät, että nimenomaan lihassoluvauriot saavat aikaan korkeamman lihasaktiivisuuden tarpeen.

4 VOIMAHARJOITUKSESTA PALAUTUMINEN

Se, miten kauan palautumiseen kuluu aikaa, on paljolti riippuvainen siitä, että miten väsynyt lihas on kuormituksen jälkeen. Lihäsväsymyksen suuruus on puolestaan riippuvainen kuormituksen laadusta. Isoja painoja käyttämällä ja eksentristä liikettä tekemällä saadaan aikaan kaikista suurin väsymys, josta palautuminen kestää kauan. Lisäksi harjoitustyypin (esimerkiksi hypertrofinen vs. hermostollinen) ja liikenopeudet kuormituksessa vaikuttavat palautumiseen. Palautumista tutkitaan paitsi EMG:n ja MVC:n avulla myös laktaattikonsentraatiota ja pH:ta mittaamalla. Varsinkin akuutti lihäsväsymys on usein verrannollinen laktaattikonsentraatioon. Mitä enemmän laktaattia kertyy elimistöön, sitä väsyneempi lihas on. Se, miten nopeasti laktaatti poistuu kokonaan elimistöstä, on riippuvainen monesta tekijästä, kuten palautumistavasta. Erityisesti sentraalista väsymystä tutkittaessa on käytetty RPE:n (rating of perceived exertion, koetun kuormituksen luokitus) kyselyä.

4.1. Erilaisten voimaharjoitusten vaikutus palautumisaikaan

Palautumisnopeus riippuu paljon voimaharjoitteen laadusta. McCaulley ym. (2009) vertasivat hypertrofisen (H), voimatyyppisen (S) ja tehotyypin (P) kyykkyharjoituksen vasteita ja palautumista Vastus Medialis (VM) lihaksessa. Tehoharjoituksessa MVC, RDF tai EMG eivät muuttuneet merkittävästi harjoituksen seurauksena. Tutkijat arvelivat tämän johtuvan pitkistä palautumisajoista sarjojen välissä, jolloin esimerkiksi laktaattia ei ehtinyt kertyä lihaksiin. Hypertrofisessa ja voimatyyppisessä harjoitteessa MVC ja RDF laskivat samassa suhteessa, mutta olivat palautuneet lähes lähtöarvoihinsa 60 minuuttia kuormituksesta. RDF:n palautuminen jatkui 60 minuutin jälkeen nopeammin hypertrofisen harjoitteen tehneellä ryhmällä kuin mitä voimaryhmällä. Myös hypertrofisen harjoitteen ja voimaa lisäävän harjoitteen EMG – aktiivisuuserot olivat lähes hävinneet 60 minuutin jälkeen kuormituksesta. Tulosten perusteella palautumisaika on lähes samanpitkin sekä voimaa että hypertrofiaa lisäävän voimaharjoittelun jälkeen. Voimakas lihäsväsymys kestää 60 minuuttia tällaisten kuormitusten jälkeen. (McCaulley ym. 2009, kuva 2)



KUVA 2. Hypertrofisen (H), voimaa lisäävän (S) ja tehotyypin (P) jalkakyykyharjoituksen aikaansaamat vasteet. Arvot mitattiin ennen harjoitusta (PRE), heti harjoituksen jälkeen (IP) sekä palautumisen aikana 60 minuuttia, 24 tuntia ja 48 tuntia harjoituksesta. Arvot ovat prosentuaalisia verrattuna lepotilanteeseen (R). (a) isometrinen voima, (b) RFD (voimantuottonopeus), (c) keskimääräinen iEMG. * H protokolla eroaa tilastollisesti merkitsevästi R protokollan tasosta. ^ S protokolla eroaa tilastollisesti merkitsevästi R protokollan tasosta. # H protokolla eroaa tilastollisesti merkitsevästi S protokollan tasosta. (McCaulley ym. 2009).

Erittäin raskaasta (hypertrofis- hermostollinen) voimaharjoituksesta palautuminen kestää usein yli 24 tuntia. Ensimmäisten 11 tunnin sisällä tapahtuu kuitenkin niin sanottu nopea palautuminen, jossa voimatase nousee huomattavasti. Sen jälkeen voimatase pysyy stabiilina tai jopa laskee 22 tunnin ajan. Kun sama voimaharjoite tehdään pienemmillä kuormilla, voimatase palaa alkutasolleen jo kolmen tunnin sisällä. (Raastad ym. 2000.)

Harjoitteessa käytetyllä lihastyötavalla on suuri merkitys palautumisnopeuteen. Carson ym. (2002) todistivat, että eksentrisen kuormituksen jälkeen voima palaa huomattavasti hitaammin kuin konsentrisen kuormituksen jälkeen. 24 tuntia eksentrisen väsytyksen jälkeen voima oli vielä 25 % ja 48 tuntia kuormituksen jälkeen 13 % lähtötasea alhaisempi. Konsentrisen väsytyksen jälkeen lihasten voima palasi jo kahden tunnin sisällä. Eksentrisen työn pidempään palautumisaikaan on ilmeisesti syynä eksentrisen työn aiheuttamat lihassoluvauriot. (Carson ym. 2002.) Lihassoluvaurioita ilmenee myös dynaamisessa työssä, jossa konsentrisen ja eksentrisen lihastyö vuorottelevat. Siksi myös tällaisesta harjoituksesta palautuminen kestää yli 24 tuntia. (Kroon & Naeije 1988.)

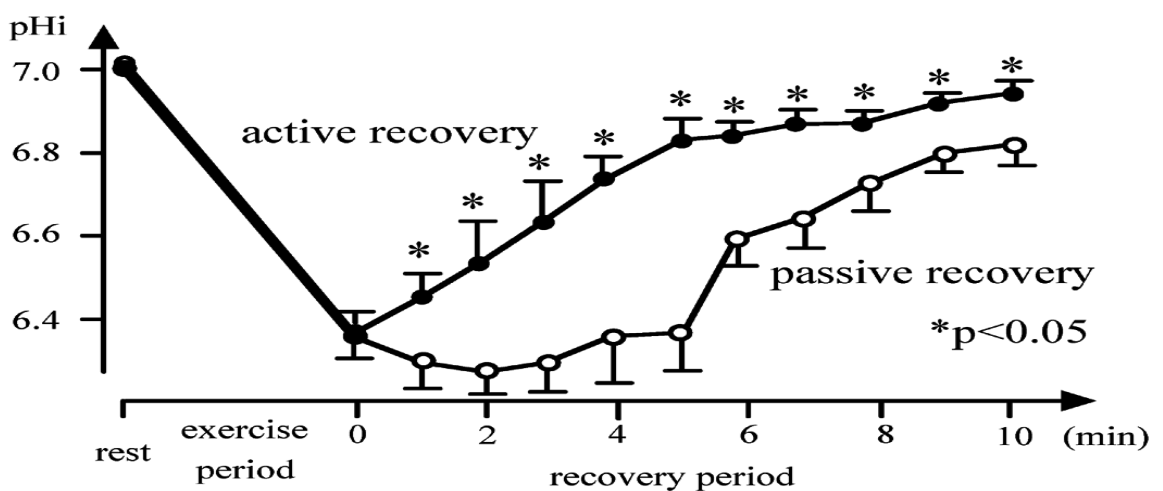
Hunter ym. (2008) tutkivat isometrisen harjoituksen aikaansaamia voiman muutoksia ja lyhyen ajan palautumista. Tutkijat totesivat, että nuorilla aikuisilla MVC oli 14 minuutin jälkeen 80 % alkutasosta, eli täydellistä palautumista ei ollut tapahtunut. Myöskään superimposed twitch ei ollut palautunut 14 minuutin aikana alkutasolleen. He huomasivat lihassoluvaurioiden ja sentraalisen väsymyksen olevan yhteydessä toisiinsa, sillä MVC muuttui superimposed twitchin mukana sekä lihassoluvaurioiden että palautumisen aikana. Johtopäätöksenä oli, että sentraalinen väsymys ei hävinnyt kokonaan 14 minuutin aikana.

Ferri ym. (2006) todistivat tutkimuksessaan, että ikääntymisellä ei ole vaikutusta neuro-muskulaariseen palautumiseen. Sen sijaan he osoittivat liikenopeudella olevan vaikutusta voimataseen palautumiseen. Hitainta palautuminen oli suurilla kulmanopeuksilla tehtyjen liikkeiden jälkeen. Kuitenkin kaikilla nopeuksilla tehdyistä harjoituksista oli palaututtu 24 tunnin aikana. Tosin kreatiinikinaasia ja LDH: ta (laktaattidehydrogenaasi) havaittiin verestä vielä 48 tuntia harjoituksen jälkeen, joten lihassoluvauriot eivät olleet vielä parantuneet, vaikka voimaominaisuudet ja lihassoluvaurioiden olivatkin lähtötaseillaan.

4.2 Aktiivinen palautumistapa lyhentää palautumisaikaa

Aktiivinen palautumistapa vähentää sekä sentraalista että perifeeristä lihasväsymystä (Draper ym. 2006). Kuitenkin tätä on tutkittu lähinnä kestävyystyypisissä lajeissa (esim. Thevenet ym. 2007) ja harvemmin voimalajeissa, varsinkin niin, että aktiivinen palautumisjaksokin olisi voimatyypistä kuten Sairyo ym. (2003) tutkimuksessa. Laktaattikonsentraation ja lihasväsymyksen on ajateltu olevan yhteydessä toisiinsa, niinpä laktaatin poistumista mitataan usein tutkittaessa palautumisnopeutta (Draper ym. 2006). Se, että miten nopeasti laktaatti poistuu elimistöstä voimaharjoituksen jälkeen, riippuu monesta tekijästä.

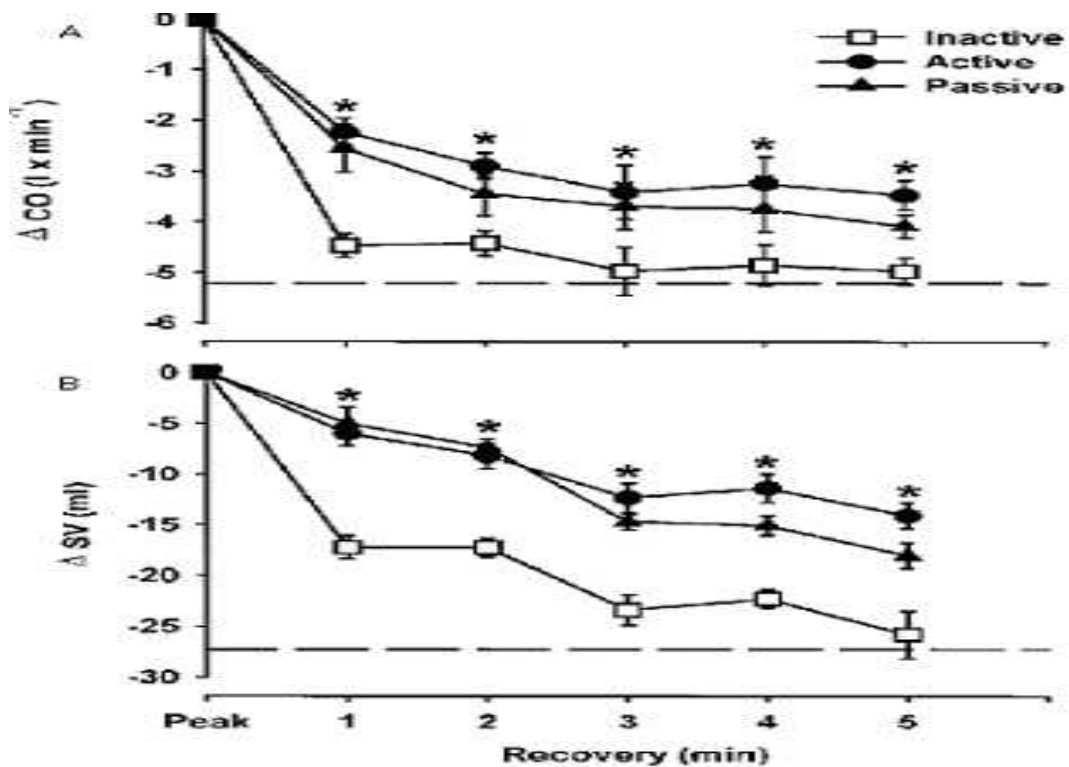
Sairyo ym. (2003) tutkivat aktiivisen (active) ja passiivisen (passive) palautumisen vaikutusta laktaattikonsentraatioon mittaamalla lihaksen pH:ta. He mittasivat lihaksen pH:ta in vivo (lihaksen sisäisesti) isometrisiä ranteen fleksioita sisältävän voimaharjoituksen aikana ja jälkeen. Passiivisella palautumisella pH alkoi palautua vasta kuuden minuutin jälkeen kuormituksesta, kun aktiivisella palautumisella pH alkoi nousta jo ensimmäisellä minuutilla (kuva 3). Tästä he päättelivät, että tutkimuksessa käytetty 10 minuutin laskevan kuorman palautumisharjoite edesauttaa pH:n palautumista normaalitasolleen ja laktaatin poistumista lihaksista.



KUVA 3. Lihaksen sisäinen pH ranteen koukistajien isometrisen kuormituksen aikana ja jälkeen.
*Tilastollisesti merkitsevä ero passiivisen ja aktiivisen palautumistavan välillä. (Sairyo ym. 2003.)

Laktaatin poistuminen elimistöstä ja verenvirtaus ovat yhteydessä toisiinsa (Draper ym. 2006). Aktiivinen palautuminen pitää sykkeen korkeammalla ja verenvirtauksen parempana mitä passiivinen palautuminen (Draper ym. 2006, Carter ym. 1999). Carter ym. (1999) vertailivat aktiivista, passiivista ja inaktiivista palautumista. Aktiivisessa (active) palautumisessa poljettiin pyörää itse, passiivisessa (passive) palautumisessa polkupyörän pedaaleja liikutettiin niin, ettei koehenkilön tarvinnut ajatella asiaa ja inaktiivisessa (inactive) palautumisessa istuttiin. Sekä aktiivinen että passiivinen polkeminen piti valtimoiden keskipaineen lähes yhtä korkealla verrattuna inaktiiviseen palautumiseen. Myös sentraalinen verenkierto ja minuuttitulavuus (kuva 4A) pysyivät korkealla kummassakin palautumismallissa. Syke sen sijaan pysyi selvästi korkeammalla aktiivisessa palautumismallissa kuin muissa palautumismalleissa. Palautumisharjoituksen lopussa sydämen iskuutilavuus oli pudonnut selkeästi vähemmän aktiivisessa palautumisessa kuin muissa palautumismalleissa. Kuitenkin passiivinen polkeminen piti iskuutilavuuden huomattavasti korkeammalla kuin istumispalautuminen (kuva 4B). Tulosten perusteella tutkijat päättelivät, että nimenomaan lihaspumpit ovat tärkein tekijä pitämään minuuttitulavuuden ja iskuutilavuuden korkealla palautumisen aikana ja sentraalisella käskytyksellä ei ole osallisuutta asiaan. (Carter ym. 1999.)

Myös Draper ym. (2006) tulivat tutkimuksissaan johtopäätökseen, että syke ja verenvirtaus pysyvät parempana aktiivisen palautumisen avulla. Lisäksi he osoittivat laktaatin poistuvan elimistöstä nopeammin aktiivisella palautumisella, suurelta osin juuri paremman verenvirtauksen vuoksi. Bonen ym. (1976) arvelevat suuremman verenvirtauksen edistävän laktaatin hapettumista. Hapettumisen kautta laktaatista saadaan yhdiste, jota sydän ja luurankolihakset käyttävät hyväkseen (Bonen ym. 1976). Erityisesti hitaat lihassolut pystyvät hapettamaan laktaattia ja käyttämään sitä energianlähteenään. Ilmeisesti juuri siksi vain matalaintensiteettinen palautumisharjoite, jossa käytetään hitaita lihassoluja, edesauttaa laktaatin poistumista elimistöstä. (Bonen ym. 1978.)



KUVA 4. (A) Muutokset sydämen minuuttitilavuudessa (CO, cardiac output) ja (B) isku-tilavuudessa (SV, stroke volume) kolmella erilaisella palautumistavalla. Katkoviiva kuvaa arvoja ennen kuormitusta. * Tilastollisesti merkitsevät erot inaktiivisen ja kahden muun palautumismallin välillä. (Mukaeltu Carter ym. 1999.)

Aktiivisen palautumistavan on havaittu paitsi nopeuttavan laktaatin poistumista elimistöä, vaikuttavan myös muihin fysiologisiin muuttujiin. Veren valkosolumäärä yleensä vähenee aerobisen kuormituksen jälkeen. Aktiivisen palautumisen on todistettu hillitsevän tätä vähenemistä ensimmäisten 15 minuutin aikana kuormituksesta. (Wigernæs ym 2000a.) Aktiivinen palautuminen hillitsee myös harjoituksen jälkeistä vapaiden rasvahappojen lisääntymistä veressä. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että elimistö käyttää vapaita rasvahappoja energianlähteenään aktiivisen palautumisen aikana. (Wigernæs ym. 2000b.)

Hannie ym. (1995) saivat monen tutkimuksen kanssa ristiriitaisia tuloksia, kun he tutkivat hypertofisesta penkkipunnerrusharjoituksesta palautumista. Osa koehenkilöistä suoritti passiivisen palautumisen maaten (PR) ja osa suoritti aktiivisen palautumisen polkupyöräergometrillä polkien (AR). Laktaattikonsentraatiot eivät eronneet ryhmien välillä palautumis-

jakson jälkeen. Tutkijat kuitenkin päättelivät, että eroja ei havaittu, koska PR ryhmän laktaatinpoistokyky oli keskimäärin parempi kuin AR ryhmän. Johtopäätöksenä tutkijat esittivät, että 43 %:lla maksimaalisesta hapenottokyvystä tehty aktiivinen palautumisharjoite saattaa edesauttaa kuormituksesta palautumista.

Draper ym. (2006) mukaan aktiivinen palautuminen vuorikiipeilyspurttien välissä alentaa seuraavan spurtin RPE:tä. He pitivät RPE:tä sentraalisen väsymyksen merkinä. Mitä enemmän RPE laski, sitä enemmän tapahtui sentraalista väsymystä. Niinpä RPE:n vähäisempi lasku aktiivisen palautumisen ansioista osoitti, että aktiivinen palautuminen vähentää sentraalista väsymistä. Lisäksi he ajattelivat laktaatin nopeamman poistumisen aktiivisen palautumisen ansioista olevan merkinä vähentyneestä perifeerisestä väsymyksestä.

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, että nopeuttaako voimatyypinen palautumisharjoite voimaharjoituksesta palautumista. Varsinainen harjoitus oli hyvin raskas jalkaprässiharjoite ja palautumisharjoitteen oli tarkoitus olla melko kevyt. Aktiivisen palautumisen vaikutusta tutkittiin vertailemalla aktiivisen palautumisharjoitteen (AP) tehneen ja passiivisen palautumisharjoitteen (PP) tehneen ryhmän voima- ja lihasaktiivisuusmuuttujia. Hypoteesina aiempien tutkimusten perusteella oli, että maksimaalinen isometrinen voima (MVC), voimatuottonopeus (RFD), voimantuoton alun keskivoimat ja EMG-aktiivisuus sekä voima/EMG – suhde laskevat kuormituksen seurauksena. Sen sijaan voimantuottoajan odotetaan pidentyvän kuormituksen seurauksena. Kaikkien näiden muuttujien odotetaan palaavan lähtötasolleen nopeammin aktiivisen palautumisharjoitteen suorittaneella ryhmällä kuin mitä passiivisen palautumisen ryhmällä.

6 MENETELMÄT

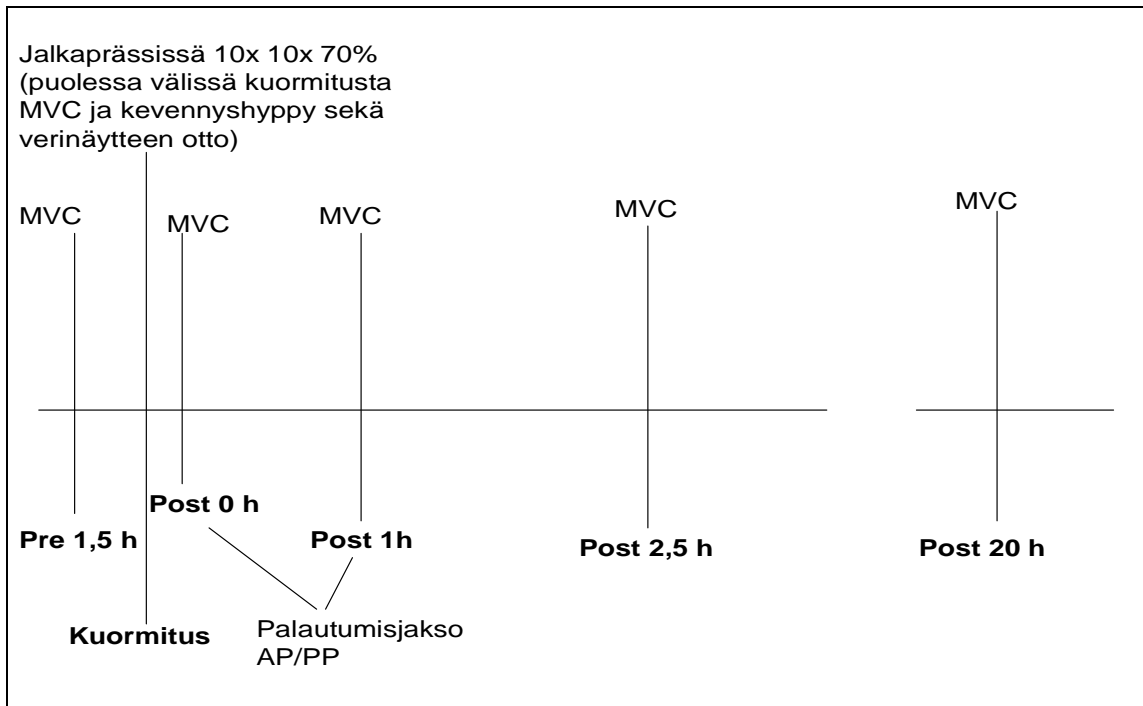
Tutkimus oli osa laajempaa tutkimusta ja tutkimusten aikana mitattiin myös muita muuttujia kuin mitä tässä työssä analysoidiin. Joiltain koehenkilöitä otettiin esimerkiksi biopsioita ja mikrodialyysijä. Lisäksi mittausaikapisteitä oli enemmän kuin mitä tässä työssä analysoidiin. Esimerkiksi kuormituksen välissä mitattiin MVC:tä ja kevennyshyppyjä ja otettiin näytteenä, joita tässä työssä ei analysoida. Kyseiset suoritukset voivat kuitenkin vaikuttaa kuormituksen rasittavuuteen ja siksi ne mainitaan tutkimusasetelman ohessa.

6.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 16 vapaaehtoista reserviläismiestä, jotka suorittivat voimatyypin tutkimusasetelman joko aktiivisella (AP) tai passiivisella (PP) palautumisjaksolla. Projektin koehenkilöt oli valittu edellisen vuoden samantyyppisessä tutkimuksessa mukana olleista sattumanvaraisesti. Aktiivisen palautumisen ryhmän mitat olivat 182 ± 9 senttimetriä ja $83 (\pm 16)$ kilogrammaa. He olivat iältään $25 (\pm 2)$ vuotta. Passiivisen ryhmän mitat olivat $180 (\pm 8)$ senttimetriä ja $80 (\pm 11)$ kilogrammaa. He olivat iältään $24 (\pm 3)$ vuotta. Kaikkia koehenkilöitä informoitiin tutkimuksen tarkoituksesta ja mahdollisista riskeistä ennen kuin he allekirjoittivat tutkimukseen osallistumiskaavakkeen (liite 1).

6.2 Tutkimusasetelma

Koko protokollaan kuului yhteensä kahdeksan aikapistettä, joista tässä työssä analysoidiin vain viisi (pre 1,5h, post 0h, post 1h, post 2,5, post 20h). Mittausajankohdat on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Analysoitavat mittauspisteet.

Alkumittaukset. Koehenkilöt suorittivat alkumittaukset 4-14 päivää ennen varsinaista kuormituspäivää. Tässä mittauksessa he saivat harjoitella suorituksia ja samalla määritettiin isometrinen maksimivoima (MVC) ja jalkaprässin maksimikuorma.

Kontrollimittaukset. Varsinaisen kuormituspäivän aamuna suoritettiin kaksi kontrollimitausta. Kontrollimittauksissa määritettiin uudestaan MVC. Viimeinen kontrollimittaus tehtiin 1,5 tuntia ennen varsinaista kuormitusta (pre 1,5h). Kyseisen aikapisteen arvoja on käytetty tässä työssä lähtötason arvoina.

Varsinainen kuormitus. Aluksi koehenkilö lämmitteli jalkaprässissä kevyillä kuormilla. Varsinaisen kuormituksen kuorma laskettiin alkumittauksissa määritetystä jalkaprässin maksimikuorman suorituksesta. Koehenkilö teki yhteensä 10*10*70 % toistoa, 2 minuutin sarjapalautuksilla. Viiden sarjan jälkeen häneltä mitattiin MVC, hän teki kaksi kevennyshyppyä ja häneltä otettiin verinäyte. Näihin kului yhteensä aikaa noin 4 minuuttia. Tämän jälkeen hän teki vielä viisi jalkaprässisarjaa, jonka jälkeen (post0h) koehenkilö suoritti taas MVC:n ja kevennyshyppyä ja häneltä otettiin verinäyte. Jalkaprässiliikkeissä kaikki liikkeet

pyrittiin tekemään tasaisesti ja loppuun saakka. Koehenkilöä autettiin tarpeen vaatiessa jalkaprässin jalkalaudassa kiinni olevalla apukahvalla, jotta sarja saatiin loppuun. Lisäksi painoja muutettiin sarjojen väleillä niin, että kaikki sarjat saatiin loppuun saakka.

Palautumisjakso. Viisi koehenkilöä suoritti aktiivisen palautumisjakson (AP) ja yhdeksän koehenkilöä passiivisen palautumisjakson (PP). PP-ryhmän koehenkilöt istuivat tuolilla tunnin. He saivat käyttää vain käsiään lukiessaan tai käyttäessään tietokonetta. AP-ryhmän koehenkilöt suorittivat tunnin ajan aktiivista palautumisharjoitetta. He tekivät yhteensä $10 \times 10 \times 30\%$ jalkaprässisarjaa, 6 minuutin sarjapalautuksilla.

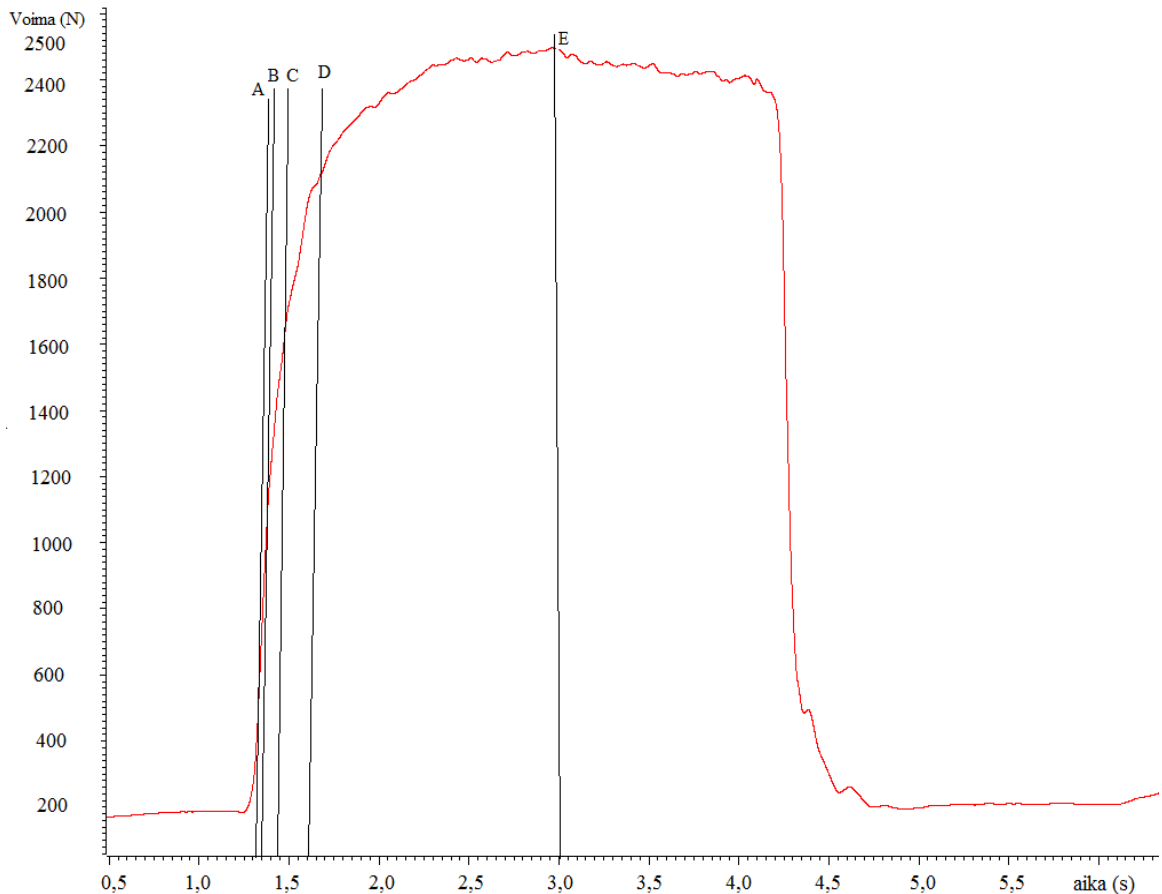
Seurantamittaukset. Välittömästi palautumisjakson jälkeen (post 1h) kaikilta koehenkilöiltä mitattiin jälleen MVC ja kevennyshyppy. Lisäksi seurantamittaukset suoritettiin 2,5 (post 2,5) ja 20 (post 20) tunnin päästä kuormituksesta.

Kaikissa MVC suorituksissa koehenkilö pyrki tekemään maksimaalisen jalkojen ojennuksen mahdollisimman nopeasti ja ylläpitämään maksimivoimaa noin 5 sekuntia. Jokaisessa aikapisteessä MVC mittaus suoritettiin vähintään kahdesti. Jos kaksi maksimivoimaa arvoa poikkesivat paljon toisistaan, suoritettiin kolmas mittaus. Paras suoritus otettiin mukaan analyysiin. Koehenkilöllä oli koko protokollan aikana EMG-elektrodit Vastus Lateraliksessa, Vastus Medialiksessa, Rectus Femoriksessa ja Biceps Femoriksessa. Näistä vain Vastus Lateralis ja Vastus Medialis otettiin mukaan analyysiin.

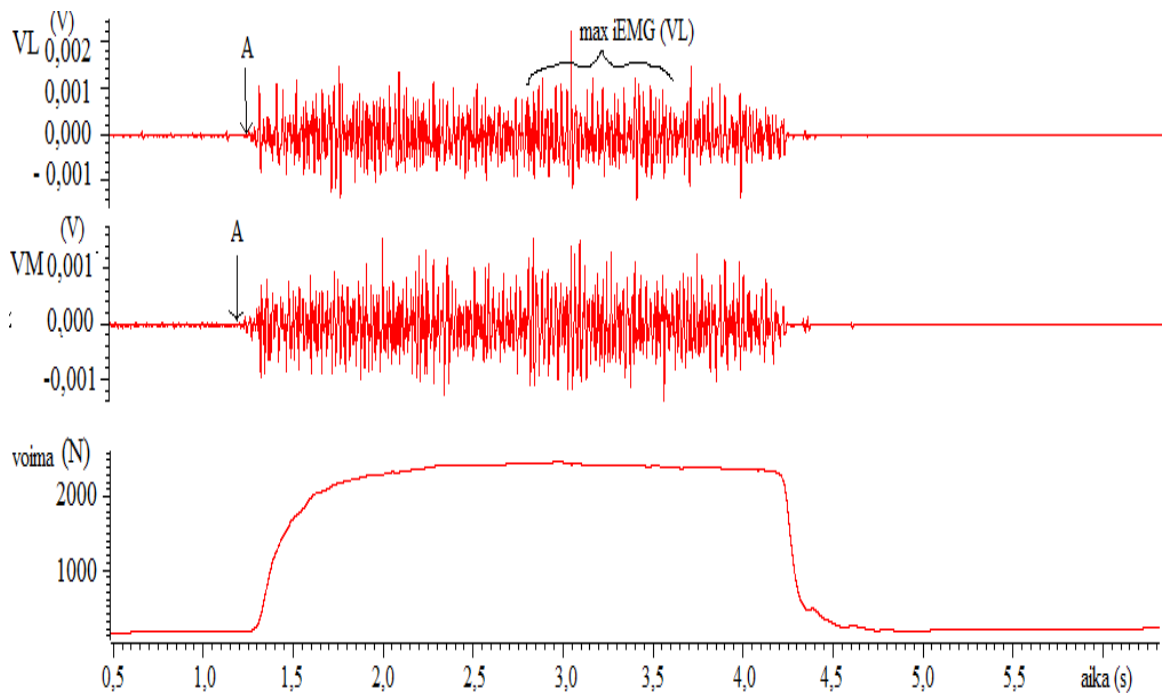
6.3 Analysointi

Mitattavat muuttujat. MVC suorituksesta mitattiin maksimaalisen isometrisen voiman lisäksi monia muita muuttujia (kuva 6). Voimantuottonopeus (RFD, rate of force development) määritettiin voimakäyrän jyrkimmin nousevasta kohdasta, viiden millisekunnin ajalta (kuva 6). Voimantuottoon käytetty aika määritettiin niistä kohdista, jolloin voima oli saavuttanut 25%, 50%, 75% ja 100% maksimivoimasta (kuva 6). Keskiavoima määritettiin voimantuoton alusta 100 millisekunnin välein 500 millisekuntiin saakka. EMG – signaa-

leista (kuva 7) määritettiin Vastus Medialiksen (VM) ja Vastus Lateraliksen (VL) maksimaalinen iEMG (1500-2500 ms lihasaktiivisuuden alusta, kuva 7). Lisäksi iEMG määritettiin kummankin lihaksen lihasaktiivisuuden alusta 100 millisekunnin välein 500 millisekuntiin saakka. Lopuksi vielä laskettiin voima/EMG – suhde jakamalla MVC- arvo maksimi iEMG arvolla (MVC/max iEMG).



KUVA 6. Yhden koehenkilön MVC suoritus (lähtötaso). Käyrältä analysoitiin MVC (E), RFD (B) sekä voimantuottoajat jotka käytetään, jotta saavutetaan eri voimatasot (A= 25%, C= 50%, D= 75%, A= 100%). Lisäksi analysoitiin keskivoimia voimantuoton alusta (käyrän äkkinäinen nousukohta) 100 millisekunnin välein 500 millisekuntiin saakka.



KUVA 7. Vastus Lateraliksen (VL) ja Vastus Medialiksen (VM) EMG – käyrät ja vastaava MVC suoritus. Käyriltä analysoitiin aktiivisuuksia (iEMG) lihasaktiivisuuden alusta (A) 100 millisekunnin välein 500 millisekuntiin asti. Lisäksi määritettiin maksimi iEMG –arvo lihasaktiivisuuden alusta 1,5 - 2,5 sekunnin ajalta (VL:n max iEMG).

Mittalaitteet. Harjoitus tehtiin jalkaprässissä (David 210), jossa lähtökulmana käytettiin noin 60 astetta. MVC mitattiin jalkadynamometrillä (liikuntabiologian laitos), jossa kulma oli 107 astetta. EMG -mittauksessa käytettiin bipolaarisia pintaelektrodeja (liikuntabiologian laitos, Suomi), jotka asetettiin lihaksiin SENIAMin ohjeen mukaisesti. Ensin mitattiin oikeat paikat. Tämän jälkeen paikoista poistettiin ihokarvat, paikat hiottiin hiomapaperilla ja puhdistettiin desinfiointiaineella. Kohtiin tehtiin pysyvät tatuoinnit. Elektrodeihin laitettiin elektrodipastaa ja ne kiinnitettiin teipeillä tatuointien kohdille. Elektrodiin resistanssi tarkistettiin resistanssimittarilla (Resist.m. Fluke 87). Tutkimuksessa käytettiin langatonta EMG - lähetintä (NORAXON USA.INC. serial no: 23104010, model TM2400R), joka lähetti signaalin AD- muuntimelle (CED limited, Cambridge, England, Serial no : M 2378). Data kerättiin tietokoneelle Signal ohjelmalla, jossa oli valmis analysointiohjelma muuttujien laskuun.

Tilastolliset analyysit. Tilastollisiin analyysiin käytettiin SPSS 15.0 ohjelmaa. Tilastolliset analysoinnit ryhmien sisäisille muutoksille tehtiin nonparametrisilla Friedmanin ja Wilcoxonin testeillä. Ryhmien väliset muutokset määritettiin Mann-Whitneyn testillä. Nonparametriset testit valittiin aineiston pienen koehenkilömäärän ja monien poikkeavien arvojen vuoksi. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi valittiin 0,05 ($p < 0,05$, yksisuuntainen).

7 TULOKSET

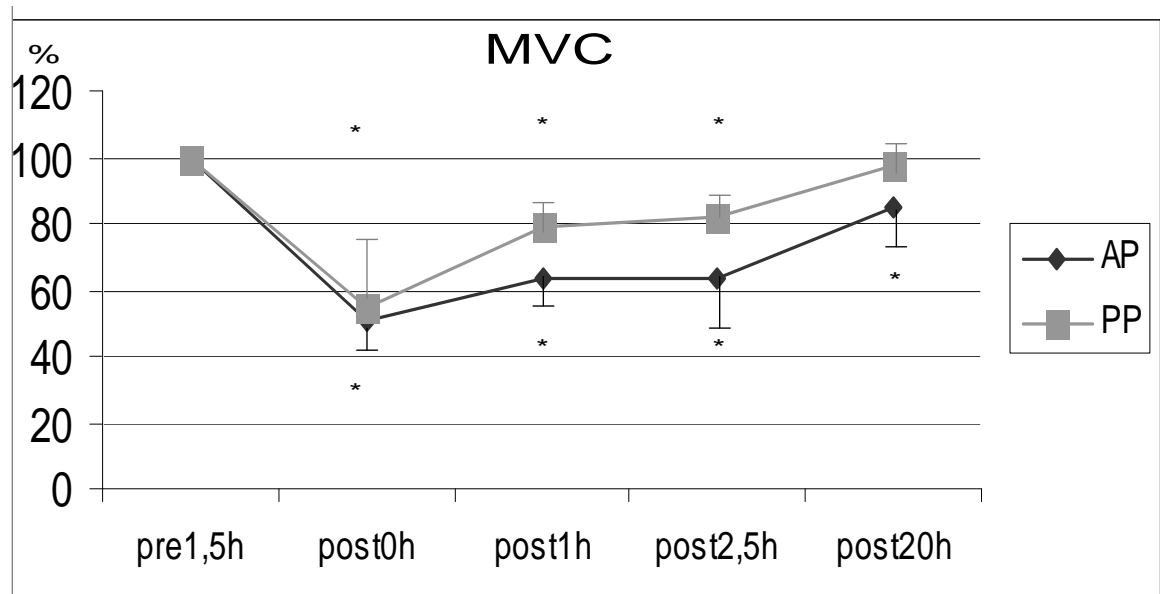
Kaikkien mitattujen muuttujien lähtötasoissa oli pieniä eroja ryhmien välillä, mutta missään muuttujassa lähtötasot eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Lisäksi monessa muuttujassa keskihajonnat olivat suuria. Ryhmän sisäiset muutokset tarkoittavat kyseisen mittausajankohdan muutosta oman ryhmän lähtötaso- (pre 1,5h) arvoon. Ryhmien väliset erot tarkoittavat ryhmien (AP ja PP) eroja toisistaan kyseisessä mittauspisteessä.

7.1 Maksimivoima

Taulukossa 1 on esitettyä ryhmien maksimivoiman absoluuttiset ja suhteelliset muutokset. Maksimaalinen isometrinen voima laski kummassakin ryhmässä kuormituksen seurauksena noin puoleen (PP 45% ja AP 49%). Tämän jälkeen MVC alkoi palautua kummassakin ryhmässä tasaisesti, kuitenkin niin, että PP - ryhmän arvot nousivat hieman nopeammin kuin AP - ryhmän (kuva 8). PP - ryhmä saavutti lähtötasonsa 20 tunnin kuluttua kuormituksesta. Aktiivisen palautumisen ryhmä ei saavuttanut lähtötasoa mittausten aikana. Ryhmien välillä ei ollut minkään mittauspisteen kohdalla tilastollisesti merkitseviä eroja, ei edes 20 tunnin kohdalla, jossa passiivinen ryhmä oli saavuttanut lähtötasonsa, mutta passiivinen ryhmä ei.

TAULKUKKO 1. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien absoluuttiset ja suhteelliset maksimaaliset isometriset voimat eri aikapisteissä (keskiarvo \pm keskihajonta).

	AP (N)	AP (%)	PP (N)	PP (%)
pre 1,5 h	3205 (\pm 1135)	100	3437 (\pm 1178)	100
post 0h	1525 (\pm 207)	51 (\pm 12)	1927 (\pm 1181)	55 (\pm 17)
post 1,5h	1978 (\pm 519)	63 (\pm 11)	2742 (\pm 1049)	79 (\pm 8)
post 2,5h	2015 (\pm 676)	64 (\pm 17)	2795 (\pm 1003)	82 (\pm 8)
post 20h	2734 (\pm 1036)	85 (\pm 9)	3359 (\pm 1211)	98 (\pm 7)



KUVA 8. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien maksimaalisen isometrisen voiman muutokset (keskiarvo \pm keskihajonta) eri mittausajankohtina suhteessa lähtötason (pre 1,5 h) arvoihin. * Ryhmän arvo poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi lähtötasosta ($p < 0,05$).

7.2 Voimantuoton nopeus

Voimantuottoaika. Ryhmien keskiarvot poikkesivat joissain mittauspisteissä ja joissain voimantuottoajan mittauspisteissä (25%, 50%, 75% ja 100% maksimivoimasta) hyvinkin paljon toisistaan, mutta nämä erot saattavat johtua yhdestä poikkeavasta AP - ryhmän koe-

henkilöstä, eivätkä ne ole siksi merkitseviä. Tämä poikkeava koehenkilö oli kuormituksen jälkeen erityisen hidas tuottamaan voimaa.

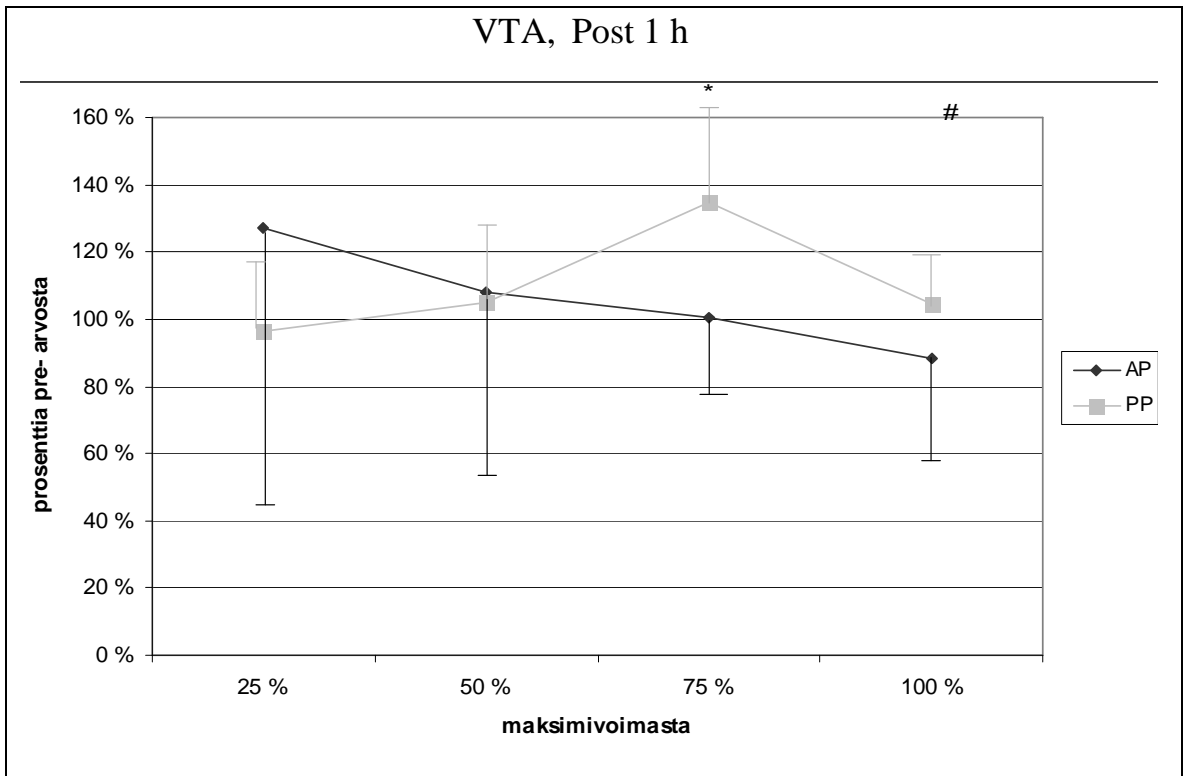
Lähtötason voimantuottoajat on esitettyinä taulukossa 2. Keskimääräisesti PP - ryhmä tarvitsi enemmän aikaa saavuttaakseen eri voimatasot. Kuitenkaan ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja minkään voimatason kohdalla.

TAULUKKO 2. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien voimantuottoajat lähtötason (pre-) mittauksessa, 25%:n, 50%:n, 75%:n ja 100%:n voimatasojen kohdalla (keskiarvo \pm keskihajonta).

MVC	AP (ms)	PP (ms)
25 %	72 (\pm 26)	103 (\pm 43)
50 %	185,8 (\pm 79)	253 (\pm 106)
75 %	465,8 (\pm 312)	608 (\pm 238)
100 %	2220,2 (\pm 472)	2641(\pm 688)

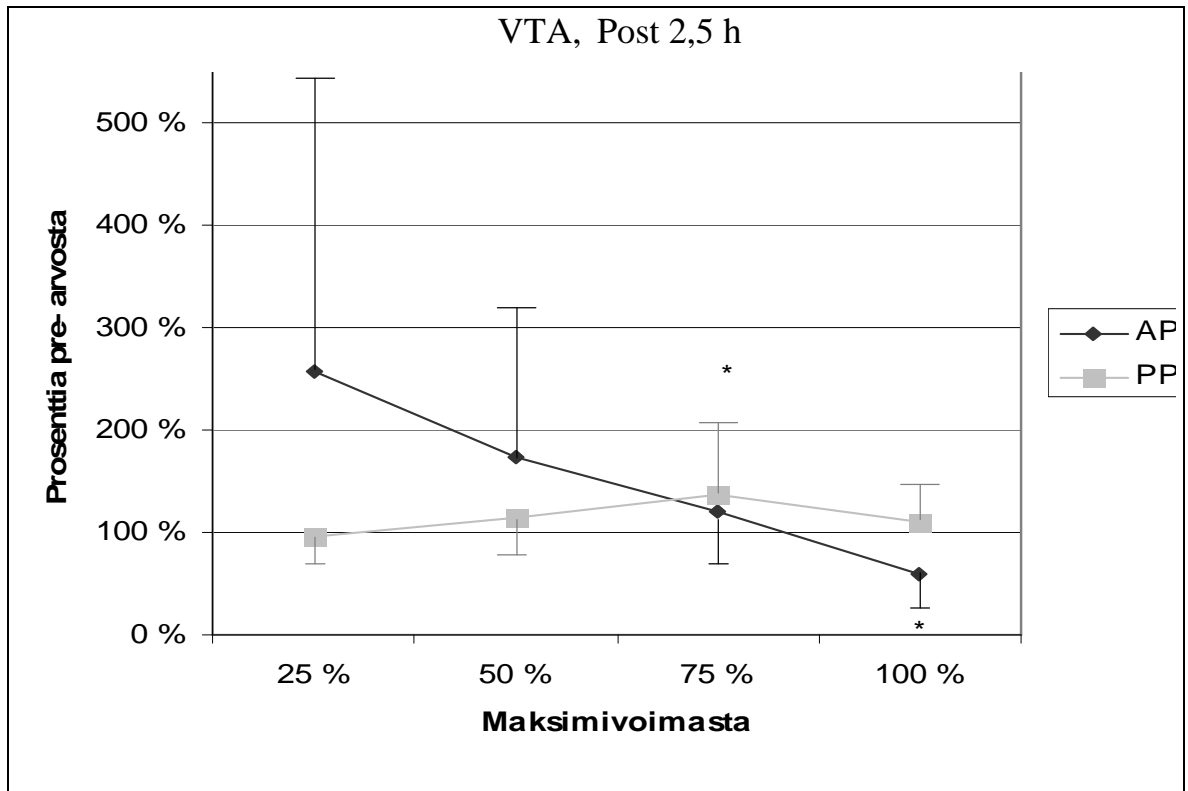
Heti kuormituksen jälkeen AP - ryhmän voimantuottoajat olivat selkeästi PP - ryhmää pidemmät 25 %:n, 50 %:n ja 75 %:n kohdalla. 100 %:n kohdalle voimantuottoaikojen erot olivat tasaantuneet ryhmien välillä. Kuitenkin esimerkiksi 25 %:n kohdalla keskihajonta oli yli 400%, joten tilastollista merkitsevyyttä useimmissa pisteissä ryhmien sisällä tai ryhmien välillä ei löytynyt. Poikkeuksena PP - ryhmän 75%:n arvo (lyhentynyt 28 %) ja AP ryhmän 100 %:n arvo (pidetty 20 %), jotka olivat tilastollisesti muuttuneet kyseisten ryhmien lähtöarvoista.

Tunti kuormituksen jälkeen eli heti palautumisjakson jälkeen AP - ryhmän sisällä ei ollut tapahtunut tilastollisesti merkitseviä eroja lähtötasoon verrattuna. Sen sijaan PP - ryhmän 75%:n arvo oli tilastollisesti merkitsevästi (36 %) pidentynyt oman ryhmän lähtötasoon verrattuna. Tässä mittausajankohdassa löydettiin myös ryhmien väliltä tilastollinen merkitsevyys 100%:n kohdalta, jolloin PP - ryhmän voimantuottoajat olivat 16 prosenttiyksikköä pidempiä kuin AP - ryhmän (kuva 9).



KUVA 9. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien voimantuottoajat (keskiarvo \pm keskihajonta) tunti kuormituksen jälkeen. Luvut on suhteutettu lähtötasoon. *Ryhmän arvo poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi lähtötasosta ($p < 0,05$). # Ryhmien arvot poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($p < 0,05$).

2,5 tuntia kuormituksesta PP - ryhmän voimantuottoaika oli 75 %:n kohdalla pysynyt merkitsevästi (36 %) lähtötasoa korkeampana. AP - ryhmän 100 %:n voimantuottoaika oli sen sijaan merkitsevästi (39 %) lähtötasoa lyhyempi. Myös tässä mittausajankohdassa ryhmien väliltä löydettiin 100 %:n kohdalta tilastollista eroavuutta. AP - ryhmän voimantuottoajat olivat 49 prosenttiyksikköä PP - ryhmän voimantuottoaikoja lyhyemmät (kuva 10). 20 tuntia kuormituksen jälkeen voimantuottoajat eivät eronneet ryhmien sisällä eivätkä ryhmien välillä.

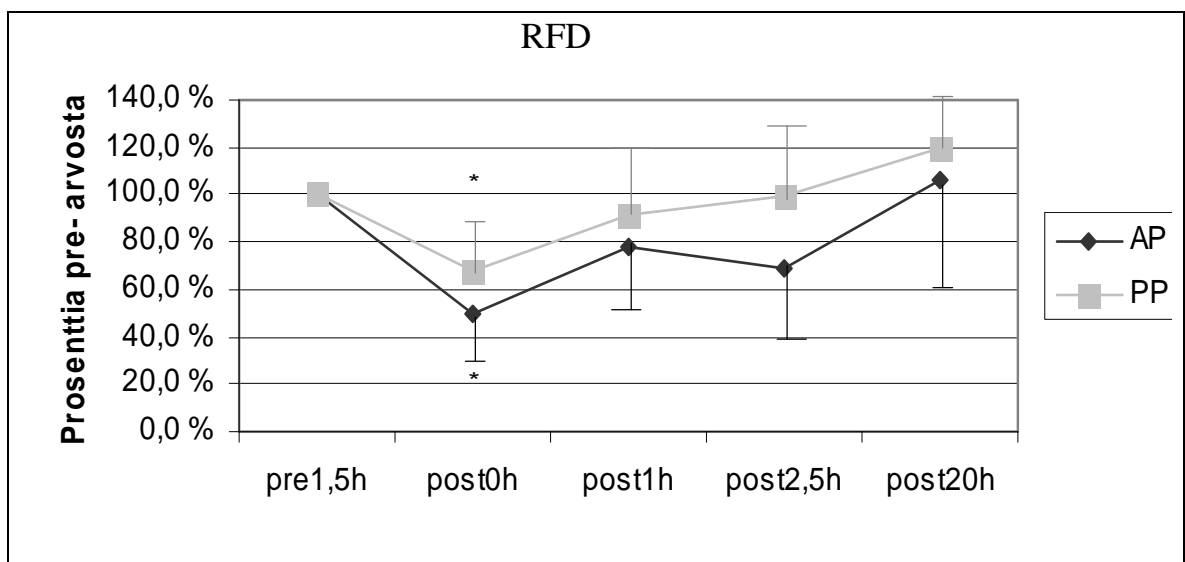


KUVA 10. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien voimantuottoajat (keskiarvo \pm keskihajonta) 2,5 tuntia kuormituksen jälkeen. Luvut on suhteutettu ko. ryhmän lähtötasoon. * Ryhmän arvo poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi lähtötasosta ($p < 0,05$). # Ryhmien arvot poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($p < 0,05$).

RFD (rate of force development, voimantuottonopeus). Sekä AP- että PP- ryhmien sisällä eroja oli lähtötason ja heti kuormituksen jälkeisen tason välillä (taulukko 3). AP - ryhmässä nopeus laski 50 % ja passiivisessa ryhmässä se laski 32% (kuva 11). Muissa aikapisteissä nopeudet eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi lähtötasosta. Myöskään ryhmien välillä ei ollut missään aikapisteessä tilastollisesti merkitsevää eroa.

TAULUKKO 3. AP - (aktiivinen palautumisjakso) ja PP - (passiivinen palautumisjakso) ryhmien voimantuottonopeudet ei mittausajankohdissa (keskiarvo \pm keskihajonta).

	AP (N/s)	PP (N/s)
pre 1,5 h	12444 (\pm 3806)	10265 (\pm 4929)
post 0 h	5570 (\pm 1256)	6968 (\pm 3896)
post 1 h	9081 (\pm 3089)	8778 (\pm 3304)
post 2,5 h	8218 (\pm 3579)	9609 (\pm 3578)
post 20 h	12330 (\pm 3420)	12289 (\pm 6666)



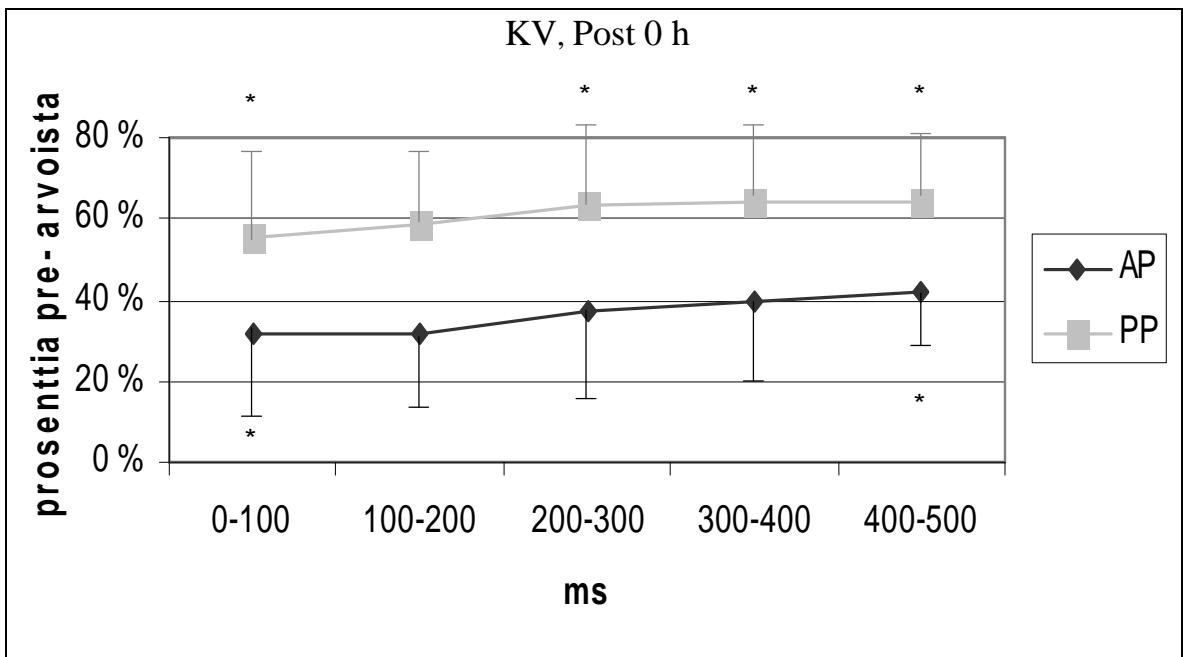
KUVA 11. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien voimantuottonopeudet (keskiarvo \pm keskihajonta) suhteutettuna lähtötason arvoihin. * Ryhmän arvo poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi lähtötasosta ($p < 0,05$).

Keskivoima. Taulukossa 4 on esitettyä lähtötason keskivoimat.

TAULUKKO 4. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien keski-voimat ennen kuormitusta, 0 -500 ms voimantuoton alusta (keskiarvo \pm keskihajonta).

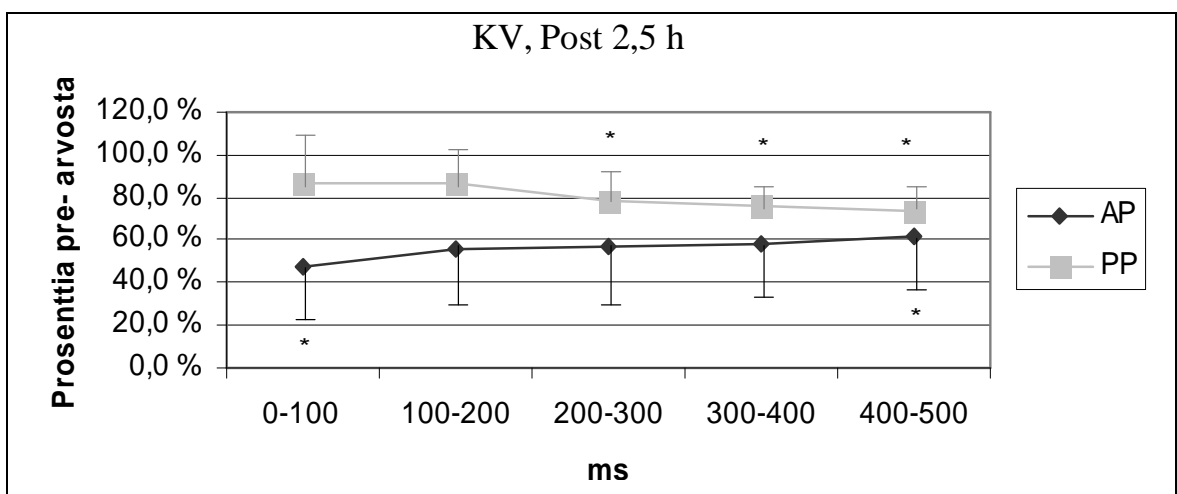
Pre 1,5	AP (N)	PP (N)
0-100ms	592 (\pm 198)	485 (\pm 219)
100-200ms	1421 (\pm 342)	1221 (\pm 456)
200-300ms	1897 (\pm 314)	1702 (\pm 552)
300-400ms	2208 (\pm 327)	2045 (\pm 642)
400-500ms	2418 (\pm 392)	2298 (\pm 701)

AP - ryhmän keski-voimat laskivat tilastollisesti merkitsevästi kuormituksen vuoksi. Heti kuormituksen jälkeen 100 ensimmäisen millisekunnin keski-voima oli laskenut 60% (kuva 12). Se pysyi tilastollisesti merkitsevästi lähtötasoa matalampana 2,5 tuntiin saakka (kuva 13). 400- 500 millisekunnin keski-voimat olivat jokaisessa mittauspisteessä tilastollisesti merkitsevästi lähtötasoa matalammat.



KUVA 12. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien keski-voimat (keskiarvo \pm keskihajonta) heti kuormituksen jälkeen 100 millisekunnin pätkissä voimantuoton alusta. * Ryhmän arvo poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi lähtötasosta ($p < 0,05$).

PP - ryhmän ensimmäisten 100 millisekunnin keskivoima laski 44 % heti kuormituksen jälkeen (kuva 12), mutta tilastollisesti merkitsevää eroa lähtöarvoon ei enää ollut tunnin jälkeen kuormituksesta. Tunnin jälkeen kuormituksesta PP - ryhmän 100- 200 millisekunnin keskivoima oli laskenut. 200-300 ja 300-400 millisekunnin keskivoima oli laskenut heti kuormituksen jälkeen, tunti kuormituksen jälkeen ja 2,5 tuntia kuormituksen jälkeen (kuva 13). 400- 500 millisekunnin keskivoima oli laskenut kaikissa muissa paitsi post 20h mittauspisteessä. Ryhmien välillä ei ollut tilastollista eroa missään mittausajankohdassa.



KUVA 13. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien keskivoimat (keskiarvo \pm keskihajonta) 2,5 tuntia kuormituksen jälkeen 100 millisekunnin pätkissä voimantuoton alusta. * Ryhmän arvo poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi lähtötasosta ($p < 0,05$).

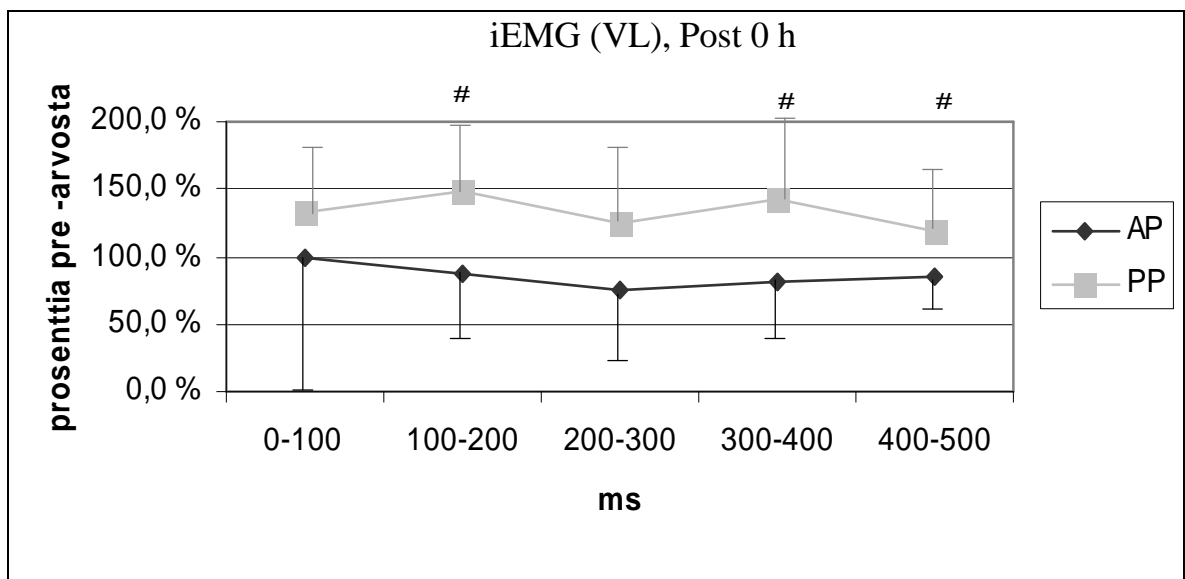
7.3 Lihasktiivisuus

Vastus Lateraliksen iEMG. Ennen kuormitusta kummankin ryhmän *Vastus Lateraliksen* (VL) iEMG lisääntyi hieman suorituksen ensimmäisten 500 millisekunnin aikana (taulukko 5). *Vastus Lateraliksen* lihasaktiivisuudessa ei ollut ryhmien sisäisiä eroja missään vaiheessa tutkimusta ensimmäisten 500 millisekunnin ajalta lihasaktiivisuuden alusta. Sen sijaan joitain ryhmien välisiä eroja havaittiin (kuva 14). 100- 200 millisekunnin kohdalla heti kuormituksen jälkeen PP - ryhmän iEMG oli 61 prosenttiyksikköä korkeampi kuin AP - ryhmän. Myös 300- 400 millisekunnin ja 400- 500 millisekunnin kohdalla iEMG on heti

kuormituksen jälkeen PP - ryhmällä reilusti korkeampi kuin AP - ryhmällä. Palautumisen aikaisissa mittauspisteissä ei ollut merkitseviä eroja.

TAULUKKO 5. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien Vastus Lateraliksen MVC- suorituksen iEMG arvot (ensimmäiset 500 ms) ennen kuormitusta (keskiarvo \pm keskihajonta).

Pre 1,5 h	AP (mVs)	PP (mVs)
0-100ms	0,019 (\pm 0,007)	0,025 (\pm 0,010)
100-200ms	0,020 (\pm 0,006)	0,027 (\pm 0,016)
200-300ms	0,027 (\pm 0,007)	0,032 (\pm 0,010)
300-400ms	0,028 (\pm 0,007)	0,034 (\pm 0,019)
400-500ms	0,027 (\pm 0,007)	0,037 (\pm 0,016)



KUVA 14. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien Vastus Lateraliksen iEMG (keskiarvo \pm keskihajonta) heti kuormituksen jälkeen (0- 500 ms lihasaktiivisuuden alusta) suhteutettuna lähtötason arvoon. # Ryhmien arvot poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($p < 0,05$).

Vastus Lateraliksen maksimi iEMG. Lateraliksen iEMG -arvot (1500-2500 ms kohdalta) on esitettyinä taulukossa 6. Ryhmien sisällä arvot eivät poikenneet lähtötason arvoista. Sen sijaan ryhmien välillä oli eroa heti kuormituksen jälkeen (post 0h). Tässä aikapisteessä AP – ryhmän iEMG laski voimakkaasti PP – ryhmän iEMG:n pysyessä lähtötasollaan.

TAULUKKO 6. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien *Vastus Lateraliksen maksimi iEMG* – arvot eri aikapisteissä (keskiarvo ± keskihajonta).

	AP (mVs)	PP (mVs)
pre 1,5 h	0,36 (± 0,13)	0,44 (± 0,16)
post 0 h	0,27 (± 0,10)	0,43 (± 0,15)
post 1 h	0,22 (± 0,09)	0,38 (± 0,14)
post 2,5 h	0,26 (± 0,14)	0,45 (± 0,18)
post 20 h	0,36 (± 0,14)	0,45 (± 0,19)

Vastus lateraliksen voima/EMG – suhde. Lateraliksen MVC/iEMG - suhde pysyi AP - ryhmässä samankaltaisena läpi protokollan (taulukko 7) tai ainakaan tilastollisesti merkitseviä eroja ei löytynyt. Sen sijaan PP - ryhmässä suhde oli heti kuormituksen jälkeen laskenut 47 % ja 2,5 tuntia kuormituksesta se oli laskenut 19 %. Kuitenkaan ryhmien välillä ei ollut eroa missään mittausajankohdassa.

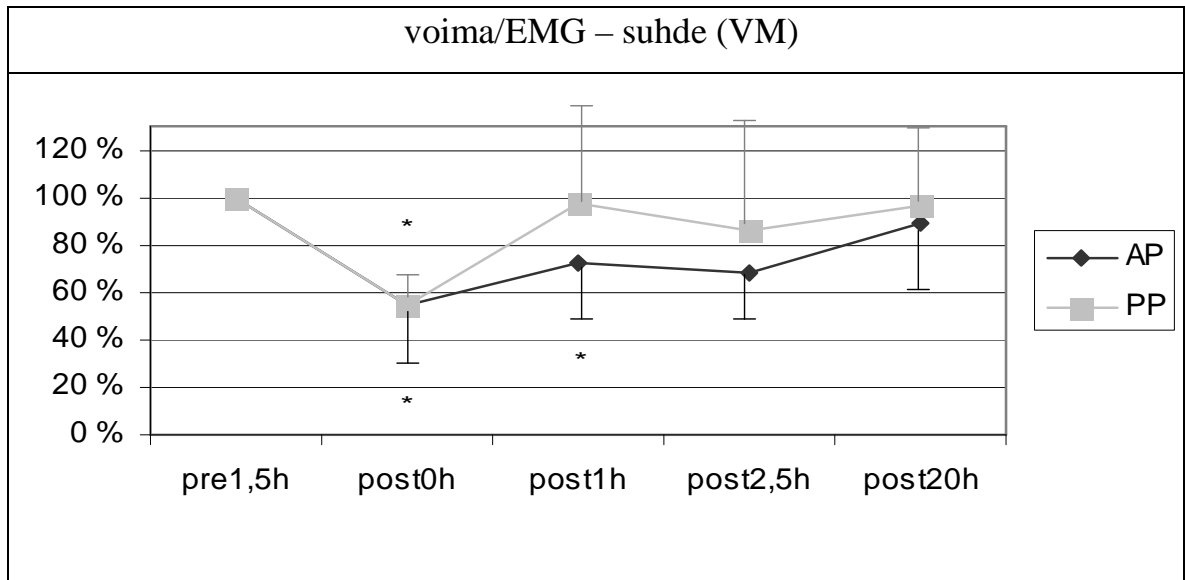
TAULUKKO 7. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien *Vastus Lateraliksen voima/EMG* – suhde eri aikapisteissä (keskiarvo ± keskihajonta).

	AP	PP
pre 1,5 h	9175 (± 2834)	8968 (± 4711)
post 0 h	6355 (± 2193)	4812 (± 2728)
post 1 h	9655 (± 2229)	7937 (± 3672)
post 2,5 h	9110 (± 3577)	6980 (± 3182)
post 20 h	8926 (± 1581)	9347 (± 4203)

Vastus Medialiksen iEMG. Vastus Medialiksen (VM) suorituksen alun lihasaktiivisuudet olivat ennen kuormitusta suunnilleen samansuuruisia kuin Vastus Lateraliksen. Vastus Medialiksen lihasaktiivisuuksissa ei havaittu ryhmien sisäisiä eroja missään mittauspisteessä ensimmäisten 500 millisekunnin aikana lihasaktiivisuuden alusta. Poikkeuksena kuitenkin yksi satunnainen ero 400- 500 millisekunnin kohdalla, jolloin PP - ryhmän iEMG oli heti kuormituksen jälkeen 25 % lähtötasoaan korkeampi. Myöskään ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa missään mittausajankohdassa.

Vastus Medialiksen maksimi EMG. Medialiksen iEMG – arvot (1500- 2500 ms kohdalta) eivät eronneet kummassakaan ryhmässä ryhmien sisällä eri mittausajankohdissa. Myöskään ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri mittausajankohdissa. Arvot olivat läpi protokollan suunnilleen samansuuruisia Vastus Lateraliksen maksimi iEMG arvojen kanssa.

Vastus Medialiksen voima/EMG – suhde. Medialiksen MVC/iEMG – suhteessa oli tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien sisällä. Sekä PP - että AP - ryhmän heti kuormituksen jälkeinen arvo oli (PP 46 %, AP 45%) lähtötasoa alhaisempi. Lisäksi AP - ryhmän voima/EMG – suhde oli vielä tunnin jälkeen kuormituksesta merkitsevästi lähtötasoa matalampi. Ryhmien väleillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja missään mittausajankohdassa.



KUVA 15. AP - (aktiivinen palautuminen) ja PP - (passiivinen palautuminen) ryhmien Vastus Medialiksen voima/EMG – suhde (keskiarvo \pm keskihajonta) eri mittausajankohdissa. * Ryhmän arvo poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi lähtötasosta ($p < 0,05$).

8 POHDINTA

Kaksi ryhmää olivat keskiarvostettuna voimaominaisuuksien lähtötasoiltaan hieman eri tasoisia. Esimerkiksi maksimivoimassa PP- ryhmän keskiarvo oli 232 Newtonia AP- ryhmää parempi. Kuitenkaan lähtötasoissa ei ollut minkään muuttujan kohdalla tilastollisesti merkitsevää eroa. Ryhmien välisten erojen lisäksi myös ryhmien sisäiset erot olivat suuria. Keskihajonnat ja parhaan ja huonoimman koehenkilön erot olivat monessa muuttujassa hyvin suuria. Esimerkkinä tästä on PP- ryhmän sisäiset maksimivoimien erot parhaimman (5230 N) ja huonoimman (1993 N) välillä.

Koehenkilöiden välisten erojen lisäksi analyysijä vaikeuttaa se, että ryhmien lihasväsymys kuormituksen jälkeen oli eritasoista. Vaikka MVC:n perusteella AP- ryhmä väsyi vain 4 prosenttiyksikköä enemmän kuin PP- ryhmä, niin voimantuottonopeuksissa oli isompia

muutoksia. AP – ryhmä pystyi tuottamaan maksimivoiman selkeästi hitaammin kuormituksen jälkeen kuin PP - ryhmä. Täten ryhmät lähtevät palautumaan kuormituksesta eri tasolta, PP – ryhmä vähemmän väsyneempänä. Tosin AP - ryhmän keskiarvoa huonontaa voimakkaasti yksi poikkeava koehenkilö. Niinpä vaikka keskiarvot näyttävätkin ryhmien kesken eroavan monessa kohtaa paljon, ei kuitenkaan tilastollisesti merkitsevää eroa löydy, sillä ilman tätä poikkeavaa koehenkilöä ryhmien väliset keskiarvot olisivat paljon lähempänä toisiaan.

Tässä tutkimuksessa ei analysoitu kuormituksen puolivälissä tehtyä MVC: tä, koska se ei ollut oleellinen palautumisen kannalta. On kuitenkin mahdollista, että kyseinen mittauspiste vaikuttaa tuloksiin. Se, että lisäsikö vai vähensikö kyseinen mittauspiste harjoituksen kuormittavuutta, jää arvailujen varaan. Toisaalta koehenkilö sai hieman enemmän lepoa muun muassa istuessaan verinäytteen otossa, mutta toisaalta koehenkilön piti tehdä vähintään kaksi isometristä maksimaalista jalkojen ojennusta ja kaksi kevennyshyppyä. Jos varsinaisen kuormituksen kuorma olisi ollut kevyempi, olisi ollut ilmeisempää että välimittaus olisi lisännyt kuormittavuutta. Tällä kertaa kuitenkin itse kuormitus oli niin raskas, että välimittauksen ei uskota lisänneen merkitsevästi lihasväsymystä.. Se, että mistä lihasväsymys on peräisin, ei ole sinällään edes oleellista, sillä tämä tutkimus keskittyy nimenomaan palautumisen tutkimiseen. Palautumiseen saattaa kuitenkin vaikuttaa seurantamittauksissa MVC: n lisäksi suoritettut kevennyshypyt. Toisaalta kahden kevennyshypyn ei luulisi vaikuttavan palautumiseen, koska ne ovat niin lyhyitä suorituksia.

MVC. Maksimivoima laski kuormituksen seurauksena kummallakin ryhmällä noin puoleen alkuperäisestä maksimivoimasta. Tämän jälkeen näyttäisi, että PP- ryhmä palautui hieman nopeammin kuin AP - ryhmä. Lisäksi PP – ryhmän MVC on palautunut 20 tunnin kuluttua kuormituksesta, mutta AP- ryhmä ei ole vielä silloin palautunut lähtötasolleen. Palautumisen hitauden perusteella voidaan päätellä, että harjoitus oli hyvin raskas. Myös aiempi tutkimus, jossa tehtiin raskasta dynaamista harjoitetta, osoitti että voimaominaisuuksien palautuminen tämän tyyppisestä harjoituksesta saattaa kestää yli 24 tuntia (Kroon & Naeije 1988). Se, että toinen ryhmä palautui harjoituksesta 20 tunnin sisällä, mutta toinen ei osoittaa, että AP- ryhmän palautumisharjoite saattoi olla liian raskas. Palautumisharjoitehan teh-

tiin 30 %:lla alkuperäisestä yhden toiston maksimista. Jos ajatellaan, että isometrisen maksimivoiman lisäksi myös jalkaprässin yhden toiston maksimi laski kuormituksen seurauksena puoleen, niin palautumisharjoitteen kuorma oli tällöin noin 67 % sen hetkisestä (post0h) maksimikuormasta. Palautumisharjoitteen rasittavuuden huomaa myös tunnin jälkeisistä MVC arvoista. PP – ryhmän MVC oli palautumisjakson jälkeen (post 1h) palautunut 79 %:iin lähtötason MVC:stä, kun AP - ryhmän MVC oli palautunut vain 63 %:iin lähtötason MVC:stä. Juuri tässä aikapisteessä ryhmien välillä on suurin ero. PP- ryhmä on palautunut selkeästi enemmän tunnin jälkeen kuormituksesta kuin AP- ryhmä. Tosin täytyy muistaa, niin kuin aiemmin mainittiin, että voimantuottonopeuteen liittyvien muuttujien perusteella PP- ryhmä ei väsynyt kuormituksen seurauksena niin paljon kuin AP- ryhmä, joten he olivat hieman edellä jo ennen palautumisen alkamista.

Voimantuoton nopeus. Lähtötasollaan AP- ryhmä pystyi tuottamaan nopeammin voimaa kuin PP- ryhmä. AP- ryhmän voimantuottoajat olivat lyhyempiä, RFD korkeampi ja keski-voimat suorituksen alussa parempia kuin PP – ryhmän. Kuormituksen jälkeen kaikkien muuttujien arvot osoittavat, että AP- ryhmän voimantuottonopeus oli hidastunut enemmän kuin PP – ryhmän voimantuottonopeus. Kuitenkin jo aiemmin mainittu poikkeava koehenkilö vääristää juuri näiden muuttujien keskiarvoja niin, että tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välille ei löytynyt kuin muutamassa muuttujassa. Ryhmien sisäisiä eroja kuitenkin löytyi sen verran monta, että voidaan yleisesti todeta, että voimantuoton nopeus laski kummassakin ryhmässä. Kuitenkin voimantuottonopeus palautui melko nopeasti, sillä RFD:ssä ei ollut kummassakaan ryhmässä enää tilastollisesti merkitsevää eroa lähtötasoon tunnin jälkeen kuormituksesta. Tosin keskiarvojen tarkastelussa PP – ryhmä oli palautunut AP – ryhmää paremmin jokaisessa kuormituksen jälkeisessä mittauspisteessä. Myös McCaulley ym. (2009) tutkimuksessa RFD palautui hypertrofisen kuormituksen jälkeen tunnin sisällä kuormituksesta. Kyseisessä tutkimuksessa RFD oli laskenut kuormituksen seurauksena suunnilleen saman verran kuin tämän tutkimuksen PP – ryhmän RFD (75 %) ja palautuminen oli passiivista. Niinpä nämä tutkimukset tukevat toistensa tuloksia, vaikkakin MVC oli McCaulleyn ym. (2009) tutkimuksessa laskenut vähemmän.

Keskivoimat palautuivat hitaammin, sillä tilastollisesti merkitseviä ryhmien sisäisiä muutoksia oli havaittavissa vielä 20 tuntia kuormituksen jälkeenkin. PP – ryhmällä ei ollut muutoksia enää 20 tunnin jälkeen kuormituksesta, joka sopii hyvin yhteen MVC – tuloksen kanssa, sillä se osoittaa, että MVC ja voimantuoton nopeus palautuivat samaan tahtiin. AP – ryhmän keskivoimat olivat palautumisen aikana selkeästi PP – ryhmän keskivoimia matalammat, vaikka tilastollista eroa ryhmien välillä ei löytynyt. Sen sijaan voimantuottoajoissa löydettiin ryhmien väliltä tilastollisesti merkitseviä muutoksia, jotka olivat ristiriidassa keskivoimien tuloksiin. AP - ryhmän voimantuottoajat olivat tunnin ja 2,5 tunnin jälkeen kuormituksesta PP – ryhmää lyhyemmät. Lisäksi, vaikka kaikkien näiden (keskivoimat, RFD ja voimantuottoaika) muuttujien tulisi olla jonkinlaisessa suhteessa toisiinsa, oli niiden tuloksissa paljon ristiriitaisuutta.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että eri voimantuoton nopeuteen viittaavissa muuttujissa ei havaittu montaa tilastollisesti merkitsevää ryhmien välistä eroa palautumisen aikana. Merkitseviä tuloksia löytyi vain voimantuottoajoissa. PP – ryhmän voimantuottoajat olivat palautumisen aikana merkitsevästi AP – ryhmän aikoja pidemmät. Kuitenkin tulokset osoittavat siihen suuntaan, että PP – ryhmän voimantuoton nopeudessa ei ollut eroa lähtötasoon enää 20 tunnin jälkeen kuormituksesta. Tosin AP – ryhmänkään voimantuoton nopeudessa ei 20 tunnin jälkeen kuormituksesta havaittu muita eroja kuin että keskivoima 400 – 500 millisekunnin kohdalla oli lähtötasoa matalampi. Tämän yhden tuloksen perusteella ei voida sanoa, että AP – ryhmän voimantuotonopeus olisi ollut lähtötasoa alhaisempi 20 tunnin kuluttua kuormituksesta. Eli voimantuoton nopeuden muuttujien perusteella ei voida välttämättä myöskään päätellä, että PP – ryhmä olisi palautunut nopeammin, vaikka esimerkiksi RFD:n kuvaajaa tarkastellessa näyttäisi siltä (kuva 11).

Kaikki voimantuoton nopeuteen liittyvät muuttujat (RFD, suorituksen alun keskivoimat, suorituksen alun lihasaktiivisuus ja voimantuottoaika) saattoivat vaihdella koehenkilöiden välillä niin paljon, koska koehenkilöille ei aina välttämättä muistettu painottaa suorituksen nopeuden merkitystä. Jotkut koehenkilöt eivät tämän vuoksi välttämättä suorittaneet MVC:tä mahdollisimman nopeasti, niin kuin oli tarkoitus.

Lihasakiivisuus. Vastus Lateraliksen ja Vastus Medialiksen iEMG aktiivisuuksien muutokset olivat samankaltaisia. VL:n kohdalla ei ryhmien sisäisiä eroja löytynyt suorituksen alun iEMG - arvoista, vaikka ryhmien välisiä eroja olikin heti kuormituksen jälkeen. Tämä on hieman epäilyttävä tulos, sillä jos arvot eivät muutu ryhmän sisäisesti, on arveluttavaa, että ne eroaisivat ryhmien välillä. Kuitenkin tulokseksi saatiin, että PP- ryhmän suorituksen alun aktiivisuudet olisivat selkeästi lisääntyneet lähtötasoon verrattuna, kun AP - ryhmän aktiivisuudet pysyivät lähtötasolla. Oletuksena oli, että lihasaktiivisuus laskisi raskaan kuormituksen myötä. Toisaalta kuormitus sisälsi paljon eksentristä lihasliikettä, jonka on aiemmissa tutkimuksissa havaittu nostavan EMG – aktiivisuutta (esim. McCaulley ym. 2009). Tässäkin vaiheessa täytyy kuitenkin muistaa AP – ryhmän yksi poikkeava koehenkilö jonka voimantuotto oli hyvin hidasta kuormituksen jälkeen ja niinpä myös EMG – arvot olivat hyvin matalia. AP – ryhmän maksimaalinen lihasaktiivisuus (VL) oli laskenut kuormituksen seurauksena ja oli 26 prosenttiyksikköä vähäisempää kuin PP – ryhmän. Palautumisen aikana VL:n lihasaktiivisuuksissa ei löydetty tilastollisesti merkitseviä eroja.

Vastus Medialiksen voimantuoton alun lihasaktiivisuudet eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi ryhmien välillä tai ryhmien sisäisesti poikkeuksena yksi arvo joka osoitti, että PP-ryhmän aktiivisuus olisi kasvanut heti kuormituksen jälkeen.. Myöskään VM:n maksimi iEMG arvot eivät eronneet kummassakaan ryhmässä missään vaiheessa protokollaa lähtöarvoista. Myöskään ryhmien välillä ei ollut eroja tässä muuttujassa.

PP – ryhmän voima/EMG – suhde oli laskenut VL:ssa kuormituksen seurauksena 47 %, mikä oli oletettavaakin, sillä MVC laski merkittävästi kuormituksen seurauksena kun taas maksimaalinen iEMG pysyi lähtötasollaan. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseisen voiman tuottoon on tarvittu korkeampaa lihasaktiivisuutta. Tämä oli hypoteesinakin, sillä väsynyt lihas tarvitsee usein suhteellisesti enemmän lihasaktiivisuutta, kuin levännyt lihas (Carson ym. 2002). Suhde oli tilastollisesti merkitsevästi lähtötasoa matalampi myös 2,5 tuntia kuormituksen jälkeen. Tuloksista voi myös päätellä, että lihasväsymys oli nimenomaan perifeeristä. Lähtötasolla pysynyt iEMG osoittaa, että aivoista tuleva sähköinen impulssi ei ole vähentynyt, joten sentraalista väsymystä ei ole tapahtunut. Niinpä väsymys johtuu hermolihaskuitoksen jälkeen sijaitsevien osien toiminnan muutoksista. Kuitenkaan AP- ryhmän VL:n voi-

ma/EMG – suhde ei muuttunut kuormituksen seurauksena, varmastikin vähentyneen maksimaalisen EMG:n vuoksi.

VM:n voima/EMG – suhde laski kuormituksen seurauksena kummassakin ryhmässä. Lisäksi AP – ryhmän suhde oli vielä tunnin päästäkin lähtötasoa matalampi, joka osoittaa, että lihas on väsynyt vielä palautumisharjoitteen jälkeenkin. Tämä vahvistaa epäilyjä liian raskaasta palautumisharjoitteesta. Toisaalta myös PP – ryhmän VL:n voima/EMG suhde oli 2,5 tuntia kuormituksesta lähtötasoa matalampi, joka osoittaa, että myös passiivisen palautumisen jälkeen esiintyi lihasväsymystä.

Lihasktiivisuuksien erot löytyivät lähinnä heti kuormituksen jälkeen. Palautumisen aikaisia muutoksia oli lähinnä vain voima/EMG suhteissa, mutta niissäkin VL:n ja VM:n tulokset olivat hieman ristiriitaisia, eikä ryhmien välisiä eroja löytynyt. Tämän muuttujan perusteella VL näytti väsyvän enemmän PP – ryhmällä kun taas VM väsyi enemmän AP – ryhmällä. VL näytti olevan PP – ryhmällä kauemmin väsynyt kun taas VM näytti olevan AP – ryhmällä kauemmin väsynyt. Palautumiskestot ovat sentään loogisia, sillä mitä väsyneempi lihas, sitä kauemmin palautuminen kesti.

Sekä maksimaaliseen iEMG - arvoon että voima/iEMG – arvoon vaikuttaa vahvasti se, että onko maksimi EMG mitattu oikeasta kohtaa voimakäyrää. Tässä tutkimuksessa kaikkien koehenkilöiden maksimaalisen arvon oletettiin löytyvän 1500- 2500 millisekunnin kohdalta lihasaktiivisuuden alusta, mutta jos koehenkilö on todella uupunut, saattaa maksimaalinen voima ajoittua myöhemmäksi. Tällöin maksimi EMG ei olekaan maksimaalinen aktiivisuus, sillä se on otettu kohdasta, jossa koehenkilö on vasta tuottamassa voimaa. Tällaisia virheellisiä arvoja voi tulla lähinnä heti kuormituksen jälkeen jolloin koehenkilö kokee voimakasta lihasväsymystä. Virheellisten arvojen myötä voima/iEMG arvo pysyy korkeammalla ja tämän kautta ei havaita miten paljon enemmän tarvitaan lihasaktiivisuutta tuottamaan maksimivoima.

Suorituksen alun lihasaktiivisuudet ja keskivoimat ovat usein suhteessa toisiinsa. Mitä enemmän tuotetaan voimaa, sitä enemmän tarvitaan lihasaktiivisuutta. Voisi myös päätellä,

että kuormituksen jälkeen lihasaktiivisuus laskee tai nousee samassa suhteessa keskivoiman kanssa. Se, että nouseeko vai laskeeko lihasaktiivisuus, riippuu siitä, että onko suorituksessa tarpeeksi eksentristä lihastyötä, jotta lihasaktiivisuus voisi nousta. Tässä tutkimuksessa kuitenkin suorituksen alun keskivoimien ja lihasaktiivisuuksien muutoksissa ei ollut minäänlaista loogista yhteyttä palautumisen aikana.

Loppuyhteenveto. Kuormitus sai aikaan niitä muutoksia, mitä odotettiin. Selvimmin näkyi MVC:n ja voimantuottonopeuden lasku. Lihasaktiivisuuksissa erot eivät olleet niin selviä. Voima/EMG – suhde oli pääasiassa oikean suuntainen, sillä se laski kuormituksen seurauksena. Kuitenkaan kuormituksen aikaansaamat muutokset eivät olleet tärkeimmät tarkasteltavat muutokset vaan tässä työssä oli tarkoitus keskittyä nimenomaan palautumisen aikaisiin muutoksiin.

MVC palautui nopeammin PP – ryhmällä. PP – ryhmän MVC oli palautunut 20 tunnin kulluttua kuormituksesta, kun AP – ryhmä ei saavuttanut lähtötason MVC: tä koko protokollan aikana. Eri voimantuoton nopeuteen viittaavissa muuttujissa ei havaittu montaa tilastollisesti merkitsevää ryhmien välistä eroa palautumisen aikana. Myöskään lähes missään palautumisen aikaisessa mittauksessa EMG - muuttujissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja lähtötasoihin verrattuna. Voima/EMG – suhteessa havaittiin enemmän eroja, mutta tulokset eivät olleet yksiselitteisiä, vaan tämän muuttujan perusteella Medialiksen ja Lateraaliksen palautumiset olivat hieman erilaiset, vaikka periaatteessa niiden pitäisi olla samansuuntaiset.

Tuloksiin tuo paljon epävarmuutta suuret keskihajonnat ja pieni koehenkilömäärä. Varsinkin AP – ryhmän viisi koehenkilöä oli aivan liian pieni koehenkilömäärä. Kaikista paras ratkaisu olisi ollut, että samat koehenkilöt suorittaisivat saman protokollan esimerkiksi viikon aikaerolla. Tällöin lähtötasot ja lihasväsymys olisivat olleet samankaltaisia kummassakin interventiossa. Lisäksi tutkimukseen olisi tuonut lisäinformaatiota laktaattiarvojen mittausta, sillä sen avulla on myös useissa muissa tutkimuksissa arvioitu palautumista. Lisäksi palautumisharjoitteen kuormittavuutta tulisi laskea, sillä koehenkilöt kokivat palautumisharjoitteen liian raskaaksi. Toisaalta palautumisharjoitteen kuormaa ei voi laskea liikaa, sil-

lä silloinhan palautumisharjoitetta ei voida sanoa voimatyyppiseksi. Näyttäisi siltä, että todella raskaan voimaharjoituksen päälle tehty voimatyyppinen palautumisharjoite voi jopa pidentää palautumisaikaa. Tämän tutkimuksen perusteella en vaihtaisi passiivista tai aerobistyyppistä palautumista voimatyyppiseen palautumiseen.

LÄHTEET

Allen, G., Gandevia, S. & McKenzie, D. 1995. Reliability of measurements of muscle strength and voluntary activation using twitch interpolation. *Muscle Nerve* 18 (6), 593 - 600

Andersen, B., Westlund, B. & Krarup, C. 2003. Failure of activation of spinal motoneurons after muscle fatigue in healthy subjects studied by transcranial magnetic stimulation. *Journal of Physiology* 551.1, 345 - 356

Babault, N., Desbrosses, K., Fabre, M., Michaut, A. & Pousson, M. 2006. Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *Journal of Applied Physiology* 100, 780 – 785

Bonen, A., Belcastro, A. 1976. Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 8, 176-178

Bonen, A., Campbell, C., Kirby, R., Belcastro, A. 1978. Relationship between slow-twitch muscle fibers and lactic removal. *Canadian Journal of Sport Sciences* 3, 160-162

Bosco, C., Colli, R., Bonomi, R., Von Duvillard, S.P. & Viru, A. 2000. Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31(1), 202 - 208.

Carpentier, A., Duchateau, J. & Hainaut, K. 2001. Motor unit behaviour and contractile changes during fatigue in the human first dorsal interosseus. *Journal of Physiology* 534.3, 903 - 912

Carson, R., Riek, S. & Shahbazzpour, N. 2002. Central and peripheral mediation of human force sensation following eccentric or concentric contractions. *Journal of Physiology* 539.3, 913 - 925

Carter, R., Watenpaugh, D., Wasmund, W., Wasmund, S. & Smith, M. 1999. Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. *Journal of Applied Physiology* 87(4), 1463 – 1469

Draper, N., Bird, E., Coleman, A. & Hodgson, C. 2006. Effects of active recovery on lactate concentration, heart rate and RPE in climbing. *Journal of Sports and Medicine* 5, 97 - 105

Enoka, R. M. 2002. *Neuromechanical basis of kinesiology*. Human Kinetics. Champaign.

Ferri, A., Narici, M., Grassi, B. & Pousson, M. 2006. Neuromuscular recovery after a strength training session in elderly people. *European Journal of Applied Physiology* 97, 272 - 279

Garland, S. & McComas, A. 1990. Reflex inhibition of human muscle during fatigue. *Journal of Physiology* 429, 17 - 27

Hannie, P., Hunter, Gary, R., Kekes-Szabo, T. Nicholson, C. & Harrison, P. 1995 The Effects of Recovery on Force Production, Blood Lactate, and Work Performed During Bench Press Exercise. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 9 (1), 3 - 62

Hunter, S., Todd, G., Butler, J., Gandevia, S. & Taylor., J. 2008. Recovery from supraspinal fatigue is slowed in old adults after fatiguing maximal isometric contractions. *Journal of Applied Physiology* 105, 1199 - 290

Izquierdo, M., Ibañez, J., Calbet, J., González-Izal, M., Navarro-Amézqueta, I., Granados, C., Malanda, A., Idoate, F., Gonzáles-Badillo, J., Häkkinen, K., Kraemer, W., Tirapula, I.

- & Gorostiaga, E. 2009. Neuromuscular Fatigue after Resistance Training. *International Journal of Sports Medicine* 30, 614 - 623
- Kroon, G. & Naeije, M. 1988. Recovery following exhaustive dynamic exercise in the human biceps muscle. *European Journal of Applied Physiology* 58, 228 - 232
- Kuchinad, R., Ivanova, T. & Garland, S. 2004. Modulation of motor unit discharge rate and H-reflex amplitude during submaximal fatigue of the human soleus muscle. *Experimental Brain Research* 158, 345 - 355
- Linnamo, V., Newton, R., Häkkinen, K., Komi, P., Davie, A., McGuidan, M. & Triplett-McBride, T. 2000. Neuromuscular responses to explosive and heavy resistance loading. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 10, 417 - 424
- McCaulley, G., McBride, J., Cormie, P., Hudson, M., Nuzzo, J., Quindry, J. & Triplett, N. 2009. Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology* 105, 695 - 704
- Raastad, T. & Hallén, J. 2000. Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology* 82, 206 - 214
- Sahlin, K. & Broberg, S. 1990. Adenine nucleotide depletion in human muscle during exercise: causality and significance of AMP deamination. *International Journal of Sports Medicine* 2: S62 - S67
- Sairyō, K., Iwanaga, K., Yoshida, N., Mishiro, T., Terai, T., Sasa, T. & Ikata, T. 2003. Effects of Active Recovery Under a Decreasing Work Load Following Intense Muscular Exercise on Intramuscular Energy Metabolism. *International Journal of Sports Medicine* 24, 179 - 182

Schillings, M., Hoefsloot, W., Stegeman, D. & Zwarts, M. 2003. Relative contributions of central and peripheral factors to fatigue during a maximal sustained effort. *European Journal of Applied Physiology* 90, 562 - 568

Sjödin B. 1976. Lactate dehydrogenase in human skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica Supplement* 436, 1 - 32.

Taylor J., Butler J. & Gandevia S. 2000. Changes in muscle afferents, motoneurons and motor drive during muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology* 83, 106 - 115

Thevenet, D., Tardieu-Berger, M., Berthoin, S. & Prioux, J. 2007. Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology* 99, 133 - 142

Todd, G., Taylor, J. & Gandevia, S. 2003. Measurement of voluntary activation of fresh and fatigued human muscles using transcranial magnetic stimulation. *Journal of Physiology* 551.2, 661 – 671

Wigernæs, I., Høstmark, A., Kierulf, P. & Strømme, S. 2000a. Active Recovery Reduces the Decrease in Circulating White Blood Cells after Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 21, 608- 612

Wigernæs, I., Strømme, S., Høstmark, A. 2000b. Active recovery counteracts the post-exercise rise in plasma-free fatty acids. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 10 (4), 404-414

LIITTEET

LIITE 1. Tiedote tutkittaville ja tutkimukseen suostumiskaavake.

TIEDOTE TUTKITTAVILLE:

Reservin fyysisen suorituskyvyn tutkimus 2008-2010

1. TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Puolustusvoimien tehtävä tuottaa suorituskykyisiä ja tehtävänsä osaavia sodan ajan joukkoja on vaikeutunut nuorten fyysinen kunnon heikentymisen myötä. Sodankäynnin teknistyminen ei kuitenkaan ole vähentänyt taistelijan fyysisiä vaatimuksia. Viimeaikaiset sodat ja tutkimukset osoittavat, että sotilaalta edellytetään edelleen jokaisella johtamis- ja suoritusasolla hyvää fyysistä suorituskykyä. Fyysisen aktiivisuuden väheneminen heijastuu - paitsi kehon ylipainon yleistymiseen - myös terveydentilaan ja luonnollisesti fyysiseen suorituskykyyn. Varusmiesten fyysistä kuntoa on mitattu Puolustusvoimissa säännöllisesti vakiomenetelmin jo kolmen vuosikymmenen ajan. Nämä tutkimukset osoittavat selvästi erityisesti kestävyys-suorituskyvyn heikentyneen selkeästi kuluneen 15 vuoden aikana. Varusmieskoulutuksessa pyritään painottamaan eri kunto-ominaisuuksia aselajin tehtävien mukaisesti. Lyhyt palvelusaika ei kuitenkaan usein riitä parantamaan huonoa kuntoa tai muuttamaan passiivisia tottumuksia aktiivisemmiksi. Tämä heijastuu myös reserviläisten kuntoon, jota on tutkittu 10 vuoden välein vuodesta 1977 lähtien.

Tutkimuksen tavoitteena on vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Mikä on 25-34-vuotiaiden reserviläisten fyysinen kunto ja sen riittävyys poikkeusolojen operatiivisiin tehtäviin.
2. Mikä on reserviläisten kunto vuonna 2008 verrattuna vuonna 2003 testattuihin samanikäisiin reserviläisiin sekä varusmiesajan kuntoon?
3. Miten reserviläisten fyysinen aktiivisuus, hormonaaliset sekä perintötekijät ovat yhteydessä fyysiseen kuntoon ja terveyteen?
4. Mikä on käytettyjen fyysisen kunnon kenttämittausten luotettavuus verrattuna vastaaviin tutkimuslaboratoriolaitteistolla tehtäviin suoriin mittauksiin?
5. Mikä erilaisten akuuttien kuormitusten vaikutus lihasten ja osin rasvakudoksen aineenvaihduntaan sekä suorituskykyyn?

2. TUTKIMUKSEN EETTISYYS

Päätutkimus toteutetaan eri puolilla Suomea kertausharjoitusten yhteydessä. Niihin osallistuu noin 1200 miestä, joista lääkärintarkastuksen ja vapaaehtoisuuden perusteella valitaan noin 800 miestä tutkimusjoukoksi. Lisäksi n. 100 vapaaehtoista kutsutaan Jyväskylään kuormituskokeeseen kertausharjoitusten jälkeen ja vuonna 2003

kertausharjoituksissa vastaavaan tutkimukseen osallistuneille tehdään liikunta- ja terveyskäyttäytymistä koskeva uusintakysely.

Tutkimukseen osallistuminen on reserviläisille täysin vapaaehtoista. Tutkittaville annetaan palautetta heidän omasta terveydestään ja fyysisistä kunnostaan testien jälkeen. Tutkimukselle on haettu eettinen hyväksyntä Keski-Suomen Sairaanhoidopiiriltä. Tutkimukseen liittyvät fyysisen suorituskyvyn mittaukset suorittavat Puolustusvoimien koulutetut testaajat. Veri- ja lihasnäytteet ottavat terveydenhuollon ammattilaiset.

3. MITTAUKSET

3.1. Kehon koostumus, sykevariaatio ja verenpaine

Paino, pituus, vyötärön ympärysmitta, kehon koostumus (Bioimbedanssimenetelmällä), sykevariaatio sekä lepoverenpaine mitataan ennen kuntotestejä.

3.2. Hapenottokyky

Hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykytestinä on portaaton MILFIT-polokupyöräergo-metritesti (Fitware), jonka jälkeen otetaan verinäytteet (1 ja 5 minuuttia testin päättymisen jälkeen) sormenpäältä kuormittuneisuustasoa kuvaavan maitohappopitoisuuden määrittämistä varten.

3.3. Hermolihasjärjestelmän suoritus- ja toimintakykytestit

- * puristusvoima
- * istumaan nousu, etunojapunnerrus ja toistokyykistys (60 s)
- * jalkojen ja kyynärvarren ojentajien ojennusvoimat ja voimantuottonopeudet
- * ketteryydesti (8-juoksu)

3.4. Terveys- ja liikuntakäyttäytymiskysely

Fyysistä aktiivisuutta ja terveydentilaa selvittävä kysely perustuu mm. UKK-instituutin Terveyskuntoseulaan sekä Puolustusvoimien käyttämään reserviläisille suunnattuun kyselyyn. Em. kyselyistä valikoituja kysymyksiä on täydennetty elämälaatukyselyllä (SF-36) sekä eräillä koulutusta, työkykyä, sairauspoissaoloja, palkkatasoa sekä varusmiesajan painoa ja fyysistä kuntoa koskevilla kysymyksillä.

3.5. Laboratoriomittaukset

Verinäytteistä tehtävät analyysit sisältävät mm. pienen veren kuvan, sokerin (paastoglukoosi), rasva-arvojen (kokonaiskolesteroli, HDL, LDL, VLDL ja triglyseridit) sekä eräiden hormonien (mm. testosteroni, kortisoli, SHBG, kasvuhormoni, IGF-1) määrittämisen. Osa verianalyyseistä analysoidaan heti, joten tutkittavat saavat välitöntä tietoa terveydentilastaan. Osa verinäytteistä pakastetaan myöhempää geenianalyysiä varten ja ko. analyysien tavoitteena on myös selvittää geenien yhteyttä fyysisen kunnan eri osatekijöihin sekä liikunta-aktiivisuuteen.

Niiltä tutkittavilta (n=45 reserviläistä ja 15 ei edellä mainittuun tutkimukseen osallistunutta), jotka osallistuvat Jyväskylässä kertausharjoitusten jälkeen tehtäviin kuormituskokeisiin (voimakuormitus tai kestävyyskuormitus tai niiden yhdistelmä tai hyppe-lykuormitus) otetaan lihasnäytteet ennen (-3 ja -2 tuntia ennen kuormitusta) ja jälkeen

kuormituksen (heti ja 24 tuntia intervention jälkeen). Veri- ja lihasnäytteistä analysoidaan vain tutkimussuunnitelman mukaisia fyysiseen suorituskyykyyn ja ylipainoon liittyviä geenejä, jotka säätelevät lihassolujen regeneraatiota ja aineenvaihduntaa. Näytteet koodataan ennen pakastamista siten, että henkilöä ei voi niistä tunnistaa. Lisäksi kerätään ekstrasellulaarinestettä mikrodialyysillä ulommasta reisilihaksesta sekä mitataan fyysistä suorituskyykyä ja mahdollisia muutoksia perusaineenvaihdunnassa ja autonomisen hermoston toiminnassa.

4. TUTKIMUKSEEN LIITTYVÄT RISKIT JA HAITAT

Tutkijat ja mittaajat ovat valmiita selvittämään yksityiskohtaisemmin mittauksia ja niihin liittyviä riskejä ja niistä saatavaa hyötyä.

Verinäytteiden otto kyynärlaskimosta saattaa aiheuttaa kyynärtaipeeseen lieviä verenpurkauksia (mustelma). Maitohappopitoisuuden määrittelemiseksi verinäytteen otto polkupyörätestin aikana sormenpästä voi tuntua myös hieman epämiellyttävältä.

Suorituskyykytestit ovat osin maksimaalisia ja osin submaksimaalisia. Niiden seurauksena normaalia kuormitukseen liittyvää lihaskipua 2-3 päivää testien jälkeen. Väsyttävä suoritus voi toisinaan aiheuttaa päänsärkyä ja mahdollisesti muita kiputuntemuksia kuten kaikki uupumukseen saakka suoritettut testit.

Jyväskylän yliopiston jatkotutkimukseen osallistuvilta otetaan reisilihaksesta lihasnäyte rasittavaa kuormitusta ennen ja sen jälkeen. Näytteiden oton suorittaa lääkäri. Näytteenottoa puudutetaan, mutta silti sen otto voi aiheuttaa jonkin verran kipua. Lisäksi näytteenottoa voi tuntua aralta pari päivää. Paikalliset verenpurkaukset, jotka näkyvät sinertävinä iholla, ovat myös mahdollisia. Mikrodialyysi voi aiheuttaa myös lievää kipua ja verenpurkauksia.

5. MIHIN TIETOJA KÄYTETÄÄN JA TUTKITTAVIEN OIKEUDET

Tutkimustuloksia hyödynnetään Puolustusvoimissa arvioitaessa reserviläisten kuntoa mahdollisiin poikkeusolojen tehtäviin sekä kehitettäessä varusmiesten ja reserviläisten liikunta- ja terveystieteellistä.

Tutkittavat saavat myös tietoa omasta liikunta- ja terveystieteellisestä sekä mm. veren rasva- ja sokeriarvoista. Tutkimuksen tulokset tullaan julkaisemaan arvostetuissa, kansainvälisissä liikuntatieteellisissä lehdissä.

Tutkimustuloksia käsitellään luottamuksellisesti ja vain tunnistenumeroin, joista yksittäistä henkilöä ei voi tunnistaa. Geenitietoa käytetään vain tämän tutkimuksen tarkoituksiin. Tutkimuksen vastuullinen tutkija vastaa tutkimusaineiston turvallisesta säilyttämisestä.

Jokainen tutkittava saa aikataulujen yhteydessä tutkijoiden yhteystiedot ja puhelinnumerot mahdollisten kysymysten ym. varalle. Osallistuminen tutkimukseen ja mit-

tauksiin on täysin vapaaehtoista ja ilmaista. Tutkittava voi kieltäytyä yksittäisestä mittauksista tai keskeyttää tutkimuksen missä tahansa tutkimuksen vaiheessa.

6. TUTKITTAVIEN VAKUUTUS

Kertausharjoitusten aikana sattuneet tapaturmat sekä palvelussairaudet korvataan sotilastapaturmalain perusteella. Korvaukset ovat vastaavat kuin lakisääteisessä tapaturmavakuutuksessa. Sotilastapaturmalaki kattaa koko kertausharjoitusajan. Kuluista ja korvauksista huolehtii Valtionkonttori. Tutkimukseen osallistuminen on tutkittaville palvelusta.

Lihasnäytteet ja siihen liittyvät kuormituskokeet suoritetaan kertausharjoitusten jälkeen Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksella. Tällöin tutkittavat on vakuutettu tutkimuksen ajan ulkoisen syyn aiheuttamien tapaturmien, vahinkojen ja vammojen varalta. Tapaturmavakuutus on voimassa vain mittauksissa. Vakuutusyhtiöt eivät kuitenkaan korvaa äkillisen ponnistuksen aiheuttamaa lihas- tai jännerevähdyttä ellei siihen liity ulkoista syytä. Tapaturmien ja sairastapausten välittömään ensiapuun on varauduttu. Laboratoriossa on ensiapuvälineet ja varusteet, joiden käyttöön henkilökunta on perehdytetty. Lääkärin tekemiä toimenpiteitä (puudutus, lihasnäytteen otto) varten on voimassa lääkäriin vastuuvakuutus ja potilasvahinkovakuutus. Tutkittavilla olisi hyvä olla oma henkilökohtainen tapaturma/sairaus- ja henkivakuutus, koska tutkimusprojekteja varten vakuutusyhtiöt eivät myönnä täysin kattavaa vakuutusturvaa esim. sairaskohtauksien varalta

7. TUTKIMUKSEN SUORITTAJAT

Tutkimuksen toteutetaan Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian ja terveystieteiden laitosten sekä Puolustusvoimien yhteistyönä. Tutkimuksen suunnitteluun, toteutukseen ja tulosten raportointiin osallistuu myös asiantuntijoita Pääesikunnan henkilöstöosastosta, UKK-instituutista, Sotilas-lääketieteen Keskuksesta, Kuopion yliopiston liikuntalääketieteen laitokselta sekä USARIEMistä (U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine).

Tutkimusryhmän puolesta vastuullinen tutkija

Professori Heikki Kyröläinen
Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto
PL35, 40014 JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
Puh. (014) 260 2078
E-mail: heikki.kyrolainen@sport.jyu.fi