

**VUOROKAUDENAJAN JA HARJOITUSJÄRJESTYKSEN
VAIKUTUKSET HERMOSTOLLISEEN ADAPTAATIOON,
LIHASVOIMAAN JA POIKKIPINTA-ALAAN YHDISTETYS-
SÄ VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUSSA**

Tuomas Rytönen

Valmennus- ja testausoppi

Pro gradu -tutkielma

2014

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Keijo Häkkinen

KÄYTETYT LYHENTEET

ATP = adenosiinitrifosfaatti

ADP = adenosiidifosfaatti

BMI = body mass index = painoindeksi (kg/m^2)

EEG = elektroenkefalografia = aivosähkökäyrän mittaaminen

EKG = elektrokardiografia = sydänsähkökäyrän mittaaminen

EMG = elektromyografia = lihaksen sähköisen aktiivisuuden mittaaminen

MRI = magnetic resonance imaging = magneettikuvaus

MVC = maximal voluntary contraction = maksimaalinen tahdonalainen lihassupistus

TMS = transkraniaalinen magneettistimulaatio

RM = repetition maximum = toistomaksimi

1RM = yhden toiston maksimi

ST = slow twitch = hidas I-tyypin lihassolu

FTa = fast twitch a = nopea IIa-tyypin lihassolu

FTb = fast twitch b = nopea IIb-tyypin lihassolu

VA = voluntary activation = lihasten tahdonalainen aktiivisuustaso

$\text{VO}_{2\text{max}}$ = maksimaalinen hapenottookyky

TIIVISTELMÄ

Rytkönen, Tuomas (2015). Vuorokaudenajan ja harjoitusjärjestyksen vaikutukset hermostolliseen adaptaatioon, lihasvoimaan ja poikkipinta-alaan yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. Valmennus- ja testausopin pro gradu -työ. 91 s.

Monissa liikuntasuoritteissa tarvitaan sekä voimaa (V) että kestävyyttä (K). Yhdistetyssä V+K -harjoittelussa kohtuullinen harjoittelun kokonaisvolyymi on avain siihen, että voiman kehittyminen häiriintyy mahdollisimman vähän kestävyysharjoittelusta. Tässä tutkimuksessa V:aa ja K:ttä harjoitettiin 2–2,5 kertaa viikossa. Yksi aikaa säästävää tapa toteuttaa yhdistettyä V+K -harjoittelua on harjoittaa V:aa ja K:ttä samassa harjoituksessa. Tässä tutkimuksessa tutkittiin samassa harjoituksessa toteutetun yhdistetyn V+K -harjoittelun vaikutuksia hermolihaskäytännön voimantuotto-ominaisuuksiin, ja sitä miten V:n ja K:n harjoitusjärjestys sekä harjoittelun vuorokauden ajankohta (aamu vs. ilta) vaikuttavat harjoitusvasteisiin.

52 nuorta miestä tutkittavaa (31 ± 6 vuotta) suorittivat koko tutkimuksen. Heistä 10 kuului kontrolliryhmään ja 42 interventoryhmään, jotka suorittivat 24-viikkoisen progressiivisen yhdistetyn V+K -harjoittelun jakson. Harjoittelu toteutettiin tuplaharjoituksina, jotka sisälsivät sekä V- että K-harjoitteluosion. Harjoittelevat tutkittavat oli jaettu neljään ryhmään: 1) K+V aamulla ($n = 9$), 2) V+K aamulla ($n = 9$), 3) K+V illalla ($n = 12$) ja 4) V+K illalla ($n = 12$). Kaikki tutkittavat testattiin sekä aamulla että illalla viikoilla 0, 12 ja 24. Testeihin sisältyi dynaamisen jalkaprässin yhden toiston konsentrisen maksimi, maksimaalinen tahdonalainen isometrinen polvenojennus sähköstimulaatiotuolissa sekä sen aikainen ulomman reisilihaksen pinta-EMG, nelipäisen reisilihaksen voluntaariaktivaatio isometrisessä polvenojennuksessa sähköstimulaatiomenetelmällä mitattuna ja ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala ultraäänellä mitattuna.

V+K järjestyksessä harjoitelleet lisäsivät dynaamista maksimivoimaa hieman enemmän kuin K+V harjoitusjärjestyksessä harjoitelleet kontrolliryhmään verrattuna. Isometrinen maksimaalinen polven ojennus kehittyi tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0.05$) vain V+K järjestyksessä harjoitelleilla. Ulomman reisilihaksen pinta-EMG-aktiivisuus kasvoi tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0.05$) vain V+K järjestyksessä harjoitelleilla. Dynaaminen maksimivoima kasvoi kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0.05$) molemmilla harjoitusjärjestyksillä. Vain illalla harjoitelleet ryhmät lisäsivät ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala tilastollisesti merkitsevästi vielä välitesteistä lopputesteihin. Myös dynaaminen maksimivoima kehittyi hieman enemmän illalla harjoitelleilla kuin aamulla harjoitelleilla kontrolliryhmään verrattuna. Isometrisen maksimivoima kehittyi merkitsevästi ($p \leq 0.05$) enemmän alkutesteistä välitesteihin illalla kuin aamulla harjoitelleilla illalla mitattuna. Mikään ryhmä ei parantanut tilastollisesti merkitsevästi maksimivoimatasojaan tai ulomman reisilihaksen maksimaalista pinta-EMG-aktiivisuuttaan enää viikolta 12 viikolle 24. Aamulla maksimaalinen tahdonalainen aktiivisuus pinta-EMG:llä mitattuna kasvoi tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0.05$) verrattuna kontrolliryhmään vain aamuryhmillä, joten aamuharjoittelu vaikutti positiivisesti lihasten tahdonalaisen käskytyksen lisääntymiseen aamulla.

Jos haluaa harjoittaa V:aa ja K:ttä samassa harjoituksessa, niin tämän tutkimuksen perusteella maksimivoiman kehittymisen kannalta on hieman tuloksekkaampaa suorittaa voimaharjoitteluosio ensin. Tämä johtuu ennen muuta harjoitusjärjestyksen vaikutuksista voimaharjoittelun hermostolliseen adaptaatioon. Lisäksi lihasten poikkipinta-ala sekä maksimivoima kasvavat pitkällä aikavälillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa V+K -harjoittelussa todennäköisesti hieman paremmin, jos harjoittelu suoritetaan iltaisin aamuharjoittelun sijasta. Harjoitusjärjestyksellä ja vuorokaudenajalla ei ole kuitenkaan suurta merkitystä V:n ja lihasmassan kasvuun yhdistetyssä samalla harjoituskerralla toteutetussa V+K -harjoittelussa ainakaan systemaattista harjoittelua aloittelevilla kuntoilijoilla.

Avainsanat: yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu, harjoitusjärjestys, vuorokauden aika, hermostollinen adaptaatio, lihasvoima, poikkipinta-ala

SISÄLLYS

KÄYTETYT LYHENTEET

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 VOIMAHARJOITTELU	7
2.1 Tahdonalainen voimantuotto ja voimantuoton hermostollinen säätely	8
2.2 Lihassupistuksen fysiologia	12
2.3 Maksimivoimaharjoittelu ja voimaharjoittelun hermostollinen adaptaatio	12
2.4 Hypertrofinen voimaharjoittelu ja lihaskasvun fysiologia.....	20
2.5 Nopeusvoimaharjoittelu	24
2.6 Absoluuttinen ja suhteellinen voima.....	26
2.7 Volyyymi, intensiteetti ja harjoitusfrekvenssi voimaharjoittelussa	26
3 KESTÄVYYSHARJOITTELU	28
3.1 Maksimaalinen hapenottokyky	30
3.2 Pitkäaikainen kestävyys, kynnyksominaisuudet ja kestävyysharjoittelun osa-alueet	31
3.3 Taloudellisuuden ja hermolihasjärjestelmän suorituskykyisyyden vaikutukset kestävyys-suorituskykyyn	32
3.4 Kestävyysharjoittelun hermostolliset adaptaatiot	34
4 YHDISTETTY VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELU.....	35
4.1 Interferenssi sekä volyyymi, intensiteetti, harjoitusfrekvenssi ja periodisaatio yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa.....	36
4.2 Harjoitusjärjestyksen vaikutus harjoitusvasteisiin samassa harjoituksessa toteutetussa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa	41
4.3 Hermostolliset adaptaatiot yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa.....	43

5 HARJOITTELUN VUOROKAUDENAJAN VAIKUTUKSET	
HARJOITUSVASTEISIIN	45
5.1 Harjoittelun vuorokaudenajan vaikutukset harjoitusvasteisiin voimaharjoittelussa	46
5.2 Harjoittelun vuorokaudenajan vaikutukset harjoitusvasteisiin kestävyysharjoittelussa.....	47
6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	49
6.1 Tutkimuskysymykset	49
6.2 Tutkimushypoteesit	51
7 MENETELMÄT	53
7.1 Tutkittavat	53
7.2 Tutkimusasetelma	54
7.3 Harjoittelu	55
7.4 Mitattavat muuttujat ja mittausmenetelmät.....	56
7.4.1 Isometrinen polvenojennus, sähköstimulaatio ja voluntaariaktivaatio	57
7.4.2 Pinta-EMG	59
7.4.3 Dynaamisen jalkaprässin yhden toiston maksimi	60
7.4.4 Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala ultraäänellä.....	61
7.5 Tilastolliset analyysit	62
8 TULOKSET	63
8.1 Tahdonalainen aktiivisuus.....	65
8.2 Dynaaminen ja isometrinen maksimivoima.....	67
8.3 Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala	70
9 POHDINTA	73
9.2 Hermostollinen adaptaatio, lihasten poikkipinta-ala ja maksimivoima.....	73
9.4 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet	75
9.5 Johtopäätökset ja käytännön sovellukset	76
LÄHTEET.....	78

1 JOHDANTO

Kokonaisvaltainen fyysinen kunto muodostuu voimasta, kestävyydestä, nopeudesta ja liikkuvuudesta. Yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu parantaa fyysistä terveyttä ja kuntoa (Sillanpää ym. 2012). Yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu parantaa myös fyysistä suorituskykyä ruumiillisessa työssä (Hendricson ym. 2010). Osalla ihmisistä arki on kiireistä ja esimerkiksi joukkue-urheilulajeissa ominaisuusharjoittelulle on rajoitetusti aikaa. Yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu, jossa molemmat komponentit toteutetaan samassa harjoituksessa, on erittäin aikaa säästävää tapa harjoitella. Tässä tutkimuksessa tutkittiin kuinka hyvin samassa harjoituksessa toteutettu yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu toimii voimanhankinnan näkökulmasta sekä milloin ja missä järjestyksessä kyseenomainen harjoittelu on harjoitusvasteiden näkökulmasta tehokainta toteuttaa. Kuntoilijoiden lisäksi tutkimustulosten tarjoamasta tiedosta hyötyvät erityisesti sellaisten urheilulajien harrastajat, joiden lajeissa vaaditaan sekä melko kovaa kestävyyskuntoa että melko kovia maksimivoimatasoja. Esimerkkejä tällaisista lajeista ovat muun muassa monet palloilulajit.

Tässä tutkimuksessa tutkittiin vuorokaudenajan (aamutreeni vai iltatreeni) ja harjoitusjärjestyksen (ensin voima vai ensin kestävyys) vaikutusta lihasten tahdonalaiseen aktiivointikykyyn, maksimaaliseen dynaamiseen ja isometriseen voimantuottoon sekä lihasten poikkipinta-alaan yhdistetyssä voima- ja kestävyys harjoittelussa, jossa sekä voimaa että kestävyyttä harjoitetaan samassa harjoituksessa.

2 VOIMAHARJOITTELU

Voimaharjoittelu on yksi harrastetuimmista liikuntamuodoista ympäri maailmaa. Sitä käytetään hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn ja urheiluasuoritusten kehittämiseen, lihasten ja luiden terveyden parantamiseen sekä kehon esteettisyyden muokkaamiseen. Myös aineenvaihdunnassa tapahtuu terveydelle suotuisia muutoksia voimaharjoittelun myötä. Pitkään jatkunut säännöllinen voimaharjoittelu lisää merkittävästi lihasvoimaa ja ihmiskehon voimantuottokykyä. (Folland & Williams 2007.) Voiman kasvu hermolihasjärjestelmässä johtuu sekä hermostollisesta että lihaksissa tapahtuvasta adaptaatiosta (Folland & Williams 2007; Zatsiorsky & Kraemer 2006, 155–156, 161).

Harjoitustapa vaikuttaa siihen, mitkä adaptaatiomekanismit vastaavat ensisijaisesti maksimivoiman kehittymisestä. Karkeasti ottaen ihminen voi kehittää voimiaan kahdella tavalla: maksimivoimaharjoittelulla (1–5 RM sarjoja) saavutetun primaarisesti hermostollisen adaptaation kautta, mikä pitää sisällään parantuneen hermolihasjärjestelmän koordinaation, motoristen yksiköiden rekrytoinnin ja motoristen yksiköiden impulssiteheyden kasvun tai hypertrofisella voimaharjoittelulla (6–12 RM sarjoja), joka kasvattaa primaarisesti lihasten poikkipinta-alaa. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 155–156, 161.) Kokemattomalla voimaharjoittelijalla hermostollinen adaptaatio vastaa merkittävästi voimien kasvusta myös hypertrofista voimaharjoittelua toteutettaessa harjoittelun alkuvaiheessa (Folland & Williams 2007). Samoin maksimivoimaharjoittelu kasvattaa myös lihasten poikkipinta-alaa merkittävästi kokemattomilla voimaharjoittelijoilla (Campos ym. 2002). Voimaharjoittelun alkuvaiheessa siis sekä lihakset kasvavat että hermoston kyky käskyttää lihaksia kehittyvät merkittävästi sekä maksimivoimaharjoittelulla että hypertrofisella voimaharjoittelulla.

Tärkeimmät muuttujat voimaharjoittelussa ovat intensiteetti, sarjojen ja toistojen määrä, volyymi, sarjapalautusten kesto, harjoitteet, harjoitteiden järjestys, liikenopeus harjoitteissa ja harjoitusfrekvenssi (Salles ym. 2009). Harjoitusmuuttujia muuntelemalla voidaan vaikuttaa voimaharjoittelun keholle aiheuttamaan stressiin, joka puolestaan vaikuttaa voimaharjoituksen aiheuttamiin harjoitusvasteisiin.

Intensiteetti. Intensiteetti kertoo käytetyn kuorman suuruuden. Voimaharjoittelussa intensiteetti ilmaistaan usein joko prosentteina yhden toiston maksimisista tai kuormana, jolla kyetään tekemään tietty määrä toistoja. Englannista tuleva lyhenne RM tarkoittaa toistomaksimia ja se tulee sanoista repetition maximum. Esimerkiksi 10 RM on kuorma, jolla urheilija kykenee tekemään kymmenen toistoa. (Baechle & Earle 2008, 393–304.)

Sarja. Sarja on yhtäjaksoisesti suoritettu ryhmä toistoja ennen kuin urheilija pysähtyy lepäämään (Baechle & Earle 2008, 405, Schoenfeld 2010).

Sarjapalautus. Sarjapalautus on levolle omistettu aika sarjojen välissä (Baechle & Earle 2008, 208). Sarjapalautuksen aikana lihasten kreatiinifosfaattivarastot täydentyvät, lihasten pH tasaantuu, aineenvaihdunnan kuona-aineita poistetaan lihassoluista ja lihassolujen kalvopotentiaali palautuu lepotasolle (Willardson 2008).

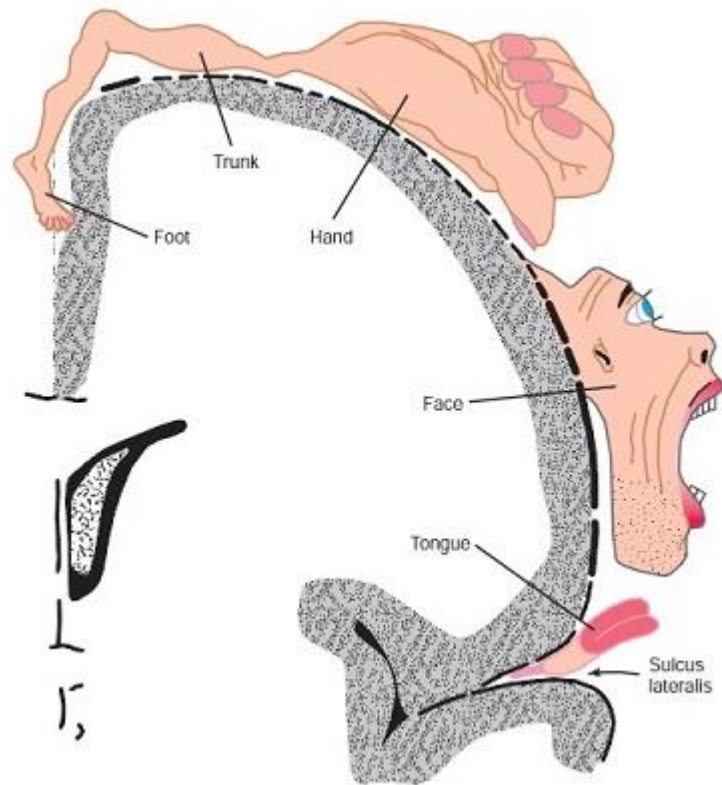
Volyymi. Volyymi kertoo voimaharjoituksessa nostetun kokonaiskuorman suuruuden. Se on sarjojen, toistojen ja käytetyn kuorman tulo. (Baechle & Earle 2008, 405, Schoenfeld 2010.)

Harjoitusfrekvenssi. Harjoitusfrekvenssi kuvaa yksittäisten harjoituskertojen määrää tietyssä ajassa (Baechle & Earle 2008, 389). Voimaharjoittelussa harjoitusfrekvenssi ilmaistaan usein siten, että kerrotaan kuinka monta kertaa viikossa yhtä lihasryhmää harjoitetaan.

2.1 Tahdonalainen voimantuotto ja voimantuoton hermostollinen säätely

Tahdonalaiset lihasten supistamiskäskyt muodostetaan motorisella aivokuorella, joka on jakaantunut eri kehonosia hermottaviin alueisiin (kuva 1). Tiettyä kehonosaa hermottavalla motorisen aivokuoren alueella on käskytysinformaatiota vievien hermosolujen soomat. Raajoista sensorista tietoa tuovien hermojen päätteet sijaitsevat sensorisella aivokuorella motorisen aivokuoren vieressä. Eri raajoista tulevaa sensorista tietoa käytetään hyväksi liikkeiden kontrolloinnissa ja suunnittelussa. (Adkins ym. 2006.) Liikkeiden kokonaishallinnassa käytetään lihaksiston ja luuston reseptoreista tulevan tiedon

lisäksi näköaistin tuomaa tietoa ja sisäkorvan tasapainoelimen tuottamaa tietoa. Sisäkorvan tasapainoelin rekisteröi painovoimaa, suoraviivaista kiihtyvää liikettä ja kulmakiihtyvyyttä. (Haug ym. 2009, 165.) Liiketaitoharjoittelu aiheuttaa aivokuoren motorisen kartan uudelleenrakentumista ja uusien synapsien eli hermoliitosten syntyä (Adkins ym. 2006).



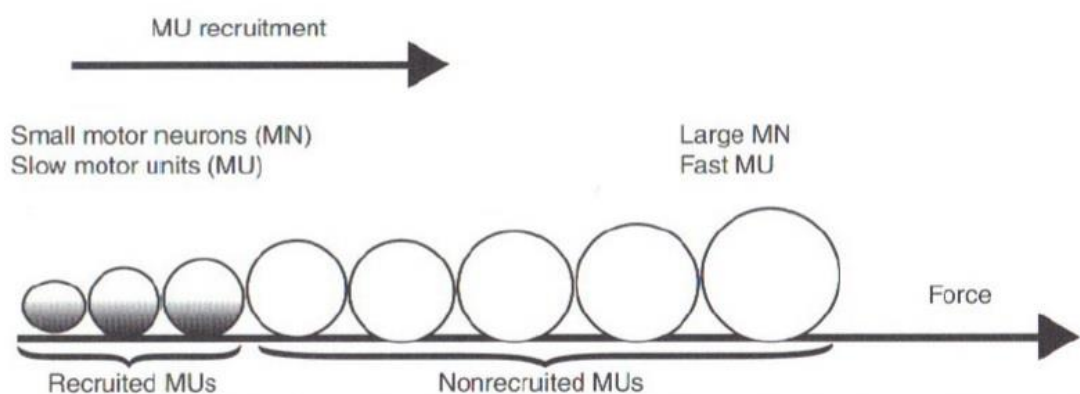
KUVA1. Eri kehonosia hermottavat alueet motorisella aivokuorella. Sormien hienomotoriikasta ja puheentuotosta vastaavat alueet ovat suurimmat. (Squire ym. 2008, 671.)

Suurin osa ihmisen tahdonalaisista liikkeistä rakentuu siten, että aivokuori aktivoi toimintamallin, joka on varastoituneena alemmille aivotasoille aivorunkoon, basaaliganglioihin, pikkuaivoihin sekä selkäyttimeen. Toisaalta nämä alemmat aivotasot osallistuvat myös liikkeen säätelyyn yhteistyössä motorisen aivokuoren kanssa. Pikkuaivot ovat merkittävässä roolissa liikkeiden ajoittamisessa sekä eri liikkeiden sulavassa yhteensovittamisessa. Pikkuaivojen rooli on erityisen tärkeä nopeissa liikkeissä, kuten juoksemisessa tai sormien liikuttelussa pianoa soittaessa. Pikkuaivot osallistuvat agonisti-antagonistiparien työskentelyn säätelyyn sekä tehostavat lihasspindelien aiheuttamaa venytysrefleksiä. Pikkuaivot saavat sensoriselta hermostolta tietoa toteutuneista liikkeistä ja motoriselta aivokuorelta tietoa käsketyistä liikkeistä; niinpä ne voivat tulkita halu-

tun ja toteutuneen liikkeen välisiä eroja ja hienosäätää liikettä. Lisäksi pikkuaivot auttavat motorista aivokuorta liikkeiden suunnittelussa. Myös basaaligangliot auttavat monimutkaisten liikkeiden, kuten esimerkiksi heittoliikkeen, suunnittelussa ja kontrolloinnissa. Monet välittäjäaineet, kuten dopamiini, GABA (gamma-aminovoihappo), asetyylikoliini, noradrenaliini, serotoniini, enkefaliini ja glutamaatti, osallituvat basaaliganglioiden toimintaan. Motorinen aivokuori on jakaantunut primaariseen motoriseen aivokuoreen, premotoriseen alueeseen ja täydentävään motoriseen alueeseen. Aivoista tulevat liikekäskyjä antavat hermosolut yhdistyvät liikehermoihin selkäytimessä. Osa motoriselta aivokuorelta selkäytimen liikehermoaltaisiin kulkeutuvista viesteistä menee liikehermoaltaisiin suoraan ja osa kiertää basaaliganglioiden, pikkuaivojen ja aivorungon tumakkeiden kautta. Oikea aivopuolisko käskyttää kehon vasemman puolen lihaksia ja vasen aivopuolisko kehon oikean puolen lihaksia. Tahdonalaisen säätelyn lisäksi useat selkäydinrefleksit sekä syklisiä liikkeitä, kuten kävelyä tuottavat selkäytimen motoriset liikekeskukset osallistuvat liikkeiden tuottamiseen ja säätelyyn. Useiden proprioseptoreiden tuomaa informaatiota lihaksista, jänteistä ja luista hyödynnetäänkin sekä refleksin selkäydintasolla että liikkeiden suunnittelussa ja kontrolloinnissa aivoissa. Esimerkiksi lihasspindelit tuottavat tietoa lihaspituudesta sekä sen muutosnopeudesta, ja Golgin jänne-elimet tuottavat tietoa jänteisiin kohdistuvien voimien suuruudesta ja niiden muutosnopeuksista. (Guyton & Hall 2011, 655, 657, 667–669, 672, 681–695.)

Motorinen yksikkö on hermolihasjärjestelmän pienin toiminnallinen osa ja siihen kuuluu liikehermo ja sen hermottamat lihassolut. Yksi liikehermo hermottaa keskimäärin muutamaa sataa lihassolua. Yhdessä lihaksessa on 10–1500 motorista yksikköä. Liikehermot, jotka hermottavat samaa lihasta, muodostavat soomistaan liikehermoaltaan. Liikehermoaltaat sijaitsevat selkäytimen etuosissa ja aivorungossa. (Enoka 2008, 215–217.) Voimantuoton suuruutta säädellään sekä säätelemällä aktivoitujen motoristen yksiköiden määrää että yksittäisten motoristen yksiköiden impulssitiheyttä (Clamann 1993; Enoka 2008, 215–217). Lisäämällä motorisen yksikön impulssitiheyttä saadaan aikaan tetaanisia lihassupistuksia, joissa poikkisiltasummaatio on suurempaa kuin pienemmän impulssitiheyden lihassupistuksissa. Tyypillisen luurankolihasen voimantuoton tasoa voidaan säädellä erittäin tarkasti; yleensä pienimmän ja suurimman mahdollisen voiman ero on yli tuhatkertainen. (Clamann 1993.) Liikehermot syttyvät kokojärjestyksessä pienimmästä suurimpaan (kuva 2). Yksittäisellä liikehermolla on yli 50 000 synapsia muiden hermosolujen kanssa ja noista synapseista 95 % on muodostu-

nut liikehermon dentriittien eli tuojaharakkeiden kanssa. Se, syntyykö liikehermoon aktiopotentiaali, riippuu jännitteestä liikehermon aksonin kummussa. Tuohon jännitteeseen vaikuttaa kaikista 50 000 synapsista tulevat fasilitoivat ja inhiboivat impulssit. Esimerkiksi lihasspindelien Ia-afferenteista tulevat impulssit fasilitoivat agonistien liikehermojen syttymistä, kun taas inhibitoriset välineuronit välittävät inhibitorisia signaaleja muun muassa Renshaw:n soluista ja antagonistilihasten lihasspindeleistä. Suurin fasilitoiva impulssivirta tulee kuitenkin motoriselta aivokuorelta. (Enoka 2008, 215–217.)



KUVA 2. Voimantuoton kasvaessa otetaan käyttöön enemmän motorisia yksiköitä. Motoriset yksiköt syttyvät kokojärjestyksessä pienimmästä suurimpaan. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 62.)

Motorisia yksiköitä on karkeasti histokemiallisesti luokitellen kolmenlaisia: 1) Hitaita oksidatiivisia, joissa lihassolujen kyky muodostaa energiaa hapen avulla rasvoista ja hiilihydraateista on hyvä, mutta anaerobinen energiantuottokyky on heikko. Tällaiset motoriset yksiköt kestävät hyvin matalatehoista työtä, mutta eivät kykene nopeaan ja voimakkaaseen voimantuottoon. 2) Nopeita väsymystä kohtalaisesti sietäviä, joissa lihassolujen kyky sekä anaerobiseen että aerobiseen energiantuottoon on kohtalainen, ja voimantuotto sekä voimantuottonopeus ovat kohtalaisia. 3) Nopeita väsyviä, joissa lihasten kyky anaerobiseen energiantuottoon on korkea, mutta aerobiseen energiantuottoon matala. Tällaiset motoriset yksiköt väsyvät nopeasti, mutta pystyvät erittäin suureen ja nopeaan voimantuottoon. (Clamann 1993.)

2.2 Lihassupistuksen fysiologia

Hermoimpulssin saavuttua hermolihhasliitokseen välittäjäaine asetyylikoliinilta kestää alle 100 mikrosekuntia siirtyä synapsiraon presynaptiselta puolelta postsynaptiselle puolelle ja kiinnittyä hermoslihhasliitoksen lihassolujen puoleisessa päässä sijaitseviin asetyylikoliinireseptoreihin. Asetyylikoliinin kiinnittyminen asetyylikoliinireseptoreihin aukaisee välittäjäaineherkät natrium-kalium-kanavat. Natrium- ja kaliumionien liike lihassolukalvojen yli saa aikaan hermolihhasliitoksen päätelevypotenitaalin, joka laukaisee varsinaiset aktiopotentiaalit itse lihassoluissa. Lihassolujen aktiopotentiaalit etenevät lihassolun pinnalta lihassolun sisälle T-tubulusverkostoa pitkin. T-tubulusverkoston dihydropyridiini-reseptorit reagoivat muuttuneeseen jännitteeseen ja aktivoivat sarkoplasmisen retikulumin ryanodiinireseptorit, joiden aktivoituminen aiheuttaa Ca^{2+} -ionien vapautumisen sarkoplasmisesta retikulumista. Ca^{2+} -ionit kiinnittyvät troponiineihin, jolloin troponiini-tropomyosiinikompleksien muoto muuttuu siten, että aktiinin poikkisiltakiinnityskohdat avautuvat esiin. Tarkkaan ottaen tropomyosiini siirtyy pois aktiinin poikkisiltakiinnityskohtien edestä. Tämän jälkeen myosiinien päät pääsevät kiinnittymään aktiinin kiinnityskohtiin ja ATP:n ADP:ksi pilkkomisesta saadun energian avulla saadaan poikkisiltasyklit pyörimään. Poikkisiltasyklissä myosiinin päät työntävät aktiini- ja myosiinifilamentteja toistensa lomaan ja lukuisat poikkisiltasyklit aiheuttavat sarkomeerien supistumisen. Lukuisien sarkomeerien supistuessa koko lihas supistuu. Jänteen kautta lihas välittää voiman luuhun ja saa luiden, nivelten ja jänteiden muodostaman vipuvarsikoneiston liikkumaan. Lihassupistus loppuu, kun Ca^{2+} -ionit on aktiivisesti kuljetettu takaisin sarkoplasmiseen retikulumiin sarkoplasmisen retikulumin kalsiumpumppujen avulla. Kun Ca^{2+} -ionit eivät ole kiinnittyneinä troponiineihin, tropomyosiini lepää aktiinin poikkisiltakiinnityskohtien päällä ja poikkisiltasykliä tapahtuminen on estetty. (Enoka 2008, 91–97, 210–213.)

2.3 Maksimivoimaharjoittelu ja voimaharjoittelun hermostollinen adaptaatio

Hermostollisessa maksimivoimaharjoittelussa käytetään 85–100 % kuormia yhden toiston maksimista. Sarjoissa tehdään yleensä 1–3 toistoa. Voimien kehittyminen tapahtuu pääasiassa hermostollisten harjoitusadaptaatioiden myötä. Hermostollisen maksimi-

voimaharjoittelun etuna on suhteellisen maksimaalisen voiman lisääntyminen, sillä voima-lihasmassa-suhde paranee. (Mero ym. 2007, 260–261.) Maksimivoimaharjoittelussa sarjapalautusten pituus on yleensä 3–5 minuuttia (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 160–162). Pääenergiantuottomekanismi maksimivoimaharjoittelussa on fosfageenimekanismi eli ATP-KP-systeemi (Schoenfeld 2010). Hermostollisen maksimivoimaharjoittelun aiheuttama voimien kasvu johtuu pääosin parantuneesta hermolihaskäytännön lihasten sisäisestä sekä välisestä koordinoitavuudesta ja hermoston parantuneesta kyvystä käskyttää yksittäisiä lihaksia (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 155–156).

Hermostollishypertrofinen voimaharjoittelu on ikään kuin hermostollisen maksimivoimaharjoittelun ja hypertrofisen voimaharjoittelun välimuoto. Hermostollishypertrofisessa voimaharjoittelussa käytetään 70–90 % kuormia yhden toiston maksimista. Yhdessä sarjassa tehdään 3–6 toistoa. (Mero ym. 2007, 263.) Teschin ja Larssonin (1982) tutkimuksessa havaittiin, että kilpailevilla painonnostajilla ja voimanoistajilla nopeiden lihasolujen määrä ja koko oli suurempaa kuin kilpakehonrakentajilla. Tyypillisesti maksimivoimalajien urheilijoiden, kuten painonnostajien harjoittelu sisältää paljon 1–6 toiston sarjoja räjähtävällä suoritustekniikalla pidemmällä eli 3–5 minuutin sarjapalautuksilla (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 78–79, 161). Kehorakentajien harjoittelu puolestaan on tyypillistä hypertrofista voimaharjoittelua ja sisältää yleensä paljon 6–12 toiston sarjoja keskinopealla ja hitaalla suoritustekniikalla lyhyemmällä eli 1–2 minuutin sarjapalautuksilla lihaksia voimakkaasti uuvuttaen (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 160–161).

Voimaharjoittelun hermostollisen adaptaation kuuluvat muun muassa: 1) koordinaation kehittyminen tietyissä liikkeissä eli agonistien, synergistien ja antagonistien aktivoitumisajituksen ja -voimakkuuden muutokset kokonaisvoimantuottoa lisääväksi (Folland & Williams 2007; Sale 1988), 2) motoristen yksiköiden impulssitiheyden kasvu, joka mahdollistaa voimakkaammat tetaaniset lihassupistukset, 3) mahdollinen motoristen yksiköiden rekrytoinnin paraneminen eli käytännössä lisääntynyt lihassolujen käyttöön-otto ja 4) selkäydinrefleksien muuntuminen voimantuoton kannalta suotuisimmiksi eli ilmenee enemmän voimantuottoa lisääviä eli fasilitoivia refleksejä ja vähemmän voimantuottoa vähentäviä eli inhiboivia refleksejä kuin ennen voimaharjoittelua. (Folland & Williams 2007.) Impulssitiheyden yleisen kasvun lisäksi voimaharjoittelu todennäköisesti lisää duplettien eli kahdesta perättäisestä erittäin nopeasta impulssista koostuvien impulssiyhdistelmien määrää liikehermojen impulssivirrassa suurta voimantuottoa

vaativissa suorituksissa. Dupletit lisäävät lihasten voimantuottoa. Liikehermojen impulssivirran rakenne vaikuttaa siis voimantuottoon pelkän impulssitiheyden lisäksi. (Gabriel ym. 2006.) Duplettien määrä lisääntyy mitattaessa lankaelektrodilla yksittäisiä motorisia yksiköitä voimaharjoitteluintervention jälkeen (Carroll ym. 2011; Gabriel ym. 2006; Van Cutsem ym. 1998). Myös motoristen yksiköiden synkronisaation eli samanaikaisen syttymisen lisääntyminen on yksi potentiaalinen voimantuoton kasvun hermostollisen adaptaation mekanismi, mutta tutkimustulokset synkronisaatiosta ja sen vaikutuksista ovat ristiriitaisia johtuen pinta-EMG-menetelmän rajoitteista synkronisaatioilmiön tutkimisessa (Carroll ym. 2011; Gabriel ym. 2006).

Nykyisillä tutkimusmetodeilla voimaharjoittelun hermostollista adaptaatiota pystytään havainnoimaan jo monin eri tavoin ja tasoin. Yksinkertainen, mekanismeja selittämätön havainto voimaharjoittelun hermostollisesta adaptaatiosta on se, että lihasvoima kasvaa ilman merkittävää lihasmassan kasvua (Gabriel ym. 2006; Netreba ym. 2011). Myös pelkällä mielikuvaharjoittelulla on pystytty lisäämään aivojen liikkeensuunnitteluun vaadittavien alueiden herkkyyttä, motorisen aivokuoren käskytyiskykyä ja tahdonalaista voimantuottokykyä (Gabriel ym. 2006; Smith 2009).

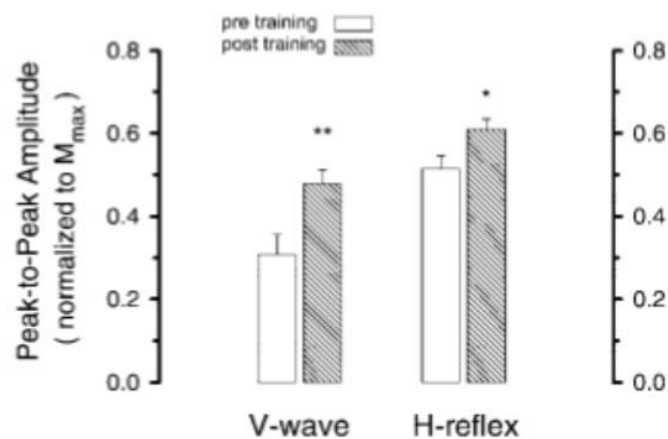
Sähköstimulaatio. Isometrisen maksimivoimasuorituksen aikana annettu maksimilihasnykäyksen näkökulmasta supramaksimaalinen yksöis- tai kaksoissähköstimulus lisää voimaharjoittelemattomalla maksimivoimaa keskimäärin 2–5 %. Voimaharjoittelun avulla lihaksen tahdonalaista aktivointikykyä pystytään parantamaan. (Gabriel ym. 2006.) Sähköstimulaatiomenetelmän yksöis- ja kaksoisstimulusten avulla ei voida kuitenkaan demonstroida hermoston luonnollista suurifrekvenssistä impulssivirtaa dupletteineen, mikä saattaa johtaa merkittävästi suurempaan poikkisiltasummaatioon ja tätä kautta maksimivoimaan kuin pienempifrekvenssinen impulssivirta vähemmillä dupleteilla yhdistettynä sähköstimulaatiolla annettuun ulkoiseen yksöis- tai kaksoissähköstimulukseen.

H-aalto. H-aalto on submaksimaalisen sähköstimuluksen synnyttämä Ia-afferentista alfamotoneuronialtaan ja liikehermon kautta lihakseen välittyvä vaste. H-refleksi mitataan usein levossa. (Carroll ym. 2011.) Maksimi-M-aalto (Mmax.) on EMG-tekniikalla lihaksesta mitattu jännitevaste sille, kun liikehermokimppua supramaksimaalisesti sähköstimuloimalla kaikki lihaksen motoriset yksiköt saadaan syttymään yksittäisen im-

pulssin ajaksi (Carroll ym. 2011). H-refleksin jännitevaste on kasvanut voimaharjoittelun seurauksena joissain voimaharjoittelututkimuksissa, mutta toisissa voimaharjoittelututkimuksissa levossa mitattu H-refleksi ei ole muuttunut voimaharjoittelun seurauksena (Carroll ym. 2011). Vila-chã ym. (2012) tutkimuksessa V/Mmax. kasvoi voimaharjoittelun myötä, mutta Hmax./Mmax. levossa ei muuttunut. H-refleksin syttymiskynnys kuitenkin madaltui voimaharjoittelun myötä. Voimaharjoittelun myötä MVC kasvaa primaarisesti lisääntyneen käskytyksen kautta ja ehkä muiden afferenttien kuin Ia:n muutosten johdosta. (Vila-chã ym. 2012.) Myöskään Tauben ym. (2006) tutkimuksessa Hmax./Mmax. levossa ei muuttunut voimaharjoittelun myötä. Holtermannin ym. (2007) tutkimuksessa H-refleksi tahdonalaisen supistuksen aikaan kasvoi voimaharjoittelun myötä, kuten Vila-chã:n ym. (2012) tutkimuksessakin. Motoneuronien johtavuus parani ja / tai presynaptinen inhibitio väheni voimaharjoittelun seurauksena (Vila-chã ym. 2012). Myös voimantuotonopeuden kehittymiselle ja H-aallon amplitudin kasvulle löytyi yhteys Vila-chã:n ym. (2012) tutkimuksessa. Kuitenkaan kaikissa tutkimuksissa H-refleksi tahdonalaisen supistuksen aikana ei ole kasvanut voimaharjoittelun myötä (Carroll ym. 2011). Voimaharjoittelu siis saattaa vähentää presynaptista inhibitiota tai lisätä alfamotoneuronialtaan herkkyyttä tai tehdä molempia edellisiä.

V-aalto. V-aalto on lihaksesta pinta-EMG-tekniikalla mitattu jännitevaste sille, kun sähköstimuloimalla tahdonalaisen lihassupistuksen aikana supramaksimaalisesti stimuloitu Ia-afferentti saa aikaan vasteen lihaksessa, kun sähköimpulssi kulkee Ia-afferentista alfamotoneuroni- eli liikehermoaltaaseen ja sieltä alfamotoneuria pitkin lihakseen. (Carroll ym. 2011.) V-aalto on keskimäärin suurempi voimaharjoitelleilla yksilöillä kuin voimaharjoittelemattomilla (Gabriel ym. 2006). V-aallon on havaittu kasvavan voimaharjoittelun seurauksena (kuva 3) (Aagaard ym. 2002; Del Balso & Cafarelli 2007; Ekblom 2010; Fimland ym. 2009a; Fimland ym. 2009b; Gabriel ym. 2006; Gondin ym. 2006). Voimaharjoittelu siis todennäköisesti lisää motoriselta aivokuorelta tulevaa impulssivirtaa maksimivoimasuorituksessa, sillä se selittää V-aallon aiheuttaman impulssin paremman läpipääsyn lihakseen. Myös Renshaw:n solujen voimaharjoittelun myötä vähentynyt postsynaptinen inhibito saattaa selittää ilmiötä. V-aallon aiheuttava supramaksimaalisella sähköstimulaatiolla aiheutettu impulssi pääsee läpi lihakseen toisin kuin liian suurella sähköstimulaatiointensiteetillä levossa annettu H-aallon aiheuttava impulssi. Tämä johtuu siitä, että suurella stimulaatiointensiteetillä hermokimpussa sekä Ia-afferentissa että liikehermossa syntyvä impulssi lähtee kulkemaan hermoissa

molempiin suuntiin, ja levossa mitatun H-refleksin tapauksessa suurella sähköstimulaatiointensiteetillä liikehermon liikehermoallasta kohti kulkeva sähköstimulaation aiheuttama impulssi estää H-aallon aiheuttavan impulssin läpipääsyn. Tahdonalaisen supistuksen aikana suurella intensiteetillä sähköstimuloimalla aiheutettu V-aallon aiheuttama impulssi pääsee läpi lihakseen, koska sen lisäksi liikehermoaltaasta tulee läpi motoriselta aivokuorelta tulevaa impulssivirtaa ja se blokkaa liikehermosta liikehermoaltaaseen päin tulevaa sähköstimulaation aiheuttamaa impulssia. (Carroll ym. 2011.)



KUVA 3. Keskimääräiset V-aallon ja H-refleksin amplitudit leveässä kantalihaksessa normalisoituna maksimi-M-aallon suhteen isometrisen maksimaalisen plantaarifleksion aikana ennen ja jälkeen 14 viikon voimaharjoittelun (* <0.05 , ** $p<0.01$). (Aagaard ym. 2002.)

EMG. Pinta-EMG-aktiivisuus lisääntyy maksimivoimasuorituksissa voimaharjoittelun seurauksena aloittelijoilla (Gabriel ym. 2006; Häkkinen ym. 1998; Häkkinen & Komi 1983; Moritani & deVries 1979). Impulssitiheyden määrä lisääntyy myös mitattaessa lankaelektrodilla yksittäisiä motorisia yksiköitä voimaharjoitteluintervention jälkeen (Carroll ym. 2011; Christie & Kamen 2010; Gabriel ym. 2006; Kamen & Knight 2004; Patten ym. 2001; Pucci ym. 2006; Van Cutsem ym. 1998). Voimaharjoittelun on pinta-EMG-mittausten mukaan havaittu lisäävän synkronisaatiota. (Carroll ym. 2011; Gabriel ym. 2006.) Lisäksi voimaharjoittelulle on havaittu voimaharjoittelemattomiin verrattuna suurempaa motoristen yksiköiden synkronisaatiota (Semmler & Nordstrom 1998).

Cross-education-ilmiö. Harjoittelemalla vain toista raajaa myös vastakkaisen raajan voimantuottokyky kehittyy jonkin verran. Ilmiöstä käytetään nimitystä ”cross-education”. (Gabriel ym. 2006; Shima ym. 2002.) Lagerguistin ym. (2005) tutkimuksessa havaittiin, että unilateraalisesti harjoitellessa vain harjoitetun jalan H-refleksi aktiivisessa lihaksessa parani, vaikka myös harjoittamattoman jalan voimantuotto parani merkittävästi. Niinpä ”cross-education” -ilmiö perustuu todennäköisesti ennen kaikkea supraspinaaliseen eli aivoissa tapahtuvaan adaptaatioon, sillä harjoittamattoman jalan alfa-motoneuronaltaan herkkyydessä tai presynaptisessa inhibitiossa ei havaittu muutoksia H-refleksin perusteella. Toisaalta Palmerin ym. (2013) MRI-tutkimuksessa ”cross-education” -ilmiöstä ei havaittu aivoissa muutoksia harjoittamattoman jalan osalta, mutta harjoitetun jalan osalta havaittiin - harjoittamattomankin jalan voimat kasvoivat kuitenkin merkittävästi.

Bilateraalisen ja unilateraalisen voimaharjoittelun erilaiset vasteet. Bilateraalinen vaje on ilmiö, jossa yhden raajan voimantuotto on pienempää kahdella raajalla yhtä aikaa tehdyssä maksimivoimasuorituksessa kuin yhdellä raajalla erikseen tehdyssä (Enoka 2008, 422). Bilateraalinen vaje on tyypillistä voimaharjoittelemattomalle, mutta bilateraalista vajeesta voi päästä eroon bilateraalisen voimaharjoittelun avulla (Gabriel ym. 2006). Janzenin ym. (2006) tutkimuksen mukaan bilateraalinen voimaharjoittelu vähentää bilateraalista vajetta, mutta unilateraalisella voimaharjoittelulla on minimaalinen vaikutus bilateraaliseen vajeeseen. Häkkisen ym. (1996) tutkimuksessa puolet koehenkilöistä harjoitteli voimaharjoitteluintervention ajan polven ojennusta unilateraalisesti ja puolet bilateraalisesti. Molemmat ryhmät paransivat sekä unilateraalista että bilateraalista polven ojennuksen yhden toiston maksimia merkittävästi, mutta unilateraalisesti harjoitellut ryhmä paransi unilateraalista yhden toiston maksimia enemmän kuin bilateraalisesti harjoitellut ryhmä. Samoin bilateraalisesti harjoitellut ryhmä paransi bilateraalisen polven ojennuksen yhden toiston maksimia enemmän kuin unilateraalisesti harjoitellut ryhmä. (Häkkinen ym. 1996.) Bilateraalinen ja unilateraalinen harjoittelu aiheuttavat siis sekä yleistä että spesifiä adaptaatiota hermolihaskäytännössä. Adaptaatioerot selittyvät todennäköisesti eroilla hermostollisessa adaptaatiossa, sillä EMG:n kasvu oli spesifisesti yhteydessä bi- ja unilateraaliseen voimaharjoitteluun.

Lihasten sisäinen ja välinen koordinaatio. Muutoksia antagonistikoaktivaatiossa on havaittu voimaharjoittelun seurauksena pinta-EMG-mittausten avulla. Nuorilla muutok-

set ovat harvinaisempia, mutta vanhuksilla voimaharjoittelu vähentää voimantuoton kannalta turhaa antagonistikoaktivaatiota. (Gabriel ym. 2006; Häkkinen ym. 1998.) Tietty vastavaikuttajalihasten aktiivisuus liikkeissä on tarpeen nivelten stabiloimiseksi. Niinpä keskushermosto joutuu tasapainottelemaan voimantuoton optimoinnin ja nivelten stabiloinnin turvaamisen välillä aktivoidessaan liikkeen päävaikuttajalihaksia, vastavaikuttajalihaksia ja tukilihaksia. (Gabriel ym. 2006.) Voimaharjoittelun aiheuttaman lihasten välisen ja sisäisen koordinaation kehittymisen merkityksestä tietyssä liikkeessä kertoo se, että lihasvoiman kehittyminen tietyssä liikkeessä ei siirry täysivaltaisesti toiseen liikkeeseen, jossa käytetään samoja lihaksia (Adkins ym. 2006).

Muutokset liikehermoissa ja hermolihasliitoksissa. Liikehermojen viejähaarakkeiden eli aksoneiden poikkipinta-ala kasvaa, kun liikehermojen käyttö kasvaa pitempiaikaisesti (Gabriel ym. 2006). Tämä todennäköisesti mahdollistaa tehokkaamman viesti-impulssien kulun liikehermoissa. Myös liikehermojen aksoneiden kemiallisessa toiminnassa tapahtuu muutoksia voimaharjoittelun seurauksena (Gabriel ym. 2006). Se, että voimantuotto voi parantua ilman lihashypertrofiaa sähköstimulaatiovoimaharjoittelulla, on osoitus siitä, että myös itse liikehermoissa tapahtuu adaptaatiota voimaharjoittelun seurauksena (Hortobágyi & Maffiuletti 2011). Rotilla voimaharjoittelun on havaittu muuttavan hermolihasliitoksen rakennetta ja ominaisuuksia siten, että voimaharjoittelu kasvattaa hermolihasliitoksen päätelevyn pinta-alaa ja lisää asetyylikoliiniireseptoreiden hajaumaa päätelevyn alueella (Deschenses ym. 2000).

Muutoksia motorisella aivokuorella. Voimaharjoittelu voi aiheuttaa adaptaatiota myös motorisella aivokuorella, mikä johtaa parantuneeseen suorituskykyyn. Näyttää siltä, että toistuvat lihastoiminnat suurta kuormaa vastaan vaikuttavat motorisen aivokuoren yhteyksiin vahvistaen tiettyjen lihasten aktivointimallien toimintaa. Erilaisia lihasten aktivointimalleja tarvitaan erilaisissa motorisissa tehtävissä maksimaalisen voiman tuottamiseen. (Carroll 2012.) Myös Falvon ym. (2010) EEG-tutkimuksessa havaittiin voimaharjoittelun seurauksena aivokuorella tapahtuneita adaptaatioita, jotka johtivat merkittävästi voimatasojen kasvuun. Todennäköisesti myös liikesuorituksiin liittyvien synapsien eli hermoliitosten välinen toiminta tehostuu voimaharjoittelun seurauksena (Gabriel ym. 2006). Myös uusia synapseja muodostuu selkäyttimeen voimaharjoittelun seurauksena (Adkins ym. 2006). Uudet synapsit todennäköisesti lisäävät kapasiteettia tehokkaampaan lihasten väliseen koordinaatioon.

TMS. Del Olmon ym. (2006) TMS-tutkimuksessa havaittiin keskushermoston kroonista adaptaatiota voimaharjoittelun seurauksena, kun kaksi vuotta voimaharjoitelleilla havaittiin merkittävästi suurempi kortikospinaalisen radan herkkyys kuin voimaharjoitteleemattomilla. Yhdistelemällä aivojen transkraniaalista magneettistimulaatiota, selkäytimen kervikomedullaarista sähköstimulaatiota ja perifeeristen hermokimppujen sähköstimulaatiota on saatu todisteita siitä, että kortikospinaalisella radalla aivojen motoriselta aivokuorelta pyramidaalisolujen ja liikehermojen kautta lihaksiin tapahtuu sekä yksittäisten lihasten käskytykseen että agonistien, synergistien ja anagonistien väliseen koordinaation liittyvää adaptaatiota voimaharjoittelun seurauksena (Carroll ym. 2011). Esimerkiksi Kidgellin ja Pearsen (2010) TMS-tutkimuksessa kortikospinaalisen inhibiton havaittiin vähenevän voimaharjoittelun myötä.

Akuutti ja krooninen hermostollinen adaptaatio. Useissa tutkimuksissa on havaittu voimantuoton hermostollisen adaptaation nopea vaihe, joka ilmenee merkittävänä maksimivoimatasojen kasvuna muutamassa päivässä harjoittelun alettua (Gabriel ym. 2006). Esimerkiksi Akiman ym. (1999) tutkimuksessa isometrinen ja iskokineettinen maksimivoima polvenojennuksessa kasvoivat kahden viikon voimaharjoittelujakson aikana merkittävästi, mutta nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alassa, lihassolujen poikkipinta-alassa, lihassolutyypeissä ja fosfofruktokinaasiaktiivisuuksissa ei havaittu muutoksia. Käytännön esimerkkinä pitkäaikaisen maksimivoimapainotteisen voimaharjoittelun kroonisesta hermostollisesta adaptaatiosta voidaan todeta, että esimerkiksi nykyisten painonnoston painoluokkien työntönnön maailman ennätys 56-kiloisten miesten sarjassa on 169 kg eli maailman parhaat kevyiden sarjojen miespainonnostajat pystyvät vetämään maasta rinnalle ja työntämään rinnalta suorille käsille yli kolme kertaa oman painonsa verran painavia rautoja (IWF 2014). Toisena esimerkkinä hermostopainotteisen voimaharjoittelun kroonisesta adaptaatiosta käytännön urheilukentiltä mainittakoon suomalaisesta maksimivoimaurheilusta lisäpainoleuanvedon miesten -70 kg sarjan nykyinen SE 86 kg, jonka on vetänyt 66,2 kiloinen urheilija (SLRY 2014).

Voidaan todeta, että voimaharjoittelun hermostollisen adaptaation karkeista perusperiaatteista on jo jonkin verran tietoa, mutta tähänastisilla tutkimusmetodeilla ja

-asetelmilla suuri osa tarkoista voimaharjoittelun hermostollisista adaptaatiomekanismeista on vielä selvittämättä. Tulevaisuudessa tarvitaan uusia ja suurempia mittausmenetelmiä voimaharjoittelun hermostollisen adaptaation tutkimiseen. (Carroll ym. 2011.)

2.4 Hypertrofinen voimaharjoittelu ja lihaskasvun fysiologia

Lihasten voimantuottokyvyn kasvamiseen johtava adaptaatio on ensisijaisesti lihassolujen poikkipinta-alan kasvua eli lihashypertrofiaa, joka johtuu myofibrillien koon ja määrän kasvusta eli myofibrillaarisesta hypertrofiasta (Folland & Williams 2007). Suurin osa uusista sarkomeereista ja myofibrillesitä kytkeytyy rinnan, mutta osa kytkeytyy myös sarjaan; nimenomaan eksentrisen harjoittelu aiheuttaa myös sarjaan kytkettyjen sarkomeerien lisääntymistä. Varsinaiset supistuvat proteiinit myofibrillien sisällä sarkomeereissa ovat aktiini ja myosiini. Osa lihasten koon kasvusta selittyy myös supistumattomien elementtien ja nesteen määrän kasvulla. Etenkin kehonrakennusmainen harjoittelu eli paljon keskipitkiä sarjoja keskiraskailla kuormilla aiheuttanee myös tällaista niin sanottua sarkoplasmista hypertrofiaa. Vain myofibrillaarinen hypertrofia johtaa voimien kasvuun. (Schoenfeld 2010.) Muuta mahdollista perifeeristä rakenteellista adaptaatiota ovat muutokset lihassupistusta säätelevissä proteiineissa, myofilamenttien (aktiinin ja myosiinin) tiheyden kasvu, hyperplasia eli lihassolujen määrän kasvu, lihassolujen pennaatiokulman eli kulman suhteessa jänteeseen tai aponeuroosiin kasvu sekä jänteiden ja nivelsiteiden rakenteiden muutokset (Folland & Williams 2007).

Hypertrofinen voimaharjoittelu tähtää lihasmassan kasvuun lisäämällä lihasten poikkipinta-alaa. Hypertrofiaa harjoitellaan tyypillisesti tekemällä useita sarjoja keskipitkillä toistomäärillä ja keskiraskaalla kuormalla. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 160–162.) Runsaalla volyyymilla, keskikovalla intensiteetillä ja lyhyillä sarjapalautuksilla tehty hypertrofinen voimaharjoittelu on osoittautunut parhaita hypertrofisia tuloksia tuottavaksi (Willardson 2006). Toisaalta Fisherin ym. (2011 ja 2013) laajojen meta-analyysien mukaan yksi sarja per lihasryhmä harjoituksessa tuottaa samanlaiset tulokset hypertrofisessa voimaharjoittelussa kuin useampi sarja per lihasryhmä ainakin kokemattomilla voimaharjoittelijoilla. Pääenergiantuottomekanismi hypertrofisessa voimaharjoittelussa on anaerobinen glykolyysi. Perimä, ikä, sukupuoli ja harjoitustausta vaikuttavat hypertrofisen voimaharjoittelun vasteisiin. Aloittelijan on helpompi lisätä lihas-

massansa määrää kuin kokeneen harjoittelijan, joka on jo lähempänä geneettistä potentiaaliaan. (Schoenfeld 2010.)

Perinteisessä hypertrofisessa voimaharjoittelussa tehdään 6–12 toiston sarjoja ja yhdessä liikkeessä tehdään useampia sarjoja 1–2 minuutin sarjapalautuksella. Intensiteetti on 6–12 RM. Yksittäistä lihasryhmää harjoitetaan pari kertaa viikossa ja yhdellä harjoituskerralla harjoitetaan 1–3 lihasryhmää tehden samalle lihasryhmälle useita eri liikkeitä. Harjoittelun tavoitteena on aktivoida harjoitusta seuraavan palautumisjakson ajaksi lihasproteiinien ylläpitäminen harjoitusta edeltävään tilaan verrattuna. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 160–162.) Tyypillisesti hypertrofisessa voimaharjoittelussa käytetään sekä kokonaisvaltaisia moninivelliikkeitä että eristäviä yksinivelliikkeitä. Keskipitkillä sarjapalautuksilla (1–2 minuuttia) mekaanisen jännityksen (intensiteetti vaikuttaa) ja aineen-vaihdunnallisen stressin (volyymi tärkeässä roolissa) suhde on hypertrofian kannalta paras, vaikka lyhyillä sarjapalautuksilla (30–60 s) aineenvaihdunnallinen stressi onkin suurempi ja pitkillä sarjapalautuksilla (3–5 minuuttia) mekaaninen jännitys on suurempi. (Schoenfeld 2010.)

Sarjojen vieminen konsentriseen uupumukseen aktivoi enemmän motorisia yksiköitä ja aiheuttaa suuremman aineenvaihdunnallisen stressin, mutta liiallinen uupumukseen asti harjoittelu altistaa ylikunnolle, psyykkiselle loppuun palamiselle ja laskee IGF-1:n ja testosteronin lepotasoa. Niinpä sarjojen uupumukseen asti viemättömyyttä kannattaa jaksottaa periodisoidussa hypertrofisessa voimaharjoittelussa. (Schoenfeld 2010.) Toinen tapa aktivoida kaikki motoriset yksiköt hypertrofisessa voimaharjoittelussa on suorittaa liikkeiden konsentriset vaiheet maksimaalisen räjähtävästi (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 86).

Ilmeisesti on olemassa tietty volyymikynnys, joka antaa optimaalisen harjoitusvasteen hypertrofisessa voimaharjoittelussa ja tämän kynnyksen yli menevästä volyymista ei ole lisähyötyä harjoitusvasteiden saannissa (Salles ym. 2009). Ahtiainen ym. (2005) tutkimus tukee ajatusta siitä, että saavutettuaan tietyn mekaanisen työn kynnyksen hypertrofisessa voimaharjoituksessa tämän kynnyksen yli tehdystä työstä ei ole lisähyötyä hermolihaks- ja hormonijärjestelmän harjoitusvasteille. Mekaaninen ylikuormitus lisää lihasmassaa, mutta mekaaninen alikuormitus (fyysinen inaktiivisuus) aiheuttaa atrofiaa

eli lihasmassan vähenemistä (Schoenfeld 2010). Atrofiassa lihasproteiinien hajotus on suurempaa kuin niiden rakentaminen.

Lihaskasvu kasvaa, kun proteiinisynteesi lihaksessa on suurempaa kuin proteiinien hajotus (Bodine 2006, Schoenfeld 2010). Proteiinisynteesin määrä kasvaa vastusharjoittelun seurauksena ja on koholla harjoituksesta palautuessa (Bodine 2006). Proteiinisynteesi on koholla harjoittelun jälkeen 24–72 tuntia (Drummond ym. 2009). Todennäköisesti kaikki kolme: mekaaninen jännitys (aiheutuu sekä lihassupistuksesta että venytyksestä), aineenvaihdunnallinen stressi ja lihasoluvauriot ovat osallisina laukaisemassa harjoittelun aiheuttamaa lihaskasvua (Schoenfeld 2010). Siis tarkasti ottaen muun muassa mekaaninen kuormitus, metaboliitit (aineenvaihdunnan tuotteet, kuten laktaatti, vetyionit, epäorgaaninen fosfaatti ja kreatiini), lihassolun turvotus, lihassolun hapenpuute, hermoston aktiivisuus, hormonit, kasvutekijät, mikrovaurioiden jälkeinen tulehdus ja sytokiinit laukaisevat monimutkaiset signaalintijärjestelmät, jotka johtavat lisääntyneeseen proteiinisynteesiin (Bodine 2006, Schoenfeld 2010). Perinteinen hypertrofinen voimaharjoittelu keskipitkine sarjoineen suurehkolla volyyymilla ja lyhyehköillä sarjapalautuksilla aktivoi todennäköisesti parhaiten edellä mainittuja kasvuärsyketekijöitä (Schoenfeld 2010). Tämän hetkisen käsityksen mukaan PI3K/Akt/mTOR – signaalintireitti on pääsignaalintireitti, joka kokoaa ja välittää kasvuviestejä lisäten proteiinisynteesiä lihasoluissa (Bodine 2006, Spangenburg 2009). Muita hypertrofian kannalta tärkeitä solunsäisiä signaalintireittejä ovat MAPK-signalintireitti ja kalsiumriippuvainen signaalintireitti (Schoenfeld 2010). Geenien transkriptio tapahtuu tumissa ja translaatio karkean endoplasmakalvoston ribosomeissa, joissa proteiinit rakennetaan aminohapoista (Gyton & Hall 2011, 27–35). Pitkällä aikavälillä satelliittisolut ovat elinehto lihasten kasvulle. Satelliittisoluja on säilössä lihassolujen kalvorakenteissa. Ne aktivoituvat riittävän lihaksen kohdistetun mekaanisen stimuluksen (esimerkiksi voimaharjoittelun) seurauksena ja muodostavat lihassoluihin uusia tumia. Lihassolujen lisääntynyt tumamäärä lisää lihassolujen kapasiteettia valmistaa uusia supistuvia proteiineja. (Schoenfeld 2010.)

Hormonaalinen hypertrofian säätely on monimutkaista. Säätelyssä on mukana lukuisia hormoneja, kasvutekijöitä ja sytokiineja. (Schoenfeld 2010.) Tärkeimmät anaboliset eli rakentavat hormonit lihaskasvun kannalta ovat testosteroni sekä kasvuhormoni (joka toimii rasvakudoksen osalta katabolisena eli hajoittavana hormonina) ja kasvutekijöistä merkittävin on IGF-1 (Fleck & Kraemer 2004, 100–109, Schoenfeld 2010). IGF-1 lie-

nee testosteronin ja kasvuhormoniakin merkittävämpi lihaskasvun aiheuttaja (Schoenfeld 2010). Näiden humoraalisesti välittyvien aineiden määrä veressä kasvaa akuutisti voimaharjoituksen seurauksena (Fleck & Kraemer 2004, 96–98, Schoenfeld 2010). Akuutit testosteroni- ja kortisolivasteet ovat suurempia hypertrofisen voimaharjoittelun jälkeen kuin maksimi- tai nopeusvoimaharjoittelun jälkeen (Crewther ym. 2008). Häkkinen ja Pakarisen (1993) tutkimuksessa havaittiin, että akuutit testosteroni-, kasvuhormoni- ja kortisolivasteet olivat merkitsevästi suurempia hypertrofisen voimaharjoituksen jälkeen kuin maksimivoimaharjoituksen jälkeen. Linnamon ym. (2005) mukaan sekä testosteroni- että kasvuhormonivasteet ovat suurempia hypertrofisen voimaharjoittelun jälkeen kuin nopeusvoimaharjoittelun jälkeen. Pitkään jatkunut voimaharjoittelu saattaa nostaa myös testosteronin lepotasoa veressä (Häkkinen ym. 1988). Lisäksi androgeeni- eli mieshormonireseptorien määrä lihassoluissa kasvaa akuutisti voimaharjoituksen seurauksena. Insuliinikin on anabolinen hormoni, mutta sen merkitys lihaskasvussa on ennen kaikkea proteiinien hajotusta vähentävä, ei niinkään lihasproteiinien rakentamista lisäävä. Insuliinin uskotaan myös aiheuttavan satelliittisolujen jakaantumista ja erikoistumista. Myös testosteroni vaikuttaa satelliittisolujen toimintaan. (Schoenfeld 2010.)

Ravinnon laatu, määrä ja ajoitus näyttelevät suurta roolia hypertrofisen voimaharjoittelun vasteissa (Bird 2010, Slater & Phillips 2011). Ravintoa tarvitaan harjoitteluun, palautumiseen ja adaptaatioon, kuten lihasten rakentamiseen (Slater & Phillips 2011). Ihmisen luurankolihasproteiinisynteesi on koholla välttämättömien aminohappojen ja hiilihydraattien syömisen sekä voimaharjoittelun jälkeen. Proteiinisynteesi kasvaa kuitenkin eniten, kun voimaharjoittelu ja ravinnonotto yhdistetään. (Drummond ym. 2009.) Niinpä etenkin harjoittelua ympäröivän syömisen optimoinnilla voidaan vaikuttaa suuresti hypertrofisen harjoittelun lihasmassavasteisiin (Bird 2010, Slater & Phillips 2011). Ennen harjoitusta nautittu nopeasti imeytyvä aminohappokoostumukseltaan välttämättömät aminohapot (ja varsinkin haaraketjuiset aminohapot eli leusiini, isoleusiini ja valiini) sisältävä proteiinijuoma (kuten heraproteiinijuoma), harjoituksen aikana nautittu hiilihydraattiaminohapposekoitus sekä harjoituksen jälkeinen proteiinijuoma (esimerkiksi heran ja kaseiinin sekoitus) optimoivat hypertrofisen voimaharjoittelun anabolisen vasteen lisäämällä proteiinisynteesiä ja vähentämällä proteiinien hajotusta. Leusiini on tärkein aminohappo proteiinisynteesin käynnistämisessä. Parin tunnin sisällä harjoituksen lopettamisesta on lihaskasvun kannalta suotuisaa syödä korkeahiilihydraatti-

nen ja suhteellisen runsasproteiininen ruoka. Voimailijan olisi nykytutkimustiedon valossa todennäköisesti optimaalista saada noin 30 % päivittäisestä energiantarpeestaan rasvoista, joista reipas kolmannes saisi olla kertatydyttymättömiä, toinen reipas kolmannes monitydyttymättömiä ja vajaa kolmannes tyydyttyneitä rasvahappoja. Riittävä rasvan saanti on välttämätöntä testosteronituotannon optimoimiseksi. (Bird 2010.) Voimaurheilijoiden suositellaan syövän hiilihydraatteja 4–7 g per painokilo vuorokaudessa. Yksittäinen voimaharjoitus voi pienentää lihasten glykogeenivarastoja 40 %:lla. (Slater & Phillips 2011.) Voimailijoiden tulisi syödä proteiinia (aminohappokoostumukseltaan laadukkaista proteiinien lähteistä) vuorokaudessa yhteensä noin 1,5–2,0 g per painokilo (Lemon 1991). Lihasten hypertrofiamekanismi on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Kuvassa on lihasten hypertrofiamekanismi tiivistettynä lähteiden pohjalta. (Bodine 2006; Folland & Williams 2007; Schoenfeld 2010; Slater & Phillips 2011.)

2.5 Nopeusvoimaharjoittelu

Maksimivoiman saavuttamiseen käytetty voimantuottoaika riippuu yksilöstä ja liikkeestä. Joka tapauksessa maksimivoiman tuottamiseen tietyssä liikkeessä kestää ihmiseltä yleensä 0,5–3 sekuntia. Monissa liikesuorituksissa voimantuottoaika on rajoitettu, pienempi kuin 0,3 sekuntia. Esimerkiksi huippu-urheilijoilla voimantuottoaika pikajuoksussa on 0,08–0,10 sekuntia, pituushypyssä 0,11–0,12 sekuntia, korkeushypyssä 0,17–0,18 sekuntia ja kuulantyytönnössä 0,15–0,18 sekuntia. Tämänkaltaisissa nopeusvoimasuorituksissa voimantuottonopeus nousee merkittäväksi ominaisuudeksi suorituskäynnin

kannalta. Toisin sanoen tällaiset suoritukset vaativat nopeusvoimaa. Nopeusvoimasuorituksissa suorituskykyä voi parantaa joko pitämällä suhteellisen voimantuottonopeuden koko voimantuoton ajan samana ja kasvattamalla maksimivoimatasoja tai parantamalla voimantuottonopeutta. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 26–31.) Parhaiten nopeusvoimasuorituskyky kehittyy parantamalla näitä molempia komponentteja yhdistetyn maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun avulla (Haff & Nimphius 2012).

Nopeusvoimalajeissa ei ole hyötyä sellaisesta kasvaneesta maksimivoimatasosta, joka saadaan käyttöön vasta lajisuorituksessa käytössä olevan voimantuottoajan jälkeen, vaan olennaista on paljonko saa tuotettua voimaa liikesuoritukseen käytössä olevan voimantuottoajan aikana (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 26–31.) Nopeusvoimaa voidaan kehittää sekä yksittäisiä räjähtäviä suorituksia ajatellen että syklisiä suorituksia ajatellen. Syklisissä nopeusvoimasuorituksissa eksentriskonsentrinen venymislyhenemissykluksen sisältävä liike varastoi ja vapauttaa elastista energiaa hermolihaskäytöstä (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 160). Nopeusvoimaharjoittelun avulla pyritään siihen, että: 1) Hermosto kykenisi aktivoimaan nopeita motorisia yksiköitä mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. 2) Entsyymien katalysoima ATP-KP-energiantuottokoneisto toimisi mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. 3) Syklisen pikavoimaharjoittelun avulla pyritään saamaan jänteet, lihassolujen poikkisillat ja lihasten kudosalvat varastoitamaan ja vapauttamaan elastista energiaa mahdollisimman tehokkaasti. Tyypillisesti nopeusvoimaharjoittelussa käytetty kuorma on 0–85 % yhden toiston maksimista ja yhdessä sarjassa tehdään 1–10 toistoa. (Mero ym. 2007, 259–263.) Suurimmat tehot ballistisissa eli liikkeen loppua kohti kiihtyvissä hyppyissä saavutetaan 0–30 % kuormilla yhden toiston maksimista. Jarrutusvaiheen sisältävissä liikkeissä, kuten jalkakyykyssä, saadaan tuotettua suurimmat tehot 40–60 % kuormilla yhden toiston maksimista. Rinnallevedossa ja tempauksessa suurimmat tehot saavutetaan 70–85 % kuormilla yhden toiston maksimista. (Haff & Nimphius 2012.) Ballistinen nopeusvoimaharjoittelu saattaa lisätä resiprokaalista inhibitiota, jossa lihasspindelistä tuleva Ia-afferentti fasilitoi agonistia, mutta inhiboi antagonistia (Carroll ym. 2011).

2.6 Absoluuttinen ja suhteellinen voima

Hermostollisen adaptaation näkökulmasta samalla tavalla harjoitelleista urheilijoista niillä, joilla on enemmän kehonmassaa lihasmassan muodossa, on enemmän absoluuttista voimaa. Suhteellista voimaa eli kehonpainoon suhteutettua maksimivoimaa taasen on enemmän kevyemmällä urheilijoilla. Esimerkiksi painonnoston maailmanennätyksiä tarkasteltaessa huomataan, että absoluuttiset voimatasot kasvavat painoluokkien kasvaessa, mutta suhteelliset voimatasot käyttäytyvät päinvastoin. Tammikuussa 2005 voimassa olleiden työnnön maailmanennätysten valossa 56-kiloisten painoluokassa absoluuttinen tulos oli 168 kg, joka on suhteellisena voimana 3,0 kertaa kehon massa. Raskaan sarjan maailmanennätys oli absoluuttisesti 263,5 kg, joka oli 1,8 kertaa 147,5 kiloisen raskaan sarjan maailmanennätyksen tekijän kehon massa. Suhteellinen voima on merkityksellistä urheilulajeissa, joissa täytyy liikutella tai kannatella omaa kehoa, ja absoluuttinen voima lajeissa, joissa täytyy liikutella tai kannatella ulkoisia objekteja. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 52–56.)

2.7 Volyymi, intensiteetti ja harjoitusfrekvenssi voimaharjoittelussa

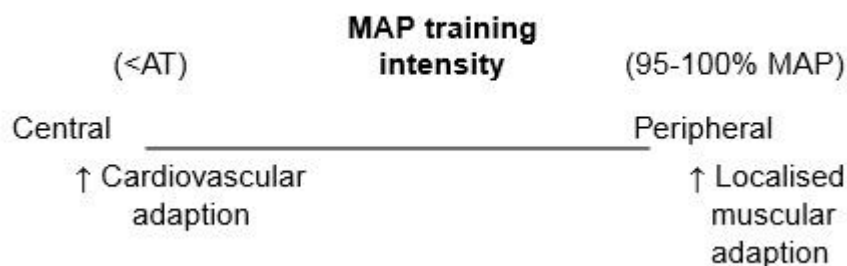
Optimaalinen voimaharjoittelun volyyymi ja intensiteetti harjoitusvasteiden näkökulmasta riippuvat voimaharjoittelijan harjoitustaustasta ja perimästä sekä voimaharjoittelun tavoitteista eli siitä onko harjoittelun päätavoitteena lihasmassan hankinta, hermostollinen maksimivoima, nopeusvoima, kesto-voima vai jokin edellisten yhdistelmä. Kokeuttomilla voimaharjoittelijoilla matalampi voimaharjoittelun intensiteetti ja volyyymi riittävät maksimivoimatasojen kehittymiseen kuin kokeneilla voimaharjoittelijoilla; kokeuttoman voimaharjoittelijan maksimivoimatasot kehittyvät hyvin vain 60–70 % kuormilla yhden toiston maksimista harjoittelussa, mutta kokenut voimaharjoittelija tarvitsee kehittyäkseen myös 80–100 % kuormia. (Peterson ym. 2005.) Esimerkiksi Marshallin ym. (2011) tutkimus tukee käsitystä, että tiettyyn pisteeseen asti kokeneilla voimaharjoittelijoilla suurempi volyyymi kehittää paremmin kuin pienempi; tutkimuksessa kahdeksan sarjaa per lihasryhmä per harjoitus tuotti suuremmat maksimivoimatasojen kasvut kokeneilla voimaharjoittelijoilla kuin neljä sarjaa tai yksi sarja per lihasryhmä. Harjoittelun nousujohteisuus ja jaksottaminen sekä uudet ärsykkeet ovat pitkällä aikavälillä välttämättömiä kehityksen aikaansaamiseksi (Bompa & Haff 2009, 40–45).

Lisäksi on syytä muistaa urheiluharjoittelun moniulotteisuus (vuoren päälle on monta kiipeilyreittiä), sillä esimerkiksi Fisherin ym. (2011 ja 2013) laajojen meta-analyysien mukaan yksi sarja per lihasryhmä harjoituksessa tuottaa samanlaiset tulokset hypertrofisessa voimaharjoittelussa kuin useampi sarja per lihasryhmä ainakin kokemattomilla voimaharjoittelijoilla. Fisherin ym. (2011 ja 2013) meta-analyysien tulokset ovat osin ristiriitaisia Marshallin ym. (2011) tutkimuksen ja Petersonin ym. (2005) meta-analyysin kanssa, sillä ne puoltavat korkeamman volyymin kuin yksi sarja per lihasryhmä harjoittelua myös hypertrofisessa voimaharjoittelussa. Meta-analyysien mukaan maksimivoimapainotteisessa harjoittelussa (1–6 RM kuormilla harjoittelu) paras voimankasvu saadaan keskimäärin, kun yhdessä harjoituksessa tehdään liikettä/liharyhmää kohden 3–8 työsarjaa ja harjoitusfrekvenssi on 2–5 harjoitusta viikossa (Peterson 2004; Tan 1999). Lihasmassaharjoittelussa (perinteisesti 6–12 RM kuormat) keskimäärin kaksi (1–3) harjoitusta per lihasryhmä viikossa lienee optimaalinen harjoitusfrekvenssi, sillä proteiinisynteesi on koholla 24–72 h hypertrofisen voimaharjoituksen jälkeen (Bodine 2006).

Usein urheilijoiden harjoittelu on jaettu erilaisiin harjoitusjaksoihin. Harjoittelun määrä, intensiteetti ja painopisteet vaihtelevat harjoituskauden eri harjoitusjaksojen tavoitteiden mukaan. Tällaista systemaattista harjoittelun suunnittelua, jossa harjoittelua pilkotaan eri asioita painottaviksi harjoitusjaksoiksi, kutsutaan periodisaatioksi. Periodisoinnilla pyritään optimoimaan urheilijan kehitys ja takaamaan riittävä palautuminen. Lisäksi kilpaurheilussa periodisaation avulla pyritään optimoimaan suorituskyky tärkeimpiin kilpailuihin. Tyypillinen harjoituskauden jako on jakaa harjoittelu yleiseen perusominaisuuskauteen, lajinomaiseen perusominaisuuskauteen, kilpailuihin valmistavaan kauteen, kilpailukauteen ja ylimenokauteen. (Bompa & Haff 2009, 125–135.) Periodisoitu harjoittelu tuottaa voimaharjoittelussa parempia tuloksia kuin monotoninen harjoittelu (Fleck 1999; Willoughby 1993).

3 KESTÄVYYSHARJOITTELU

Kestävyys on kykyä vastustaa väsymystä (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 162). Aerobisen kestävyuden merkitys on erittäin suuri fyysisissä suorituksissa, joiden kesto on yli kaksi minuuttia (McArdle ym. 2010, 452). Alle viiden minuutin maksimaalisissa suorituksissa myös anaerobisella energiantuotolla on merkittävää vaikutusta suorituskykyyn (Keskinen ym. 2010, 51). Aerobinen kestävyys voidaan jakaa peruskestävyyteen, vauhtikestävyteen ja maksimikestävyteen. Nopeuskestävyys on ominaisuus, joka perustuu ennen kaikkea anaerobiseen kestävyteen. Aerobinen kestävyyskyky perustuu maksimaalisen aerobiseen energiantuottoon (VO_{2max}), pitkäaikaiseen aerobiseen kestävyteen, suorituksen taloudellisuuteen ja hermolihasjärjestelmän voimantuottoon. (Mero ym. 2007, 333.) Aerobinen kestävyys harjoittelu parantaa hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoa (Docherty & Sporer 2000). Lisäksi se parantaa lihasten aerobista aineenvaihduntaa (Holloszy & Coyle 1984). Matalampi intensiteettinen aerobinen harjoittelu näyttää vaikuttavan enemmän hengitys- ja verenkiertoelimistön kehittymiseen, kun taas korkeaintensiteettinen aerobinen harjoittelu lihasten aerobisen energiantuoton kehittymiseen (kuva 5) (Docherty & Sporer 2000). Toisaalta Helgerudin ym. (2007) mukaan korkeaintensiteettinen aerobinen harjoittelu kehittää merkittävästi sydämen iskutilavuutta.



KUVA 5. Aerobisen kestävyys harjoittelun harjoitusadaptaatioiden painotus suhteutettuna harjoitusintensiteettiin; sydämen maksimaalinen iskutilavuus saavutetaan yleensä jo 75 % kuormalla maksimaalisesta hapenkulutuksesta. AT = anaerobinen kynnyk; MAP = maksimaalinen aerobinen teho. (Docherty & Sporer 2000.)

Kestävyysharjoittelu lisää lihassolujen aerobisten energiantuottolaitosten eli mitokondrioiden määrää ja kokoa lihaksissa (Ingjer 1979; Tanaka & Svensen 1998; Wilmore ym. 2008, 235). Aerobiseen energiantuottoon vaikuttavien entsyymien aktiivisuus lisääntyy kestävyysharjoittelun seurauksena (Donovan & Brooks 1983; McArdle 2010, 459; Tanaka & Svensen 1998; Wilmore ym. 2008, 235–236). Myös lihasten hiussuonitus lisääntyy kestävyysharjoittelun seurauksena (Ingjer 1979; Tanaka & Svensen 1998). Lisäksi lihasten hapenkuljettajamolekyylin eli myoglobiinin määrä lihaksissa kasvaa kestävyysharjoittelun seurauksena (Wilmore ym. 2008, 234). Kestävyysharjoitelleilla lihasten kyky käyttää veren tuomaa happea hyväksi on siis kestävyysharjoittelemattomiin verrattuna parempi sekä lisääntyneen lihasten hiussuonituksen että lihasten kehittyneen aerobisen energiantuotannon sekä hapenkuljetuskyvyn seurauksena. Tärkein solusignaalintireitti, jonka aktivoituminen johtaa kestävyys suorituskyvyn nostamiseen tarvittavien proteiinien rakennukseen geenien ilmenemisen ja sitä seuraavan proteiinisynteesin kautta on AMPK-PGC-1-signalointireitti (Hawley 2009).

Kestävyysharjoittelu kasvattaa sydämen vasemman kammion ja seinämien läpimittaa, joka kasvattaa sydämen iskutilavuutta sekä levossa että rasituksessa (McArdle 2010, 464; Spina ym. 1992). Maksimaalinen iskutilavuus on keskimäärin harjoittelemattomilla 80–110 ml/sydämenlyönti, kohtuullisesti kestävyysharjoitelleilla 110–150 ml/sydämenlyönti ja paljon kestävyysharjoitelleilla 150–220 ml/sydämenlyönti (Wilmore ym. 2008, 226). Sydämen minuuttitulavuus on sykkeen ja sydämen iskutilavuuden tulo (Keskinen ym. 2010, 53). Kestävyysharjoittelu lisää nopeasti jo muutaman harjoituskerran jälkeen veriplasman tilavuutta (Convertino 1991). Lisääntynyt veriplasman tilavuus lisää sydämen loppudiastolista verimäärää, joka osaltaan johtaa suurentuneeseen sydämen iskutilavuuteen. Lisääntynyt veriplasman määrää laskee hematokriittia eli punasolujen prosenttiosuutta veren tilavuudesta, mutta punasolujen absoluuttinen määrä kuitenkin nousee kestävyysharjoittelun seurauksena. Lisääntynyt punasolumäärä lisää veren hapenkuljetuskapasiteettia. (Wilmore ym. 2008, 227, 232.) Kestävyysharjoittelun seurauksena sydämen syke ja verenpaine pienenevät levossa sekä submaksimaalisessa kuormituksessa. Lisäksi kestävyysharjoittelu parantaa maksimaalista ventilaatiota, mutta pienentää ventilaatiota submaksimaalisessa kuormituksessa. (Mero ym. 2007, 344.)

3.1 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalinen hapenottokyky kuvaa ihmiskehon kapasiteettia tuottaa energiaa hapen avulla. Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat lihasten kyky käyttää happea energiantuotossaan sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky kuljettaa happea lihas-soluille. (Docherty & Sporer 2000.) Niinpä maksimaalinen hapenkulutus voidaan ilmaista sydämen minuuttitilavuuden ja valtimo-laskimo-happieron tulona. Maksimaalinen hapenottokyky ilmoitetaan yleensä joko absoluuttisena tilavuutena minuutissa (l/min) tai kehonpainoon suhteutettuna tilavuutena minuutissa (ml/kg/min). Absoluuttinen hapenottokyky on tärkeä urheilusuorituksissa, joissa urheiluväline kannattaa suurimman osan kehonpainosta, kuten soudussa. Suhteellinen hapenottokyky on tärkeä urheilusuorituksissa, joissa kehonpainoa joudutaan liikuttelemaan ilman välinettä, kuten juostessa. (Keskinen ym. 2010, 52–53.)

Nuorilla ja kokemattomilla kestävyysharjoittelijoilla maksimaalinen hapenottokyky kehittyy myös perus- ja vauhtikestävyysharjoittelulla, mutta kokenut kestävyysharjoittelija tarvitsee maksimikestävyysharjoittelua maksimaalisen hapenottokykynsä parantamiseen (Mero ym. 2007, 342). Helgerudin ym. (2007) tutkimuksen mukaan korkeaintensiteettinen aerobinen intervalliharjoittelu eli maksimikestävyysintervalliharjoittelu on merkittävästi tehokkaampi tapa kasvattaa maksimaalista hapenottokykyä kuin vastaavan työmäärän tekeminen vauhti- tai peruskestävyysharjoitteluna. Lisäksi Helgerudin ym. (2007) tutkimuksessa maksimaalisen hapenottokyvyn kasvu korreloi voimakkaasti sydämen iskutilavuuden kasvun kanssa, joka viittaa siihen, että sydämen iskutilavuuden kasvu on erittäin merkittävä tekijä maksimaalisen hapenottokyvyn parantumisessa. Harjoittelemattoman nuoren aikuisen maksimaalinen hapenottokyky on keskimäärin noin 40 ml/kg/min. Kansainvälisen tason kestävyysurheilijamiehillä maksimaalinen hapenottokyky lajeissa, joissa liikutellaan omaa kehoa ilman apuvälineitä, on yli 80 ml/kg/min ja naisilla yli 70 ml/kg/min. Myös kestävyysharjoittelu on lajispesifiä muun muassa siten, että harjoittelu kehittää hapenkäyttökykyä niissä lihaksissa ja niillä lihas-työtavoilla, joilla harjoittelu pääosin suoritetaan. (Keskinen ym. 2010, 54–55, 272–273.) Harjoitusvasteiden yksilölliset erot ovat suuria kestävyysharjoittelussa. Useiden tutkimusten mukaan samanlaisella kestävyysharjoitteluohjelmalla toisten maksimaalinen hapenottokyky ei kehity ollenkaan ja toisten maksimaalinen hapenottokyky kehittyy yli

50 %. Suurimmalla osalla ihmisistä maksimaalinen hapenottokyky kuitenkin kehittyy kohtuullisesti kestävyysharjoittelun seurauksena. (Wilmore ym. 2008, 241–243.)

3.2 Pitkäaikainen kestävyys, kynnysominaisuudet ja kestävyysharjoittelun osa-alueet

Maksimaalisella aerobisella teholla energiaa voidaan tuottaa vain noin 10 minuutin ajan (Mero ym. 2007, 333). Niinpä yli 10 minuutin kestoisissa suorituksissa pitkäaikaiseen kestävyysuorituskykyyn liittyvät fysiologiset ominaisuudet ovat tärkeässä roolissa määrittämässä ihmisen kestävyysuorituskykyä. Maksimaalinen aerobinen teho vaikuttaa kuitenkin myös pitkäaikaiseen kestävyteen määrittämällä aerobiselle energiantuotolle toimintarajat. Pitkäaikainen kestävyys on riippuvainen kehon aerobisten energiantuottomekanismien tehokkuudesta ja kehon kyvystä puskuroida anaerobisen energiantuoton aiheuttamaa happamuutta. (Docherty & Sporer 2000.) Kun työteho kuormituksessa nousee, anaerobisen energiantuoton osuus kokonaisenergiantuotosta kasvaa (Baar 2014). Anaerobisen glykolyysin sivutuotteena syntyy aineenvaihduntatuotteita, jotka aiheuttavat väsymystä heikentämällä energiantuottoreaktioiden ja lihassupistusmekanismien toimintaa (Keskinen ym. 2010, 50–51).

Aerobinen kynnys on suurin työteho ja energiankulutuksen taso, jossa sydänlihas, maksa ja luurankolihakset pystyvät poistamaan tuotettua laktaattia niin paljon, että veren laktaattipitoisuus ei nouse yli lepotason. Aerobisella kynnyksellä ja sen alapuolella tapahtuvaa kestävyysharjoittelua kutsutaan peruskestävyysharjoitteluksi. (Keskinen ym. 2010, 50–51.) Käytännössä peruskestävyysharjoittelun tehoalue on 40–70 % maksimaalisesta hapenottokyvystä, kuormituksen kesto on noin 30–240 minuuttia, käytössä on ennen kaikkea hitaita ykköstyypin ST-lihassoluja ja veren laktaattipitoisuus on yleensä alle 2 mmol/l. Peruskestävyysharjoittelu vaikuttaa ennen kaikkea aerobisen energiantuoton rasva-aineenvaihduntaan lisäämällä aerobiseen energiantuottoon vaikuttavien entsyymien aktiivisuutta. (Mero ym. 2007, 336, 344.)

Anaerobinen kynnys on suurin työteho ja energiankulutuksen taso, jossa veren laktaattipitoisuus ei kasva koko suorituksen ajan (Baar 2014). Aerobisen kynnyksen ja anaerobisen kynnyksen välissä tapahtuvaa kestävyysharjoittelua kutsutaan vauhtikestävyyshar-

joitteluksi. (Keskinen ym. 2010, 50–51.) Käytännössä vauhtikestävyys­harjoittelun teho­alue on 65–90 % maksimaalisesta hapenottokyvystä, kokonaiskuormituksen kesto on noin 20–60 minuuttia, käytössä on sekä hitaita ST-lihassoluja että nopeita FTa-lihassoluja ja veren laktaattipitoisuus on noin 2–5 mmol/l. Vauhtikestävyys­harjoittelu vaikuttaa ennen kaikkea aerobisen energiantuoton hiilihydraattiaineenvaihduntaan li­ säämällä aerobiseen energiantuottoon vaikuttavien entsyymien aktiivisuutta. (Mero ym. 2007, 336, 344.) Myös happamuudenpuskurointikyky kehittyy vauhtikestävyys­harjoitte­ lun seurauksena (Docherty & Sporer 2000).

Anaerobisen kynnyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välissä tapahtuvaa kestä­ vyysharjoittelua kutsutaan maksimikestävyys­harjoitteluksi (Keskinen ym. 2010, 50–51). Käytännössä maksimikestävyys­harjoittelun tehoalue on 80–100 % maksimaalisesta ha­ penottokyvystä, kokonaiskuormituksen kesto on noin 10–30 minuuttia, käytössä on niin ST-, FTa- kuin Fb-tyypin lihassoluja ja veren laktaattipitoisuus on noin 5–10 mmol/l (Mero ym. 2007, 336). Maksimikestävyys­harjoittelu vaikuttaa ennen kaikkea maksi­ maaliseen hapenottokykyyn ja hiilihydraattiaineenvaihduntaan parantamalla lihassolu­ jen kykyä käyttää happea energiantuotannossaan (Docherty & Sporer 2000). Maksimaa­ lista hapenottokykyä korkeammilla työtehoilla toteutettua voimakkaasti anaerobiseen energia-aineenvaihduntaan pohjaavaa kestävyys­harjoittelua kutsutaan nopeuskestä­ vyysharjoitteluksi (Keskinen ym. 2010, 51–52).

3.3 Taloudellisuuden ja hermolihasjärjestelmän suorituskykyisyyden vaikutukset kestävyys­suorituskykyyn

Kestävyys­liikunnassa taloudellisuutta voidaan mitata mittaamalla hapenkulutusta tiettyä vakiokuormaa kohti (Morgan ym. 1989). Mitä nopeammin esimerkiksi juoksija kykenee etenemään tietyllä hapenkulutuksella, sitä parempi on hänen juoksunsa taloudellisuus. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat muun muassa hermolihasjärjestelmän kyky varas­ toida ja vapauttaa elastista energiaa, agonisti-antagonistiparien kyky rytmitettyyn supis­ tumiseen ja rentoutumiseen, askelpituus, kehon mittasuhteet, syke, kertahengitystila­ vuus, hengitystiheys, lämpötila, mieliala, harjoitustila ja väsymys (Keskinen ym. 2010, 55–57). Harjoittelu parantaa suorituksen taloudellisuutta niissä suorituksissa ja niillä liikenopeuksilla, joilla harjoittelu on toteutettu (Keskinen ym. 2010, 55–57).

Maksimaalisen hapenottokyvyn, pitkäaikaisen kestävyuden ja suorituksen taloudellisuuden lisäksi lajinomaiset hermolihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuudet vaikuttavat kestävyysuorituskykyyn (Mero ym. 2007, 345). Monissa kestävyyslajeissa voimantuottoajat ovat alle 0,3 sekuntia; esimerkiksi kestävyysjuoksussa ja maastohiihdossa voimantuottoajat ovat alle 0,2 sekuntia (Mero ym. 2007, 346). Tämä tarkoittaa, että monissa kestävyyslajeissa nopeusvoimaominaisuudet vaikuttavat voimantuottokykyyn. Yamamoton ym. (2008) meta-analyysi osoittaa, että yleensä voimaharjoittelun yhdistäminen kestävyysjuoksuharjoitteluun kehittää kestävyysjuoksusuoritusta ja sen taloudellisuutta. Myös kestävyysurheilijalla hermolihasjärjestelmän tuottama voima on voima, jonka vastavoima vie urheilijaa eteenpäin. Lihaksen tahdonalaisten voimantuottoominaisuuksien kehittymisen lisäksi kestävyysurheilija hyötyy parantuneesta elastisen energian hyödyntämiskyvystä kestävyyslajeissa, joiden syklinen liike sisältää venymislyhenemissyklusen; parantunut elastisen energian hyödyntämiskyky parantaa liikkumisen taloudellisuutta (Mero ym. 2007, 346). Paavolaisen ym. (1999) tutkimuksessa kestävyysuoritteluohjelmaan lisätyn nopeusvoimaharjoittelun havaittiin parantavan kestävyysjuoksijoiden suorituskykyä viiden kilometrin juoksussa verrattuna pelkkään kestävyysuoritteluun, vaikka aerobista kapasiteettia määrittävässä maksimaalisessa hapenotossa ei ollut eroja ryhmien välillä. Mekanismina nopeusvoimaharjoittelun hyödyille oli juoksun taloudellisuuden parantuminen (Paavolainen ym. 1999). Toisin sanoen nopeusvoimaharjoittelujakson jälkeen joka askeleella juoksija pystyi tuottamaan enemmän voimaa vähäisemmällä hapenkulutuksella. Samoin Saundersin ym. (2006) tutkimuksessa yhdeksän viikkoa kestänyt plyometrinen nopeusvoimaharjoittelu kehitti juoksun taloudellisuutta hyvin harjoitelleilla keski- ja pitkänmatkan juoksijoilla. Tutkimuksessa plyometristä harjoittelua tehtiin kolmesti viikossa (Saunders ym. 2006). Størenin ym. (2008) tutkimuksessa puolikykyin toteutettu kahdeksan viikkoa kestänyt maksimivoimaharjoittelu paransi juoksun taloudellisuutta ja lisäsi uupumukseen kestänyttä aikaa maksimaalisella aerobisella juoksuvauhdilla hyvin harjoitelleilla kestävyysjuoksijoilla ilman muutoksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä tai kehon massassa. Tutkimuksessa maksimivoimaharjoittelua tehtiin kolmesti viikossa (Støren ym. 2008). Taipaleen ym. (2013) mukaan niin nopeusvoima-, maksimivoima- kuin yhdistetty nopeus- ja maksimivoimaharjoittelu yhdistettynä kestävyysjuoksuharjoitteluun parantavat voimaa, tehoa ja kestävyysuorituskykyä ainakin kahdeksan viikon kestoisella harjoitusjaksolla.

Taipaleen ym. (2013) tutkimuksessa voimaharjoittelua tehtiin 1–2 kertaa viikossa ja kestävyysharjoittelua 3–4 kertaa viikossa.

3.4 Kestävyysharjoittelun hermostolliset adaptaatiot

Kestävyysharjoittelu lisää hiussuonitusta motorisen aivokuoren hermosolujen ympärillä parantaen niiden hapensaantia (Adkins ym. 2006; Kleim ym. 2002; Swain ym. 2003). Selkäydintasolla kestävyysharjoittelu voimistaa H-refleksiä eli lisää alfamotoneuroniaal-taan herkkyyttä ja / tai vähentää Ia-afferenttiin kohdistuvaa presynaptista inhibitiota (Adkins ym. 2006; Maffioletti ym. 2001; Vila-Chã ym. 2012). Vila-Chã ym. (2012) tutkimuksessa V/Max.-suhde ei muuttunut kestävyysharjoittelun seurauksena, mutta Hmax/Mmax-suhde kasvoi 30,8 (\pm 21,7) %. Kestävyysharjoittelu myös alensi H-refleksin syttymiskynnystä Vila-Chã ym. (2012) tutkimuksessa. Herkistynyt venytys-refleksi ilmeisesti lisää kykyä vastustaa väsymystä. Koska V/Max.-suhde ei muuttunut Vila-Chã ym. (2012) tutkimuksessa kestävyysharjoittelun seurauksena, niin voidaan päätellä, että kestävyysharjoittelu ei lisää motoriselta aivokuorelta tulevaa maksimaalista käskytystä, kuten voimaharjoittelu lisää. Vila-Chã ym. (2010) tutkimuksessa kuuden viikon kestoinen kuntopyörällä toteutettu kestävyysharjoittelu laski submaksimaalisen voimantuottotason impulssitiheyttä vastus lateralis lihaksessa, kun impulssitiheys mitattiin isometrisessä polvenojennuksessa 30 % jännityksellä maksimivoimantuotosta.

Kokemattomilla kilpapyöräilijöillä on havaittu suurempaa vaihtelua yksittäisten polkaisukierrosten välisissä lihasten aktivointimalleissa ja pidempi yksittäisten lihasten aktivointiaika kuin pitkään harjoitelleilla kilpapyöräilijöillä (Chapman ym. 2008). Useiden erilaisten kestävyyslajien perättäinen harjoittelemine saattaa heikentää hermostollista adaptaatiota syklistelle liikkeelle, sillä kokeneilla triathlonisteilla ei ole yhtä hyvä ja taloudellinen lihasten aktivointimalli pyöräilyssä kuin kokeneilla kilpapyöräilijöillä (Bonacci ym. 2009). Lucian ym. (2000) tutkimuksen mukaan onnistunut kestävyysharjoittelu lisää rekrytoitujen motoristen yksiköiden määrää aktiivisissa lihaksissa maksimaalisessa kestävyysuorituksessa ammattipyöräilijöillä. Lisääntynyt lihassolujen käyttö kestävyysuorituksessa todennäköisesti edesauttaa sitä, että kyetään suurempaan aerobisen energiantuoton tehoon kuin ennen adaptaatiota.

4 YHDISTETTY VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELU

Kokonaisvaltainen fyysinen kunto muodostuu voimasta, kestävyydestä, nopeudesta ja liikkuvuudesta. Yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu parantaa fyysistä terveyttä ja kuntoa (Sillanpää ym. 2012). Yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu parantaa myös fyysistä suorituskykyä ruumiillisessa työssä (Hendricson ym. 2010). Lisäksi useissa urheilulajeissa, kuten soudussa ja melonnassa tarvitaan sekä melko kovaa kestävyyskuntoa että voimatasoja (García-Pallarés & Izquierdo 2011). Voiman ja kestävyuden samanaikaisessa harjoittelemisessa on kuitenkin haasteensa, sillä usein yhtäaikainen voima- ja kestävyys harjoittelu heikentää voimaharjoittelun harjoitusvasteita verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun (Bell ym. 2000; Chtara ym. 2008; García-Pallarés & Izquierdo 2011; Hennessy & Watson 1994; Hickson 1980; Leveritt ym. 1999). Yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun vaikutukset ovat kuitenkin erilaisia harjoittelun toteutustavasta, harjoitusfrekvenssistä, -volyyymista, -intensiteetistä, harjoittelijoiden harjoitustaustasta, harjoittelun jaksottamisesta ja monista muista muuttujista johtuen (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Leveritt ym. 1999). Niinpä joissain tutkimuksissa yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu ei ole aiheuttanut haittaa voiman kehittymiselle verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun, mutta useimmissa tutkimuksissa yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu on häirinnyt voiman ja tehontuoton kehittymistä verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Hennessy & Watson 1994; Leveritt ym. 1999).

Tarkkoja mekanismeja kestävyys harjoittelun voimaharjoitteluun kohdistamalle inhibitiolle ei tiedetä, mutta muun muassa seuraavia syitä arvellaan olevan inhibition takana: 1) Arvellaan, että itse luurankolihas on vaikea aineenvaihdunnallisesti ja rakenteellisesti adaptoitua yhtä aikaa sekä voima- että kestävyys harjoitteluun. 2) Jos kestävyys harjoittelu toteutetaan ennen voimaharjoittelua, arvellaan kestävyys harjoituksen aiheuttaman väsymyksen heikentävän voimantuottoa voimaharjoittelussa, joka kroonisesti heikentää voimaharjoittelun aiheuttamia harjoitusvasteita verrattuna ainoastaan voimaharjoittelua sisältävään harjoitteluun. (Leveritt ym. 1999.) Useimmissa tutkimuksissa yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu ei ole haitannut kestävyysadaptaatiota (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Hennessy & Watson 1994; Hickson 1980; Leveritt ym.

1999). Sellaisiakin tutkimuksia kuitenkin löytyy, jossa kestävyysadaptaatio on häiriintynyt yhdistetystä voima- ja kestävyysharjoittelusta verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun (Glowacki ym. 2004; Leveritt ym. 1999).

4.1 Interferenssi sekä volyymi, intensiteetti, harjoitusfrekvenssi ja periodisaatio yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa

Kestävyysharjoittelu aiheuttaa voimakasta interferenssiä tehon ja voimantuottonopeuden kehittymiselle, sillä useissa yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun tutkimuksissa yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua tehneiden maksimivoimatasot ovat kehittyneet merkittävästi, mutta voimantuottonopeus ei, vaikka samaan aikaan pelkkää voimaharjoittelua tehneet ovat nostaneet sekä maksimivoimatasojaan että voimantuottonopeuttaan (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Hennessy & Watson 1994; Häkkinen ym. 2003; Leveritt ym. 1999; Mikkola ym. 2012; Rønnestad ym. 2012). Voimantuottonopeuden kehittymisen häiriintymisen arvellaan johtuvan siitä, että kestävyysharjoittelukomponentti laskee kykyä nopeaan tahdonalaiseen neuraaliseen motoriseen aktivaatioon (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Häkkinen ym. 2003). Kestävyysjuoksun on havaittu aiheuttavan voimakkaampaa interferenssiä voimaharjoittelun harjoitusvasteille kuin pyöräily (Leveritt ym. 1999; Wilson ym. 2012). Toisaalta Silvan ym. (2012) tutkimuksessa kaksi kertaa viikkoon toteutettu 11 viikkoa kestänyt yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu tuotti samanlaiset maksimivoima-adaptaatiot nuorilla miehillä kuin pelkkä voimaharjoittelu huolimatta siitä oliko yhdistetyn harjoittelun kestävyyskomponentti yhtäjaksoinen juokseminen, intervallijuokseminen vai yhtäjaksoinen kuntopyöräharjoittelu.

Yläkropan voimien kehittyminen ei häiriinny ainakaan samanaikaisesti suoritetusta alakroppavoittoisesta kestävyysharjoittelusta (Hennessy & Watson 1994; Leveritt 1999). Samaan aikaan toteutettua yläkroppavoittoista kestävyys- ja voimaharjoittelua on tutkittu vähän, mutta muutaman tutkimuksen perusteella saattaa olla, että voimaharjoitusvasteiden interferenssi-ilmiö yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa ylävartalon hermolihasjärjestelmässä on pienempi kuin alavartalon hermolihasjärjestelmässä. Tutkimustulokset voimaharjoittelun harjoitusvasteiden interferenssistä yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa ovat osin ristiriitaisia niin kokeneilla kuin kokemattomillakin

harjoittelijoilla. Kestävyysharjoitelleilla on havaittu suurempaa voimien ja tehontuotto-
kyvyn kasvua yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun tutkimuksissa kuin ennestään
harjoittelemattomilla. (Leveritt ym. 1999.) Tämä johtunee kestävyysharjoittelun luon-
teesta heikentää nopeaa voimantuottokykyä.

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun tutkimuksissa usein havaitun voimaharjoi-
tusvasteiden interferenssin yhdeksi syyksi on epäilty yhdistetyn harjoittelun aiheuttamaa
ylikuormitusta eli sitä, että kokonaisharjoitusmäärä ylittäisi ainakin voimaharjoittelun
osalta kehon adaptaatiokapasiteetin (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Leveritt ym.
1999). Useissa tutkimusasetelmissä yhdistetty voima- ja kestävyysharjoitteluryhmän
kokonaisharjoitusmäärä on kaksinkertainen pelkkään voimaharjoitteluryhmään ja pelk-
kään kestävyysharjoitteluryhmään verrattuna (Leveritt ym. 1999). Esimerkiksi Hickso-
nin (1980) tutkimuksessa voimaharjoitteluryhmällä oli viisi harjoitusta viikossa, kestä-
vyysryhmällä kuusi ja yhdistetyllä voima- ja kestävyysryhmällä 11. Hicksonin (1980)
tutkimuksessa maksimaalinen hapenotto- ja polkupyöräergometritestillä mitat-
tuna 25 % sekä kestävyysryhmällä että yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoitteluryh-
mällä. Voimaryhmä ei parantanut maksimaalista hapenotto- ja polkupyöräergometritesti-
tulosta yhtä paljon voimaryhmällä ja yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoitteluryh-
mällä ensimmäisen seitsemän viikon ajan, mutta sen jälkeen voimaryhmän kehitys
voimantuotossa oli suurempaa kuin yhdistettyä harjoittelua tehneellä ryhmällä. Kestä-
vyysryhmän voimatestitulokset eivät kehittyneet. (Hickson 1980.) Myös Rønnestadin
ym. (2012) tutkimuksessa runsasvolyymisen kestävyysharjoittelun havaittiin vaimenta-
van voimaharjoittelun aiheuttamia adaptaatioita pelkkään voimaharjoitteluun verrattuna.
Samoin Jonesin ym. (2013) tutkimuksessa kestävyysharjoittelun määrällä havaittiin
suhde maksimivoimaan ja lihaskasvuun kohdistuneeseen interferenssiin yhdistetyssä
voima- ja kestävyysharjoittelussa. Tutkimuksessa 3:1 –suhteella voimaa ja kestävyyttä
harjoitellut ryhmä kasvatti maksimivoimatasoja ja lihasten kokoa enemmän kuin suh-
teella 1:1 harjoitellut ryhmä. Molemmilla ryhmillä voimaharjoittelun volyyymi ja frek-
venssi oli sama, mutta 1:1 -ryhmä harjoitteli kestävyyttä kolminkertaisen määrän 3:1 -
ryhmään verrattuna. (Jones ym. 2013.) Jos siis harjoittelun päätavoite on maksimivoi-
matasojen ja / tai lihasmassan kasvatus, kannattaa kestävyysharjoittelun määrä pitää
maltillisena.

Päätelmä ylikuormitusmahdollisuudesta viittaisi siihen, että manipuloimalla yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun intensiteetin, volyymin ja frekvenssin sopivaksi voitaisiin voimaharjoitusvasteisiin kohdistuvaa interferenssiä ainakin minimoida. Häkkisen ym. (2003) tutkimus tukee tätä ajatusta, sillä siinä matalafrekvenssinen yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei häirinyt maksimivoimatasojen kehittymistä ja lihasten poikkipinta-alan kasvua verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun ennestään systemaattisesti harjoittelemattomilla miehillä. Tutkimuksessa voimaharjoitteluryhmä teki kaksi voimaharjoitusta viikossa ja yhdistetty voima- ja kestävyysharjoitteluryhmä teki kaksi voima- sekä kaksi kestävyysharjoitusta viikossa. Voimaharjoittelu sisälsi hypertrofista voimaharjoittelua, maksimivoimaharjoittelua ja räjähtävää nopeusvoimaharjoittelua optimitheoalueella. Kestävyysharjoittelu sisälsi peruskestävyys-, vauhtikestävyys- ja maksimikestävyysharjoittelua kuntopyörällä. Molemmat ryhmät paransivat tuloksia sekä isometrisessä bilateraaliosassa jalkadynamometrissä että dynaamisen bilateraalisen jalkaprässin yhden toiston maksimissa hieman yli 20 % 21 viikon aikana. Myös pinta-EMG-mittauksin havaittu lihasaktiivisuuksien nousu maksimivoimasuorituksissa oli samansuuruinen molemmilla ryhmillä. Yhdistetyn harjoittelun ryhmä paransi maksimaalista hapenottoa 18,5 %. Voimantuottonopeus kehittyi vain voimaharjoitteluryhmällä eli matalafrekvenssinenkin yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu häiritsee voimantuottonopeuden kehittymistä verrattuna pelkkään voima- ja nopeusharjoitteluun. Myös Häkkisen ym. (2003) tutkimusryhmän mukaan mekanismi voimantuottonopeuden kehittymisen interferenssiin löytyy todennäköisesti kestävyysharjoittelukomponentin aiheuttamasta interferenssistä hermoston kyvylle aktivoida lihaksia nopeasti. (Häkkinen ym. 2003.)

Myös Karavirran ym. (2011) keski-ikäisillä miestutkittavilla tehty tutkimus tukee sitä, että maltillisella frekvenssillä toteutettu yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei aiheuta interferenssiä maksimivoimatasojen kasvuun. Tutkimuksessa voimaharjoitteluryhmä teki kaksi voimaharjoitusta viikossa, kestävyysryhmä kaksi kestävyysharjoitusta viikossa ja yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ryhmä teki sekä kaksi voimaharjoitusta että kaksi kestävyysharjoitusta viikossa. Sekä voimaharjoitteluryhmä että yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun ryhmä paransivat bilateraalisen dynaamisen jalkaprässin yhden toiston maksimia hieman yli 20 % 21 viikon aikana, mutta II-tyypin lihaslujien hypertrofia oli merkittävää vain voimaharjoitteluryhmällä. Tulokset viittaavat siihen, että maltillisella volyymilla toteutettu yhdistetty voima- ja kestävyysharjoit-

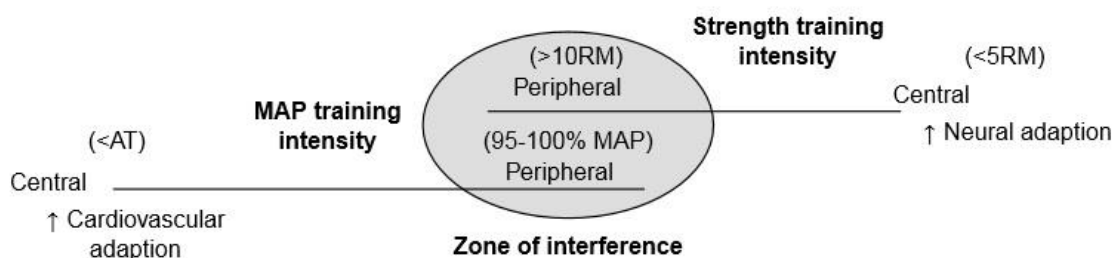
telu ei aiheuta interferenssiä voimaharjoittelun hermostolliseen adaptaation keski-ikäisillä miehillä, mutta aiheuttaa interferenssiä lihasmassan kasvulle. (Karavirta ym. 2011) Häkkisen ym. (2003) tutkimuksessa vastaavaa lihasmassa-adaptaation interferenssiä ei havaittu nuorilla miehillä. Samoin McCarthyn ym. (2002) tutkimuksessa, jossa koehenkilöinä oli ennestään harjoittelemattomia nuoria miehiä, kolmesti viikossa toteutettu yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu tuotti yhtä suuret kehitykset maksimivoimatasoissa, lihasmassan kasvussa ja lihasten tahdonalaisessa aktivointikyvyssä 10 viikon harjoitusjakson aikana kuin pelkkä voimaharjoittelu. Poikkeuksellisesti Mikkolan ym. (2012) tutkimuksessa yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua tehneillä nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi enemmän (11 %, $p < 0.001$) kuin pelkästään voimaharjoittelua tehneillä (6 %, $p < 0.001$). Tutkimuksessa myös pelkkää kestävyysharjoittelua toteuttaneilla nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi hieman (2 %, $p < 0.05$), Voimaharjoitteluryhmä teki kaksi voimaharjoitusta viikossa. Kestävyysharjoitteluryhmä teki kaksi kestävyysharjoitusta viikossa, ja yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun ryhmä teki sekä kaksi voimaharjoitusta että kaksi kestävyysharjoitusta viikossa. Tutkittavat olivat ennestään systemaattisesti voima- ja kestävyysharjoittelemattomia. (Mikkola ym. 2012.)

Useiden tutkimusten valossa vaikuttaisi, että yli kolme kestävyysharjoitusta viikossa on liikaa, jos haluaa minimoida yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun aiheuttamaa interferenssiä maksimivoimatasojen kehittymiselle. Samoin yli kolme voimaharjoitusta viikossa vaikuttaisi olevan liikaa, jos haluaa optimoida aerobisen kestävyuden kehittymisen yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa. (García-Pallarés & Izquierdo 2011.) Yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa kohtalainen voimaharjoittelun volyyymi yhdistettynä siihen, että sarjoja ei viedä konsentriseen uupumukseen kasvattaa enemmän suorituskykyä kuin runsasvolyyminen voimaharjoittelu, jossa sarjat viedään konsentriseen uupumukseen (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Izquierdo-Gabarron ym. 2010). Voimaharjoituksista palautuminen on nopeampaa, kun sarjoja ei viedä konsentriseen uupumukseen (García-Pallarés & Izquierdo 2011).

Periodisoinnilla eli harjoittelun jaksottamisella voidaan optimoida yhdistetystä voima- ja kestävyysharjoittelusta saatavia harjoitusvasteita. Vaikuttaisi siltä, että muutaman viikon jaksoihin jaettu blokkiperiodisaatio, jossa yhdellä harjoitusjaksolla painotetaan selvästi vain paria ominaisuutta ja pidetään muita ominaisuuksia vain pienellä volyymil-

la yllä kehittää sekä kestävyyttä että voimaa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa paremmin kovakuntoisilla urheilijoilla kuin perinteinen lineaarinen periodisaatio, jossa joitakin ominaisuuksia ollaan harjoittelematta erittäin pitkiä aikoja koettaen samalla kuitenkin kehittää useita ominaisuuksia yhtä aikaa. (García-Pallarés ym. 2010; García-Pallarés & Izquierdo 2011.)

García-Pallarésin ym. (2009) sekä García-Pallarésin & Izquierdon (2011) mukaan esimerkiksi soutajien ja melojien yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa olisi optimaalista jaksottaa perus- ja vauhtikestävyysharjoittelu samalle harjoitusjaksolle hypertrofisen ja kestovoimaharjoittelun kanssa, ja maksimikestävyysharjoittelu samalle harjoitusjaksolle maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun kanssa. Vaikuttaisi, että kestovoimaa ja hypertrofista voimaharjoittelua ei kannata toteuttaa yhtä aikaa maksimaalista aerobista tehoa kasvattavan maksimikestävyysharjoittelun kanssa, sillä harjoitustyypit aiheuttavat voimakkaasti vastakkaisia adaptaatioita samoissa perifeerisissä komponenteissa lihaksessa (García-Pallarés & Izquierdo 2011). Samoin Dochertyn & Sporerin (2000) mukaan maksimikestävyysharjoittelu ja hypertrofinen voimaharjoittelu eivät sovi yhteen suuren lihassoludaptaatioihin liittyvän interferenssin vuoksi (kuva 6). Hermostolliseen adaptaatioon painottuvaa maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelua voi menestyksekkäästi yhdistää niin peruskestävyys-, vauhtikestävyys- kuin maksimikestävyysharjoitteluun; kestävyysharjoittelun intensiteetti ei näyttäisi vaikuttavan maksimi- ja nopeusvoimaharjoitusvasteiden interferenssin määrään. Lisäksi huippu-urheilijat voivat lisätä kestävyysharjoittelun sentraalista adaptaatiota eli sydämen iskutilavuuden kasvua, verimäärän lisääntymistä, kaasujenvaihdon tehostumista keuhkoissa ja hemoglobiinin happikyllästeisyyskykyä tekemällä osan kestävyysharjoittelusta liikuntamuodoilla, jotka eivät rasita paljoa lihasryhmiä, joita käytetään omassa lajissa. Näin oman lajin lihasryhmät pääsevät palautumaan muun muassa niille tehdystä voimaharjoittelusta ja niihin kohdistuneesta kestävyysharjoittelusta, mutta kestävyysharjoittelun sentraalisille adaptaatiomekanismeille tuottavaa kehitysärsykettä saadaan lisättyä harjoitteluun. (García-Pallarés & Izquierdo 2011.) Esimerkiksi melojalle kestävyysjuoksuharjoittelu on tällaista harjoittelua.



KUVA 6. Todennäköisesti hypertrofinen voimaharjoittelu ja maksimikestävyysharjoittelu kannattaa jaksottaa eri harjoitusjaksoille, jos on tavoitteena kehittää sekä lihasmassaa että lihassolujen aerobista aineenvaihduntaa. AT = anaerobinen kynnyks; MAP = maksimaalinen aerobinen teho; RM = toistomaksimi. (Docherty & Sporer 2000.)

4.2 Harjoitusjärjestyksen vaikutus harjoitusvasteisiin samassa harjoituksessa toteutetussa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa

Yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua voidaan toteuttaa joko tekemällä voima- ja kestävyysharjoitukset erillisinä harjoituksina tai samassa harjoituksessa. Arazin ym. (2011) tutkimuksessa tutkittavina olevat nuoret miehet oli jaettu kolmeen ryhmään. Yksi ryhmä harjoitteli neljänä päivänä viikossa tehden kaksi kestävyysharjoitusta ja kaksi voimaharjoitusta. Toinen ryhmä harjoitteli kahtena päivänä viikossa tehden voima- ja kestävyysharjoitteluosiot samassa harjoituksessa. Ja kolmas ryhmä oli harjoittelematon kontrolliryhmä. Eripäivinä tai samassa harjoituksessa harjoitelleiden ryhmien välillä ei havaittu eroja maksimivoiman, kehonkoostumuksen, aerobisen tehon ja kesto-voiman kehitymisessä. Molemmilla ryhmillä rasvattoman massan määrä, maksimaalinen hapenotto-kyky, penkkipunnerruksen 1 RM, kyykyn 1 RM sekä leuanvedon ja istumaanousujen toistomaksimit kasvoivat merkitsevästi. (Arazi ym. 2011.) Toisaalta Salen ym. (1990) tutkimuksessa eri päivinä voima- ja kestävyysharjoitelleet kehittyivät paremmin jalkaprässin yhden toiston maksimissa kuin samana päivänä molemmat harjoitusmuodot tehneet (25 % kehitys vs. 13 % kehitys), mutta lihasten poikkipinta-alan muutoksissa ei ollut eroa. Voima- ja kestävyysharjoittelun tekeminen samassa harjoituksessa saattaa siis häiritä voimaharjoittelun neuraalista adaptaatiota enemmän kuin hypertrofiaan johtavien signaalintireittien aktivoitumista.

Maksimivoima kehittyy enemmän ensin voimaharjoitteluosion tekeillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa ainakin iäkkäillä miehillä (Cadore ym. 2012). Myös nuorilla naisilla Pinton ym. (2014) tutkimuksessa voimaharjoittelun toteuttaminen ennen kestävyysharjoittelua tuotti suurempaa alaraajojen voimien kasvua ja hypertrofiaa kuin päinvastainen harjoitusjärjestys yhdistetyssä samalla harjoituskerralla toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa. Kestävyysharjoittelu ennen voimaharjoittelua heikentää voimantuottoa voimaharjoittelussa (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Leveritt ym. 1999; Sidhu ym. 2009). Tämä vaikuttaa todennäköisesti välittömästi kestävyysharjoittelun jälkeen suoritetun voimaharjoittelun harjoitusvasteisiin. García-Pallarésin & Izquierdon (2011) mukaan kovakuntoisilla urheilijoilla voimaharjoitus tulisi toteuttaa ennen kestävyysharjoitusta tai erottaa yli kahdeksalla tunnilla kestävyysharjoituksesta yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa suorituskyvyn kasvun optimoimiseksi. Sporerin & Wengerin (2003) tutkimuksessa voimaharjoittelua edeltänyt kestävyysharjoitus heikensi voimantuottoa kestävyysuorituksessa käytetyissä pääliharyhmissä, kun voimaharjoitus toteutettiin neljä tai kahdeksan tuntia kestävyysharjoituksen jälkeen, mutta suorituskyky voimaharjoituksessa ei ollut heikentynyt, kun voimaharjoitus toteutettiin 24 h kestävyysharjoituksen jälkeen. Tulokset olivat samanlaiset sekä tasavauhtisen että intervalliharjoituksen jälkeen (Sporer & Wenger 2003). Toisaalta Collinsin ja Snowin (1993) tutkimuksessa samassa harjoituksessa toteutetussa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa harjoitusjärjestyksellä ei havaittu olevan vaikutuksia harjoitusvasteisiin. Myöskään Schumannin ym. (2014) tutkimuksessa harjoitusjärjestyksen ei havaittu vaikuttavan tilastollisesti merkittävästi dynaamisen maksimivoiman kehittymiseen 24 viikon aikana yhdistetyssä samalla harjoituskerralla toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa. Samoin Chtaran ym. (2008) tutkimuksessa harjoitusjärjestyksellä ei ollut vaikutusta maksimivoiman, kesto-voiman ja räjähtävän voiman kehittymiseen yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa. Tutkimuksen voimaharjoittelu oli ensimmäiset kuusi viikkoa kiertoarjoitteluna toteutettua kesto-voimaharjoittelua ja toisena kuutena viikkona räjähtävää nopeusvoimaharjoittelua. Kestävyysharjoittelu oli maksimikestävyysharjoittelua. (Chtara ym. 2008.)

Myös kestävyysharjoittelun aiheuttama harjoitusvaste saattaa heikentyä, jos voimaharjoitus tehdään ennen kestävyysharjoitusta verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun (Leveritt ym. 1999). Esimerkiksi Chtaran ym. (2004) tutkimuksessa samassa harjoituksessa kestävyysosion ennen voimaosiota tehneen ryhmän neljän kilometrin juoksutestiin

kulunut aika pienehen enemmän kuin päinvastaisessa järjestyksessä harjoitelleen ryhmän 12 viikon harjoitusintervention aikana. Siispä näyttäisi, että samalla harjoituskerralla toteutetussa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa ensin harjoitettu ominaisuus kehittyi suhteessa hieman paremmin kuin jäljempänä harjoitettu. Tarkkoja mekanismeja ja ilmiön takana ei kuitenkaan tunneta (Leveritt ym. 1999). Todennäköisiä mekanismeja ovat ensin toteutetusta harjoituksesta johtuva pienentynyt lihasten tahdonalainen käskytyks, aineenvaihdunnan kuona-aineiden kertymisestä johtuva lihassupistuksen inhibitio, syntyneet lihassoluvauriot ja energiavarastojen tyhjentyminen (Leveritt ym. 1999). Ainakin hypertrofista voimaharjoittelua ehtyneet glykogeenivarastot haittaavat, sillä anaerobinen glykolyysi on pääenergiantuottomekanismi hypertrofisessa voimaharjoittelussa (Schoenfeld 2010). Harvoissa yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun tutkimuksissa yksittäisen kestävyysharjoituksen teho ja kesto on kuitenkin niin pitkä, että glykogeenivarastot ehtisivät kokonaan tyhjentyä. Silti varsinkin samassa harjoituksessa toteutetussa yhdistetyssä kestävyys- ja voimaharjoittelussa riittävään hiilihydraattien saantiin tulisi kiinnittää huomiota. Maksimaaliseen voimantuottoon glykogeenivarastoilla ei ole merkitystä (Sawyer ym. 2013). Tämä johtuu siitä, että muutaman sekunnin kestoissa maksimaalisissa suorituksissa energiantuotannosta vastaa ATP-KP-systeemi (Mero ym. 2007, 102).

4.3 Hermostolliset adaptaatiot yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa

Kestävyysharjoittelu voimistaa venytysrefleksiä eli lisää alfamotoneuronialtaan herkkyyttä ja / tai vähentää presynaptista inhibitiota (Adkins ym. 2006; Maffiuletti ym. 2001; Vila-Chã ym. 2012), mutta ei lisää motoriselta aivokuorelta tulevaa maksimaalista käskytystä (Vila-Chã ym. 2012). Voimaharjoittelu puolestaan lisää motoriselta aivokuorelta tulevaa maksimaalista käskytystä (Aagaard ym. 2002; Del Balso & Cafarelli 2007; Ekblom 2010; Fimland ym. 2009a; Fimland ym. 2009b; Gabriel ym. 2006; Gondin ym. 2006). Lihasten nopea tahdonalainen käskytyiskyky ei kehity yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa kuten nopeaa voimantuottoa sisältävässä voimaharjoittelussa, johon ei ole yhdistetty kestävyysharjoittelua (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Hennessy & Watson 1994; Häkkinen ym. 2003; Leveritt ym. 1999; Mikkola ym. 2012; Rønnestad ym. 2012). Häkkinen ym. (2003) tutkimuksessa maksimivoimasuorituksessa

mitatun pinta-EMG:n aktiivisuus kasvoi yhtä paljon sekä pelkästään voimaharjoitelleilla että yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua tehneillä. Myös McCarthy ym. (2002) tutkimuksessa lihasten aktivointikyky pinta-EMG:llä mitattuna maksimivoimasuorituksissa kasvoi yhtä paljon pelkästään voimaharjoitelleilla ja yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelu tehneillä.

Jos voima- ja kestävyysharjoitus tehdään samassa harjoituksessa, niin voimaharjoittelun hermostollisen adaptaation näkökulmasta on todennäköisesti parempi tehdä voimaharjoitus ensin, sillä kova kestävyyskuormitus heikentää akuutisti hermoston kykyä käskyttää lihaksia (García-Pallarés & Izquierdo 2011; Leveritt ym. 1999; Sidhu ym. 2009). Kestävyysharjoittelun aiheuttama voimantuoton vajeus kestää ainakin kahdeksan tuntia, mutta alle vuorokauden (Sporer & Wenger 2003). Ilmeisesti yhtä aikaa ei kannata tehdä yli kolmea kestävyys- ja yli kolmea voimaharjoitusta viikossa, jos haluaa optimoida yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun harjoitusvasteet molempien harjoituskomponenttien osalta (García-Pallarés & Izquierdo 2011). Todennäköisesti yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu aiheuttaa siis pitkälti yhdistettyjä hermostollisia adaptaatioita, joita havaitaan pelkän kestävyys- ja pelkän voimaharjoittelun seurauksena, mutta nopeusvoiman hermostollisia adaptaatiomekanismeja yhdistetyn kestävyysharjoittelun kestävyyskomponentti heikentää voimakkaasti verrattuna pelkkään voima- ja nopeusharjoitteluun. Lisäksi voimantuoton kehittymisen näkökulmasta lienee tuloksetkaampaa toteuttaa voimaharjoitus ensin, jos voimaa- ja kestävyyttä harjoitetaan samalla harjoituskerralla tai hyvin lähekkäin.

5 HARJOITTELUN VUOROKAUDENAJAN VAIKUTUKSET HARJOITUSVASTEISIIN

Vuorokausirytmii viittaa ihmisen fysiologiassa erinäisten fysiologisten toimintojen vaihteluihin noin 24 tunnin sykleissä (Atkinson & Reilly 1996). Lähes kaikki fysiologiset ja biokemialliset prosessit ihmiselimestössä noudattavat vuorokausirytmii. Vuorokausirytmii säätelykeskuksena aivojen hypothalamuksessa toimii suprakiasmaattinen tumake. (Teo ym. 2011.) Hormonaalinen säätely on tärkeässä roolissa ihmiskehon vuorokausirytmii säätelyssä. (Atkinson & Reilly 1996). Suorituskyky liikkuvuudessa, lihasvoimassa ja tehontuottokyvyssä on ihmisillä keskimäärin parhaimmillaan alkuillasta, kun kehon sisälämpötila on lähellä vuorokauden maksimiaan. (Atkinson & Reilly 1996; Teo ym. 2011). Kohonneen kehon sisälämpötilan on havaittu tehostavan energia-aineenvaihduntaa, lihasten koordinaatiota ja poikkisiltasyklitoimintaa aktiini- ja myosiinifilamenttien välillä (Teo ym. 2011). Myös maksimaalinen kestävyysuorituskyky vaikuttaisi olevan parhaimmillaan alkuillasta. Vahvasti taitoon tai monimutkaisiin kilpailustrategioihin perustuvissa urheilulajeissa suorituskyky vaikuttaisi olevan parhaimmillaan aamuisin, kun taas raakaa maksimaalista fyysistä suorituskykyä vaativissa lajeissa suorituskyky vaikuttaisi olevan parhaimmillaan iltaisin. (Drust ym. 2005.) Toisaalta Deschodtin & Arsacin (2004) tutkimuksessa uinnin tekninen osaaminen oli parempaa iltaisin kuin aamuisin. Pitkäkestoiset submaksimaaliset kestävyysuoritukset kuumissa olosuhteissa näyttäisivät onnistuvan parhaiten aamuisin. Vuorokausirytmii vaikutukset suorituskykyyn ovat suurempia kovakuntoisilla kuin fyysisesti passiivisilla. Yli 50-vuotiaista urheilijoista enempi osa vaikuttaisi olevan aamuihmisiä nuorempiinsa verrattuna, ja he rytmittävät suuremman osan harjoituksistaan aamuun kuin nuoremmat urheilijat. (Atkinson & Reilly 1996.)

Harjoittelun harjoitusvasteet ovat osin spesifejä harjoittelun vuorokaudenajalle. Niinpä harjoittelemalla aamuisin pystyy pienentämään tai jopa poistamaan alentuneen aamu-suorituskyvyn suhteessa iltasuorituskykyyn. (Hill ym. 1989; Sedliak ym. 2008; Souissi ym. 2002; Teo ym. 2011.) Myös hyvällä alkuverryttelyllä saadaan nostettua kehon sisälämpötilaa ja pienennettyä aamusuorituskyvyn eroa suhteessa iltasuorituskykyyn (Souissi ym. 2010; Teo ym. 2011). Lisäksi osa ihmisistä on perimältään enemmän aamu-

tai iltatyyppejä (Teo ym. 2011.). Syyt fyysisen suorituskyvyn vuorokausivaihteluun ovat todennäköisesti sekä lihasperäisiä että hermostollisia (Drust ym. 2005).

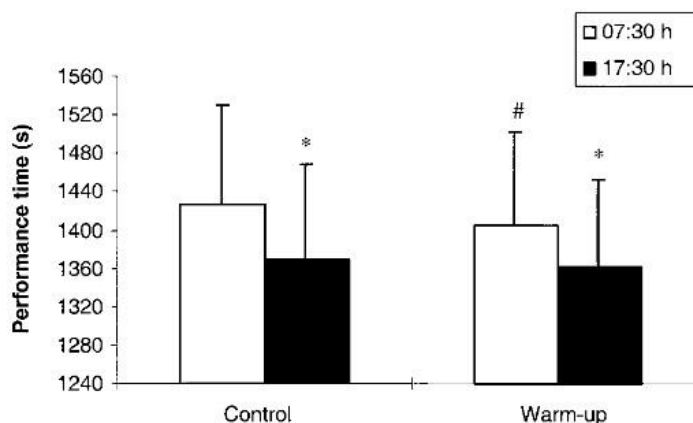
5.1 Harjoittelun vuorokaudenajan vaikutukset harjoitusvasteisiin voimaharjoittelussa

Gauthierin ym. (1996) tutkimuksessa kyynärnivelen koukistajien voimantuotto ja tahdonalainen maksimaalinen aktivaatio oli suurinta klo 18:00 ja pienintä klo 09:00, kun isometristä kyynärnivelten koukistusta mitattiin samana päivänä useita kertoja eri vuorokaudenaikoina. Martinin ym. (1999) tutkimuksessa peukalon lähentäjän lihasaktiivisuuksissa ei havaittu eroja aamun ja illan välillä, mutta maksimivoima peukalon lähenyksessä oli 8,9 % suurempi illalla kuin aamulla. Tämän perusteella tutkimusryhmä päätteli, että kyseisessä tutkimuksessa voimantuoton vuorokaudenaikainen vaihtelu johtui perifeerisistä asioista lihaksessa eikä hermostollisista mekanismeista (Martin ym. 1999). Struttonin ym. (2003) TMS- ja EMG-tutkimuksen mukaan maksimaalinen voima ja kortikospiaalisen radan herkkyys kämmenten lihaksiin ei vaihtelee eri vuorokaudenaikoina. Wysen ym. (1994) tutkimuksessa isokineettinen voimantuotto polven ojennuksessa oli suurempaa illalla kuin aamulla.

Sedliakin ym. (2009) tutkimuksen mukaan lihasten poikkipinta-ala kasvaa yhtä paljon sekä aamulla että illalla voimaharjoittelua tekevillä ainakin lyhyillä 2–3 kk harjoitusjaksoilla. Sedliakin ym. (2008) tutkimuksessa illalla mitattavat maksimivoimatasot kehittivät yhtä paljon sekä aamulla että illalla harjoitelleilla, mutta aamulla harjoittelevat paransivat aamulla mitattuja maksimivoimatasoja keskimäärin enemmän kuin illalla harjoitelleet. Kraemerin ym. (2001) tutkimuksen mukaan raskaskaan hypertrofinen voimaharjoittelu ei vaikuta syljestä mitattuun testosteronin erityksen vuorokausirytmiiin miehillä. Normaalisti testosteronitasot ovat korkeimmillaan aamulla ja matalimmillaan illalla (Kraemer ym. 2001). Naisilla vuorokaudenaika ei vaikuta voimantuottokykyyn yhtä paljon kuin miehillä (Drust. ym. 2005). Drustin ym. (2005) meta-analyysin mukaan suurimmassa osassa tutkimuksia hermolihäsjärjestelmän voimantuottokyvyn on havaittu olevan parempaa iltaisin kuin aamuisin. Yksilöllinen vaihtelu harjoittelun vuorokaudenajan vaikutuksissa voimatasojen kehittymiseen eri vuorokaudenaikoina on suurta. (Sedliak ym. 2008.)

5.2 Harjoittelun vuorokaudenajan vaikutukset harjoitusvasteisiin kestävyysharjoittelussa

Pitkäkestoinen kestävyys. Maksimaalinen hapenottokyky ei muutu vuorokauden ajan mukaan Drustin ym. (2005) meta-analyysin mukaan. Kestävyysuorituskyky on kuitenkin keskimäärin parempi alkuillasta kuin aamulla. Tämän arvellaan johtuva siitä, että ilt-aikaan lihasten sisäinen ja välinen koordinaatio olisi parempaa kuin aamulla, ja tämä vähentäisi hermolihasjärjestelmän väsymistä. (Drust ym. 2005.) Lisäksi kehon sisäinen lämpötila on korkeimmillaan illalla ja se vaikuttaa nostavasti fyysiseen suorituskykyyn tehostuneen lihasten koordinaation lisäksi lisäämällä energia-aineenvaihdunnan tehoa ja voimistamalla lihassupistusten molekyylimekaniikan tehoa (Teo ym. 2011). Esimerkiksi Atkinsonin ym. (2005) tutkimuksessa suorituskyky 16,1 kilometrin pyöräilyuorituksessa itsensä aamuihmiseksi kokeneilla pyöräilijöillä oli merkitsevästi matalampi aamulla klo 07:30 alkaen kuin illalla klo 17:30 alkaen. Alkulämmittely paransi 16,1 km pyöräilyuoritusta sekä illalla että aamulla, muttei poistanut eroa ilt- ja aamu-uorituskyvyssä (kuva 7) (Atkinson ym. 2005). Myös Hillin ym. (1992) ja Hillin (1996) tutkimuksissa polkupyöräergometrillä mitattu aerobinen suorituskyky oli merkitsevästi parempi illalla kuin aamulla. Samoin Reillyn & Baxterin (1983) tutkimuksessa aerobinen suorituskyky oli parempi illalla kuin aamulla, kun tutkittavien tekemä kokonaistyö ja aika uupumukseen olivat iltatestissä merkitsevästi suuremmat kuin aamutestissä poljettaessa polkupyöräergometrillä uupumukseen asti 95 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Burgoon ym. (1992) tutkimuksen mukaan aamuihmiseksi itsensä kokeneilla ei ollut parempi aamukestävyysuorituskyky kuin iltaihmisiksi itsensä kokeneilla. Sekä aamuihmiseksi että iltaihmisiksi itsensä kokeneilla sydämen syke ja uupumukseen kestänyt aika Bruce'n juoksumattotestissä olivat merkitsevästi suuremmat iltatesteissä klo 19:30–20:30 kuin aamutesteissä klo 07:30–08:30 (Burgoon ym. 1992). Vuorokaudenajan vaikutus aerobiseen kestävyysuorituskykyyn on kuitenkin ristiriitaisempi kuin voimaan ja anaerobiseen tehoon Capaertin (1999) meta-analyysin mukaan.



KUVA 7. Vuorokaudenajan vaikutus 16,1 km maksimaaliseen pyöräilyasuoritukseen lämmitellenä ja ilman lämmittelyä. * = aika merkitsevästi nopeampi iltapäivällä kuin vastaavassa testissä aamulla; # = lämmittelyn jälkeinen aika aamulla merkitsevästi hitaampi kuin aika ilman lämmittelyä illalla. (Atkinson ym. 2005.)

Lyhytkestoinen kestävyys. Deschodtin & Arsacin (2004) tutkimuksessa maksimiteho lyhyessä polkupyöräergometritestissä oli keskimäärin 7 % suurempi illalla tehdyssä testissä kuin aamulla tehdyssä testissä. Baxterin & Reillyn (1983) tutkimuksessa 100 m ja 400 m vapaauintin suorituskyky oli keskimäärin noin 3 % parempi illalla kuin aamulla. Kehon sisälämpötila korreloi positiivisesti vapaauintisuorituskykyyn (Baxter & Reilly 1983). Myös Souissin ym. (2010) tutkimuksessa lyhytkestoisen anaerobisen suorituksen keskiteho oli keskimäärin suurempi iltaisin kuin aamuisin. Tutkimuksessa käytettiin 30 s Wingaten polkupyöräergometritestiä. Pitkä verryttely vähensi hieman eroa aamu- ja iltasuoritusten välillä eli erityisesti aamuisin riittävän verryttelyn vaikutus anaerobiseen suorituskykyyn on merkittävä. (Souissi ym. 2010.) Myös Hillin & Smithin (1991) tutkimuksessa anaerobinen teho ja kapasiteetti Wingaten polkupyöräergometritestissä oli korkeampi iltapäivällä ja illalla kuin aamulla.

Vuorokaudenajan vaikutuksia suorituskykyyn ja harjoitusadaptaatioon yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa ei ole tutkittu ennen tätä tutkimusprojektia, johon tämä pro gradu -tutkielma kuuluu. Todennäköisesti monet samat mekanismit ja ilmiöt pätevät yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa kuin eri vuorokauden aikoina erikseen toteutetussa voimaharjoittelussa ja kestävyysharjoittelussa. Joitain vuorokaudenajan vaikutuksiin liittyviä yhdistetylle voima- ja kestävyysharjoittelulle spesifejä ilmiöitä saattaa kuitenkin olla olemassa.

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämä pro gradu –tutkimus on osa suurempaa tutkimuskokonaisuutta (Häkkinen & Kүүismaa ym.), josta tehdään väitöskirja sekä useampia pro gradu- ja kandidoita. Tutkimuksessa voima- ja kestävyys harjoitus tehtiin samassa harjoituksessa ja tutkimuksen kohteena olivat sekä vuorokauden ajan että harjoitusjärjestyksen vaikutukset harjoitusvasteisiin. Suuressa tutkimuskokonaisuudessa tutkittiin yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun vaikutuksia maksimaaliseen hapenotto kykyyn, kestävyys suorituskyvyn kynnyksominaisuuksiin eli aerobiseen ja anaerobiseen kynnykseen, kehonkoostumukseen, etureiden lihasten poikkipinta-alaan, etu- ja takareisien lihasaktiivisuuksiin maksimaalisessa isometrisessä ja dynaamisessa voimantuotossa, isometrisiin ja dynaamisiin maksimivoimatasoihin, etureiden lihasten tahdonalaiseen aktivointikykyyn ja veren hormonipitoisuuksiin. Lisäksi suuressa tutkimuskokonaisuudessa tutkittiin samassa harjoituksessa suoritettua yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun akuutteja vaikutuksia hermolihasjärjestelmän väsymiseen isometrisellä maksimivoimalla mitattuna sekä veren hormonipitoisuuksiin. Tässä pro gradu –tutkimuksessa keskitytään tutkimaan samassa harjoituksessa suoritettua yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun kroonisia vaikutuksia etureiden lihasten tahdonalaiseen aktivointikykyyn, maksimaaliseen dynaamiseen ja isometriseen voimantuottoon sekä etureiden lihasten poikkipinta-alaan. Lisäksi tutkitaan miten harjoitusjärjestys ja vuorokauden aika vaikuttavat edellä mainittuihin muuttujiin.

6.1 Tutkimuskysymykset

1)

A) Paraneeko lihaksen maksimaalinen tahdonalainen aktivointikyky enemmän aamulla vai illalla harjoitelleilla yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyys harjoittelussa?

B) Paraneeko lihaksen maksimaalinen tahdonalainen aktivointikyky enemmän ensin voimaharjoittelun vai kestävyys harjoittelun tehoilla yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyys harjoittelussa?

C) Paraneeko lihaksen maksimaalinen tahdonalainen aktivointikyky **aamulla harjoitteleilla** enemmän ensin voimaharjoitteluosion vai kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

D) Paraneeko lihaksen maksimaalinen tahdonalainen aktivointikyky **illalla harjoitteleilla** enemmän ensin voimaharjoitteluosion vai kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

2)

A) Kehittykö maksimivoima enemmän aamulla vai illalla harjoitteleilla yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

B) Kehittykö maksimivoima enemmän ensin voimaharjoitteluosion vai kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

C) Kehittykö maksimivoima **aamulla harjoitteleilla** enemmän ensin voimaharjoitteluosion vai kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

D) Kehittykö maksimivoima **illalla harjoitteleilla** enemmän ensin voimaharjoitteluosion vai kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

3)

A) Kasvaako lihasten poikkipinta-ala enemmän aamulla vai illalla harjoitteleilla yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

B) Kasvaako lihasten poikkipinta-ala enemmän ensin voimaharjoitteluosion vai kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

C) Kasvaako lihasten poikkipinta-ala **aamulla harjoitteleilla** enemmän ensin voimaharjoitteluosion vai kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

D) Kasvaako lihasten poikkipinta-ala **illalla harjoitteleilla** enemmän ensin voimaharjoitteluosion vai kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa?

6.2 Tutkimushypoteesit

Hypoteesit asetettuihin tutkimuskysymyksiin ovat seuraavat:

1) Harjoittelun vuorokaudenajalla ei ole merkitystä lihasten tahdonalaisen aktivointikyvyn kehittymisessä (Sedliak ym. 2008). Lihasten maksimaalinen tahdonalainen aktivointikyky kehittyy enemmän ensin voimaharjoitteluosion tekeillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa (Eklund ym. 2015). Kestävyysharjoittelu heikentää kymmeniksi minuuteiksi motorisen aivokuoren kykyä aktivoida kestävyysharjoittelussa käytettyjä lihaksia (Sidhu ym. 2009). Niinpä harjoitusjärjestys, jossa kestävyys treenataan samassa harjoituksessa ennen voimaa heikentää voimantuottokykyä voimaharjoitteluosiossa ja vaikuttaa tästä syystä todennäköisesti voimaharjoittelun aiheuttamiin harjoitusvasteisiin.

2) Illalla mitattavat maksimivoimatasot kehittyvät yhtä paljon sekä aamulla että illalla harjoittelevilla, mutta aamulla harjoittelevat parantavat

aamulla mitattavia voimatasoja keskimäärin enemmän kuin illalla harjoittelevat. Yksilöllinen vaihtelu harjoittelun vuorokaudenajan vaikutuksissa voimatasojen kehittymiseen eri vuorokaudenaikoina on kuitenkin suurta. (Sedliak ym. 2008.) Maksimivoima kehittyy enemmän ensin voimaharjoitteluosion tekevillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa (Cadore ym. 2012). Kestävyysharjoittelu ennen voimaharjoittelua heikentää voimantuottokykyä voimaharjoittelussa (Leveritt ym. 1999; Sidhu ym. 2009). Tämä vaikuttaa todennäköisesti välittömästi kestävyysharjoittelun jälkeen suoritettua voimaharjoittelun harjoitusvasteisiin.

3) Lihasten poikkipinta-ala kasvaa yhtä paljon sekä aamulla että illalla voimaharjoittelua tekevillä ainakin lyhyillä 2–3 kk harjoitusjaksoilla (Sedliak ym. 2009). Lihasten poikkipinta-ala kasvaa yhtä paljon sekä ensin voimaharjoitteluosion tehneillä että ensin kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa (Eklund ym. 2015).

7 MENETELMÄT

7.1 Tutkittavat

Tutkittaviksi rekrytoitiin 18–40 –vuotiaita miehiä Jyväskylän seudulta. Rekrytointi tapahtui lehti-ilmoituksilla, ilmoitustauluilmoituksilla ja internetilmoituksilla. Miehillä ei saanut olla systemaattista harjoittelutaustaa voima- tai kestävyysharjoittelusta kahden vuoden ajalta ennen tutkimuksen alkua. Lisäksi painoindeksin (BMI) tuli olla pienempi kuin 30 kg/m^2 ja tupakoinnista tuli olla ollut taukoa vähintään 12 kuukautta. Valitut tutkittavat läpäisivät puhelinhaastattelun yleisestä terveydestä sekä tutkimushenkilökunnan tekemän EKG- ja verenpainetestit, jotka kardiologi analysoi. Kaikki tutkimukseen valitut tutkittavat perehdytettiin huolellisesti tutkimusasetelmaan tutkimuksen johtajan ja tutkimushenkilökunnan johdosta. Tutkittaville korostettiin tutkimuksen mahdollisia hyötyjä, riskejä ja tutkimuksesta mahdollisesti aiheutuvia epämuukavuuksia.

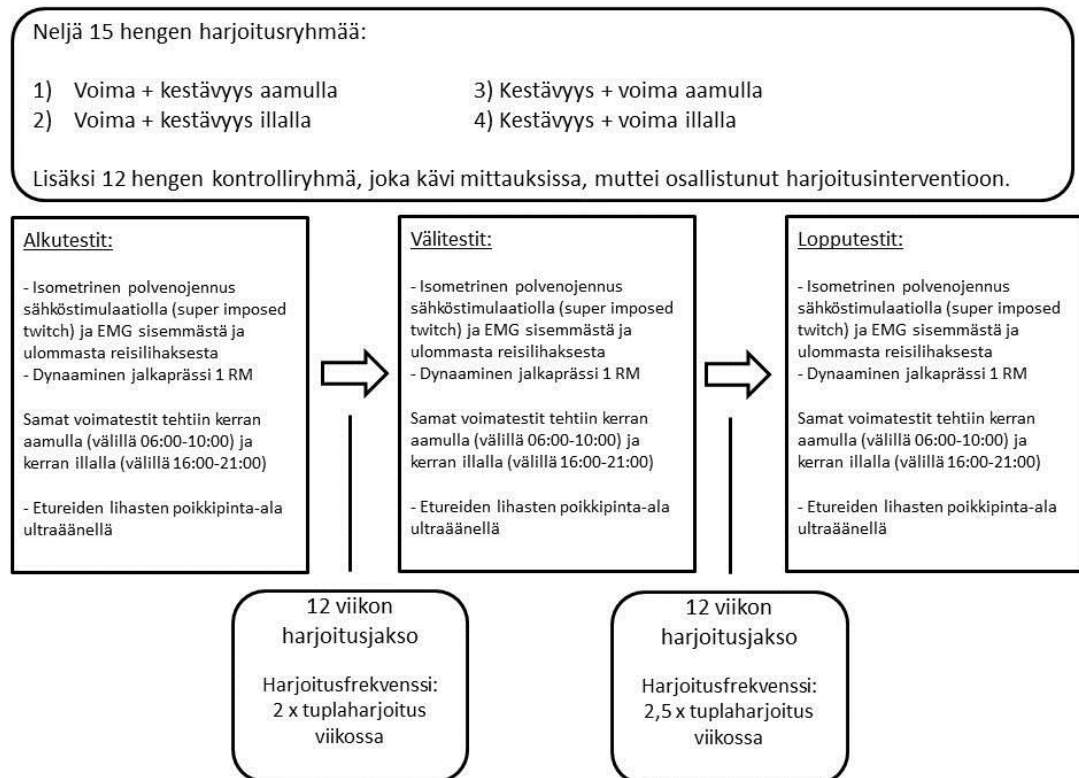
Tutkimuksen aloitti 72 tutkittavaa. Heistä 60 kuului interventoryhmiin ja 12 kontrolliryhmään. Interventoryhmiä oli neljä ja jokaiseen interventoryhmään kuului tutkimuksen alussa 15 tutkittavaa. Tutkittavat arvottiin eri ryhmiin. Interventoryhmät olivat 1) kestävyys + voima aamulla, 2) voima + kestävyys aamulla, 3) kestävyys + voima illalla ja 4) voima + kestävyys illalla. 52 tutkittavaa suoritti tutkimuksen loppuun asti. Tutkimuksen lopussa interventoryhmien henkilömäärät olivat 9, 9, 12 ja 12 edellä mainitussa järjestyksessä. Kontrolliryhmästä 10 henkeä suoritti tutkimuksen loppuun. 20 tutkimuksen keskeyttäneen lopettamiset johtuivat muun muassa vammoista sekä henkilökohtaisista syistä. Tutkimuksen loppuun suorittaneiden tutkittavien antropometriset mittaustulokset löytyvät taulukosta 1. Pituus mitattiin seinää vasten kiinnitetyllä mittanauhalla 0,1 cm tarkkuudella tutkittavien seisoessa suorassa seinää vasten jalat lantionleveydellä, kantapäät kiinni seinässä ja pää neutraalissa asennossa. Kehon massa mitattiin, kun tutkittavat olivat olleet 12 h paastonneessa tilassa ja kaikki raskas vaatetus kengät mukaan lukien oli pois päältä. Kehon massa määritettiin 0,1 kg tarkkuudella.

TAULUKKO 1. Koko tutkimuksen suorittaneiden tutkittavien ikä, pituus, kehon massa ja BMI alkutesteissä.

Ryhmä	n	ikä vuosissa	pituus (m)	kehon massa (kg) alkutesteissä	BMI alkutesteissä
Kestävyys + voima aamulla	9	36,14 ± 6,48	1,80 ± 0,04	86,11 ± 8,93	26,51 ± 2,22
Voima + kestävyys aamulla	9	30,77 ± 4,95	1,82 ± 0,08	82,03 ± 14,01	24,84 ± 3,76
Kestävyys + voima illalla	12	31,41 ± 4,60	1,80 ± 0,07	77,98 ± 8,49	24,14 ± 2,54
Voima + kestävyys illalla	12	31,37 ± 6,46	1,81 ± 0,06	79,99 ± 10,55	24,45 ± 2,65
Kontrolliryhmä	10	32,44 ± 4,90	1,81 ± 0,08	79,00 ± 12,80	23,94 ± 2,66

7.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksessa oli alkumittaukset, välimittaukset ja loppumittaukset. Välimittaukset erottivat kaksi 12 viikon kestoista harjoitusjaksoa toisistaan. Interventoryhmäläiset osallistuivat harjoitusjaksoille ja kontrolliryhmäläiset jatkoivat normaalia elämäänsä tekemättä muutoksia liikuntatottumuksiinsa. Kaikissa testeissä mitattiin samat suorituskykykuuttajat samassa järjestyksessä ja kaikki koehenkilöt mitattiin niin alku-, väli- kuin lopputesteissä sekä aamulla että illalla. Aamumittaukset suoritettiin aikavälillä 06:00-10:00 ja iltamittaukset aikavälillä 16:00–21:00. Myös harjoitusjaksojen harjoittelu suoritettiin noina samaisina vuorokauden aikoina kunkin tutkittavan oman interventoryhmän mukaisesti. Tiivistelmä tutkimusasetelmasta näkyy kuvassa 8.



KUVA 8. Kuvassa on tutkimusasetelma tiivistetysti.

7.3 Harjoittelu

Interventioryhmiin kuuluvien tutkittavien harjoittelu oli yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua, joka toteutettiin samassa harjoituksessa eli niin sanottuna tuplaharjoituksena. Kaksi ryhmää harjoitteli aamuisin välillä 06:00–10:00 ja kaksi ryhmää iltaisin välillä 16:00–21:00. Toinen aamuryhmä ja toinen iltaryhmä tekivät ensin kestävyysharjoitteluosion kuntopyörällä ja sen perään voimaharjoitteluosion kuntosalilla. Loput kaksi ryhmää harjoittelivat päinvastaisessa järjestyksessä eli ensin voimaharjoittelu kuntosalilla ja sen jälkeen kestävyysharjoittelu kuntopyörällä.

Tutkimusjakso sisälsi kaksi 12 viikon kestoista harjoittelujaksoa, jotka erottivat toisistaan tutkimuksen välimittaukset. Molemmilla harjoitusjaksoilla voimaharjoittelu eteni lineaarisen periodisaation mukaisesti kesto-voimaharjoittelusta, hypertrofisen voimaharjoittelun kautta maksimivoimaharjoitteluun. Molemmilla 12 viikon harjoitusjaksoilla viikkojen 1–3 aikana voimaharjoittelukuormat olivat keskimäärin 40–70 % 1 RM. Kuormat nousivat systemaattisesti 60–80 % 1 RM viikoilla 4–8, ja nousivat lopulta 80–

95 % 1 RM kuormiin viikoilla 9–12. Voimaharjoittelussa käytettiin sekä voimaharjoittelulaitteita että vapaita painoja. Voimaharjoittelussa käytettyjä harjoitusliikkeitä olivat muun muassa jalkaprässi, polvenojennus, polvenkoukistus, pystypunnerrus, erilaiset vatsarutistukset, ylävartalon kierto, selänojenus, ylätalja ja hauiskääntö. Kaikkia kehon päälihasryhmiä siis harjoitettiin, mutta pääpaino oli polvien ojentajien harjoittelussa.

Myös kestävyysharjoittelu eteni molemmilla harjoitusjaksoilla lineaarisesti matalammasta intensiteetistä kohti suurempaa intensiteettiä. Kestävyysharjoittelu sisälsi sekä tasavauhtista harjoittelua että intervalliharjoittelua magneettivastuksisilla kuntopyörillä aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välissä sekä anaerobisen kynnyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välissä noin 30–50 minuuttia per harjoitus. Harjoitusintensiteetti säädettiin sydämen sykkeen mukaan. Sykealueet määritettiin maksimihapenottokyvyn testeistä saatujen tulosten mukaan (maksimihapenottokyky mitattiin osana kokonaistutkimusta (Häkkinen & Kūusmaa ym.) polkupyöraergometrilla alku- väli- ja lopputesteissä aamulla ja illalla, mutta kestävyys suorituskykytuloksia ei käsitellä tässä pro gradu -tutkimuksessa).

Harjoitusohjelman nousujohteisuus perustui siis ennen kaikkea intensiteettiprogressioon yksittäisten 12-viikkoisten sisällä. Ensimmäisellä 12 viikon harjoitusjaksolla tutkittavat suorittivat kaksi tuplaharjoitusta viikossa. Toisella harjoitusjaksolla keskimääräinen harjoitusfrekvenssi oli kaksi ja puoli tuplaharjoitusta viikossa. Tämä toteutettiin siten, että tutkittavat harjoittelivat aina ensimmäiset kaksi viikkoa tehden kaksi tuplaharjoitusta viikossa ja seuraavat kaksi viikkoa tehden kolme tuplaharjoitusta viikossa. Niinpä koko tutkimusjakson aikana tapahtui myös harjoittelun volyympiprogressiota. Kaikki harjoitukset olivat tutkimushenkilökunnan ohjaamia harjoituksia.

7.4 Mitattavat muuttujat ja mittausmenetelmät

Ennen tutkimusjakson alkua tutkittavat tutustutettiin mittauslaitteistoon ja kunkin tutkittavan henkilökohtaiset asetukset kirjattiin ylös kustakin laitteesta sekä manuaalisesti paperille sekä digitaalisesti Windows-pohjaiselle tietokoneelle. Polvikulmat mitattiin goniometillä käyttäen kiintopisteinä reisiluun päätä (trochanter major) ja nilkan ulkokehreästä (lateral malleolus). Suoritustekniikat opetettiin tutustumismittauksissa, mutta

jokaisella testikerralla tutkittavia vielä muistutettiin oikeista suoritustekniikoista. Tutkimushenkilökunta vahti, että testit suoritettiin aina oikealla tekniikalla. Lisäksi tutkittaville tehtiin tutustumismittauksissa tatuointipisteet pinta-EMG-mittauksissa (EMG = elektromyografia) käytettävien elektrodien paikkojen sekä ultraäänimittauspaikkojen vakioimiseksi.

7.4.1 Isometrinen polvenojennus, sähköstimulaatio ja voluntaariaktivaatio

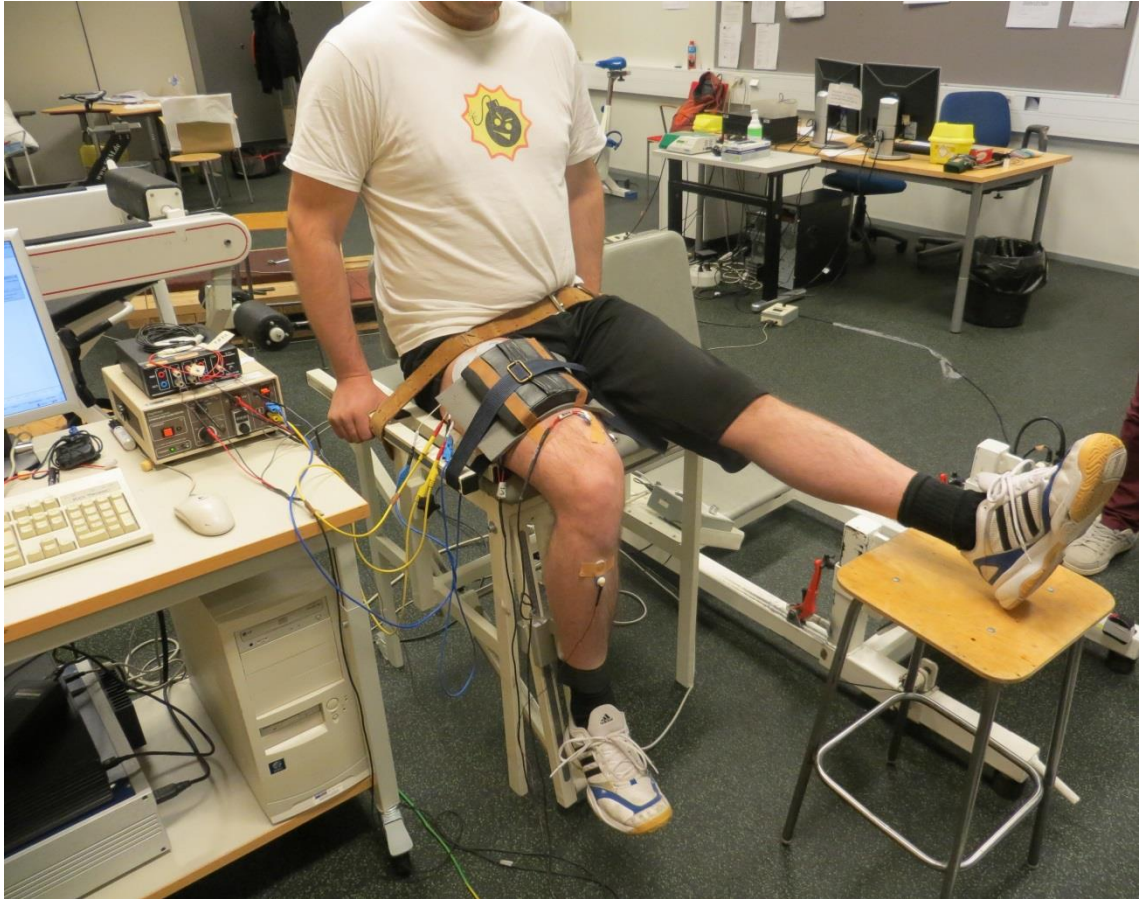
Isometrinen maksimaalinen polvenojennus suoritettiin oikealla jalalla polvenojennustuolissa (laite suunniteltu ja valmistettu liikuntabiologian laitoksella Jyväskylän yliopistossa Suomessa) 107 asteen polvikulmalla. Tutkittavien vasen jalka nostettiin mittausten ajaksi lepäämään suorana tuolin päälle. Tutkittavat oli sidottu polvenojennustuoliin lantiovyöllä. Lisäksi oikean reiden yli meni remmillä kiristettävä polvituki ja oikean jalan nilkka oli kiinni laitteessa Velcro-remmillä 2 cm oikean jalan ulkokehräksen yläpuolelta. Yhdessä mittauksessa liike suoritettiin kolme kertaa minuutin palautuksella.

Ennen mittausta suoritettiin ulomman reisilihaksen maksimi-M-aallon etsintä sähköstimuloimalla reisihermoa nivustaipeen päältä oikeasta jalasta seisoma-asennossa (tässä pro gradu -tutkimuksessa ei käsitellä maksimi-M-aaltomittausten tuloksia). Nelipäisen reisilihaksen (m. quadriceps femoris) voluntaariaktivaatio (VA) arvioitiin lihasstimulaation avulla. Lihasstimulaatiossa käytettiin neljää itseliimautuvaa elektrodia (6,98 cm V-trodeja, Mettler Electronics Corp, USA) oikean jalan nelipäisen reisilihaksen lihasrungon proksimaalisilla ja keskiosilla. Yksi 1 ms suorakulmainen pulssi annettiin maksimilihasnykäystä etsiessä levossa 5 mA korotuksilla vakiovirtasähköstimulaattorilla (400V, Model DS7AH, Digimeter Ltd, UK) kunnes tasanne lihasnykäysvoimassa oli saavutettu. Maksimi-M-aallon löytymisen jälkeen siis etsittiin polvenojennustuolissa etureiden maksimilihasnykäys suoraan lihaksen annettavan sähköstimulaation avulla. Maksimilihasnykäykseen vaadittavaan minimivirtamäärään lisättiin 25 % prosenttia virtaa ja tuota virtamäärää käytettiin itse testissä.

Isometrisessä polvenojennustestissä annettiin ensiksi yksi supramaksimaalinen yksöisstimulus levossa 3 s ennen tahdonalaisen voimantuoton alkua, toinen supramaksimaalinen yksöisstimulus maksimaalisen tahdonalaisen voimantuoton aikana, kun tahdonalainen voimantuotto oli saavuttanut tasanteen ja kolmas supramaksimaalinen yksöisstimulus voimantuoton loputtua levossa 5 s tahdonalaisen lihassupistuksen jälkeen (esim.

Merton 1954). Nelipäisen reisilihaksen tahdonalaisen aktivaation eli voluntaariaktivaation taso analysoitiin supramaksimaalisen sähköstimuluksen tuomasta lisävoimasta tahdonalaisen isometrisen polvenojennuksen aikana (P_{ts}) sekä myöhemmän lepolihasnykäyksen maksimivoimasta (P_t) käyttämällä Harridgen ym. (1999) kaavaa $VA \% = (1 - (P_{ts} / P_t)) * 100$. Englanniksi tämä menetelmä tunnetaan myös nimellä the super-imposed twitch method (SIT).

Tutkittavaa ohjeistettiin suoritukseen komendoilla ”Valmiina”, ”Nyt” ja ”Paina, paina, paina”. Tutkittavan tuli olla tuottamatta voimaa ”Nyt”-komentoon asti ja aloittaa voimantuotto ”Nyt”-komennolla. Tutkittavaa ohjeistettiin saavuttamaan maksimivoima noin kahdessa sekunnissa tasaisella voimantuoton nostolla ja pitämään maksimaalista yritystä yllä ”Seis”-komentoon asti eli parin sekunnin ajan. Kuvassa 9 näkyy polvenojennuspenkki ja sähköstimulaatiolaitteistoa. Analoginen isometrinen voimasignaali muutettiin digitaalseksi analogi-digitaalimuuntimella (Micro 1401, Cambridge Electronic Design, UK) ja digitaalinen signaali tallennettiin ja analysoitiin Windows-pohjaisella tietokoneella käyttäen Signal 4.04 ohjelmistoa (Cambridge Electronic Design, UK). Voimasignaalit otettiin taajuudella 2000 Hz ja suodatuksena oli low-pass filtered 20 Hz. Suurimmaksi tahdonalaiseksi voimaksi määritettiin voimataso juuri ennen sähköstimulaatiota.



KUVA 9. Kuvassa tutkittava on polvenojennuspenkissä. Sekä sähköstimulaatioelektrodit että pinta-EMG:n mittauselektrodit ovat kiinnitettyinä tutkittavaan.

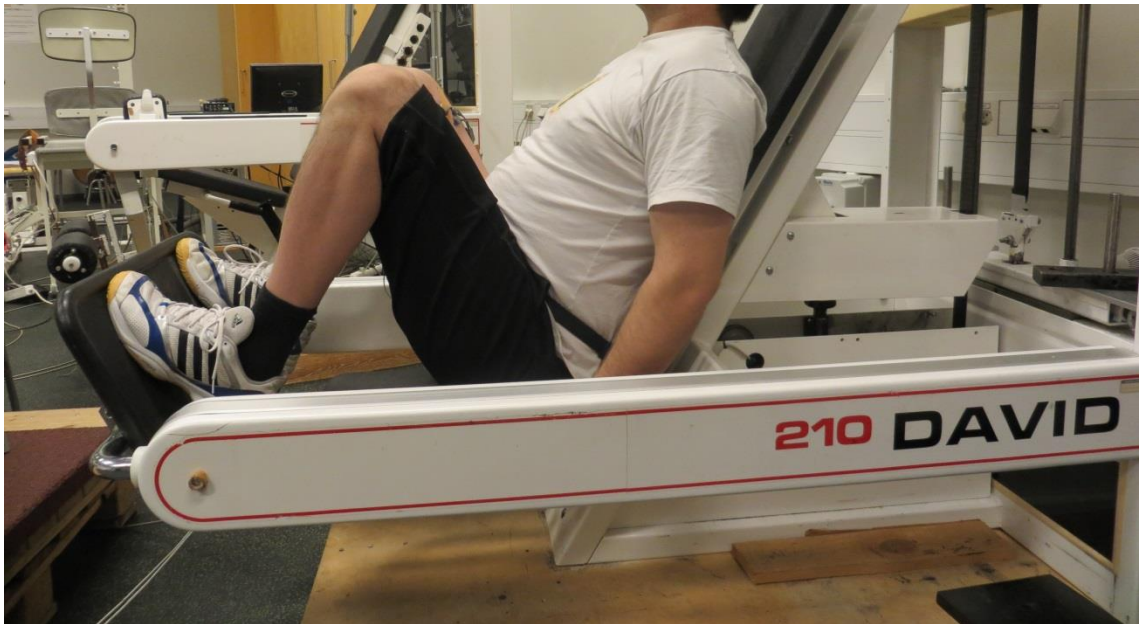
7.4.2 Pinta-EMG

Koko isometrisen polvenojennuksen ajan tallennettiin pinta-EMG-signaalia ulommasta reisilihaksesta (m. vastus lateralis). Pinta-EMG:n avulla määritettiin oikean jalan ulomman reisilihaksen aktiivisuus isometrisen polven ojennuksen aikana. Tutustumismittauksissa pinta-EMG-elektrodien paikat tatuoitin pienillä mustepisteillä SENIAM (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles) -ohjeiden mukaan. Tatuointeja käytettiin, jotta elektrodien paikka pysyisi samana koko tutkimusjakson ajan (Häkkinen & Komi 1983). Ulomman reisilihaksen elektrodien paikka oli kaksi kolmasosaa suorasta linjasta suoliluun yläetuharjanteen (anterior spina iliaca superior) ja polvilumpion (patella) lateraalireunan väliltä. Karvojen poisto partahöylällä, kuolleen ihon raaputus santapaperilla ja ihon puhdistus alkoholilla suoritettiin ennen elektrodien kiinnittämistä. Bipolaarinen asetus tehtiin kahdella Al / AgCl elektrodilla (elektrodien väli

20 mm, elektrodien välinen vastus < 5 k Ω . Blue Sensor N ECG Electrodes, Ambu A/S, Denmark) siten, että tatuointi oli tasan puolivälissä kahden elektrodin sisäreunojen keskellä. Elektrodit asetettiin suorassa kulmassa oletettuun ulomman reisilihaksen lihassolujen pennaatiokulmaan. Ulommasta reisilihaksesta mitattu pinta-EMG vahvistettiin 1000-kertaiseksi esivahvistimella (NeuroLog Systems NL844, Digimeter Ltd, UK) ja signaali otettiin talteen taajuudella 2000 Hz. EMG-signaali meni läpi analogi-digitaalimuuntimen (Micro 1401, Cambridge Electronic Design, UK) ja signaali tallennettiin Windows-pohjaisella tietokoneella Signal 4.04 ohjelmistolla. Raa'at EMG-signaalit suodatettiin (band-pass filetered 20–350 Hz) ja teknisistä syistä muunnettiin root mean square –muotoon (rsmEMG; mV) 500 ms ajalta tahdonalaisen voimantuoton aikana välittömästi ennen supramaksimaalista sähköstimulusta. Analysointi tehtiin manuaalisesti Signal 4.04 ohjelmistolla (Cambridge Electronic Design, UK).

7.4.3 Dynaamisen jalkaprässin yhden toiston maksimi

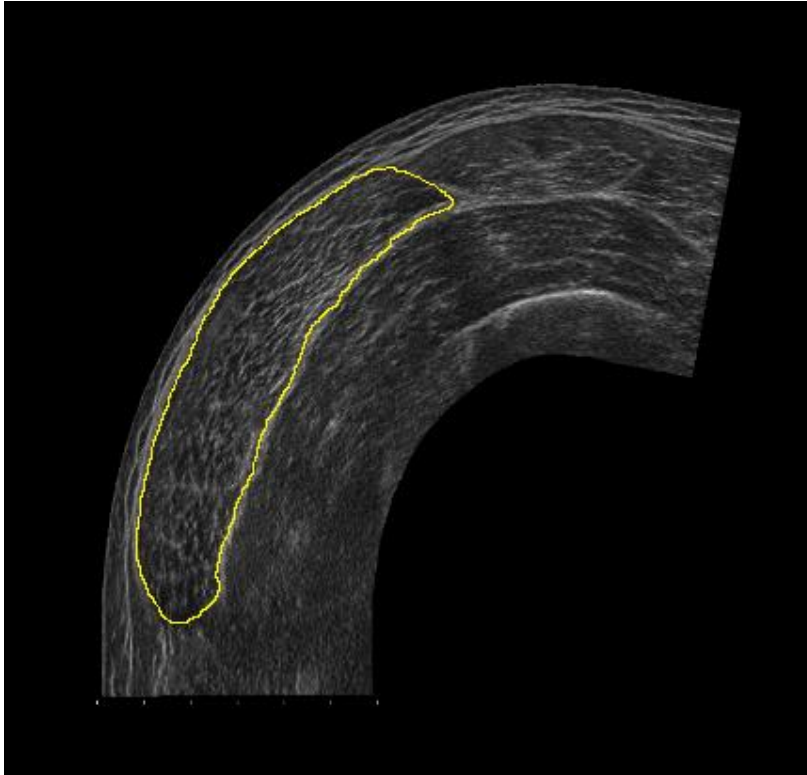
Dynaamisessa jalkaprässissä suoritus lähti tasan tai alle 60 asteen polvikulmasta siten, että jokaisella yksittäisellä tutkittavalla oli sama polvikulma jokaisessa mittauksessa. Suoritus päättyi polvinivelten ojentumiseen. Lisäksi liikkeessä tapahtui lonkan ojennusta. Mittaus suoritettiin David 210 jalkaprässillä (kuva 3; David Health Solutions Ltd., Helsinki, Finland). Takamuksen tuli pysyä penkissä koko suorituksen ajan. Ensiksi tutkittavat suorittivat kolme lämmittelysarjaa progressiivisesti kasvavilla kuormilla perustuen edellisen mittauksen yhden toiston maksimiin ja ensimmäisellä mittauksella arvioituun yhden toiston maksimiin: 1x5x70–75 % edellisen mittauksen 1 RM, 1x3x80–85 % edellisen mittauksen 1 RM, 1x2x90–95 % edellisen mittauksen 1 RM. Yhden toiston maksimi etsittiin 1,25 kilogramman tarkkuudella yhden minuutin sarjapalautuksilla. Tutkittavaa ohjeistettiin suoritukseen komennoilla ”Valmiina”, ”Nyt” ja ”Paina, paina, paina”. Tutkittavan tuli olla tuottamatta voimaa ”Nyt”-komentoon asti ja aloittaa mahdollisimman räjähtävä ja voimakas voimantuotto ”Nyt”-komennolla. ”Seis”-komento annettiin, jos tutkittava ei jaksanut työntää kuormaa suorille jaloille. Dynaaminen jalkaprässi oli voimamittauksista niin sanotusti harjoitteluspesifein, sillä tutkimuksen voimaharjoittelu oli dynaamista. Kuvassa 10 näkyy dynaaminen jalkaprässi.



KUVA 10. Tutkittava on valmistautumassa suoritukseen dynaamisessa jalkaprässissä.

7.4.4 Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala ultraäänellä

Ulomman reisilihaksen (m. vastus lateralis) poikkipinta-ala mitattiin ultraäänellä 50 % kohdalta reiden pituudesta ultraäänilaitteella (SSD-a10, Aloka Co. Ltd, Tokyo, Japan). Mittauskohta vakioitiin tekemällä tatuointi oikeaan reiteen suoliluun yläetukärjen (spina iliaca anterior superior) ja polven nivelraon puoliväliin, noin ulomman reisilihaksen paksuimpaan kohtaan. Mittauskohdasta ajeltiin karvat pois jokaisella mittauskerralla. Mitattaessa tutkittavat makasivat aina rentona selällään ja välittömästi mittausta ennen ei ollut tehty voimaharjoittelua. Tutkittavien asennon vakioimiseksi heidän jalkansa kiristettiin yhteen nahkaremmillä. Mitattaessa tutkittavien polvitaiteiden ja pään alla oli pehmusteet ja heidän kätensä olivat rentoina sivulla. Ultraäänilaitteen anturia liikutettiin etureidellä manuaalisesti lateraalipuolelta mediaalipuolelle ihoon piirrettyä viivaa pitkin (myös sisemmän reisilihaksen ja suoran reisilihaksen poikkipinta-ala mitattiin, mutta niitä ei käytetä tässä pro gradu –tutkimuksessa). Kolme panoraamakuvaa lihasten poikkipinta-alasta otettiin 50 % pituudelta reisiluun pituudesta. Poikkipinta-alakuvat analysoitiin manuaalisesti käyttämällä ImageI ohjelmistoa (versio 1.44p; National Institute of Health, Bethesda, MD). Ihon ja anturin välissä käytettiin geeliä parantamaan ultraäänen kulkua. Esimerkki ultraäänimittauskuvasta on kuvassa 11.



KUVA 11. Esimerkkikuva lihaksen poikkipinta-alan määrittämisestä ultraäänilaitteella.

7.5 Tilastolliset analyysit

Ennen varsinaisia tilastoanalyysijä aineiston normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilkin testillä. Ryhmien sisäisiä muutoksia ajan suhteen alku- väli- ja lopputestien välillä tutkittiin käyttämällä repeated measures ANOVA –testiä, jossa käytettiin Bonferroinin Post Hoc -testiä. Eri ryhmien välisiä eroja tutkittiin käyttämällä one-way ANOVA -variassianalyysiä. Kaikki ryhmien sisäinen vertailu tehtiin käyttämällä absoluuttisia arvoja, ja kaikki ryhmien välinen vertailu tehtiin käyttämällä suhteellisia arvoja. Harjoitusjärjestyksen vaikutusta tutkittaviin muuttujiin samaan vuorokauden aikaan harjoitteluiden ryhmien välillä tutkittiin käyttämällä independent samples T-testiä. Merkitsevyyden rajat kaikissa käytetyissä testeissä olivat seuraavat: $*p \leq 0.05$, $**p \leq 0.01$ ja $***p \leq 0.001$. *-symbolin lisäksi käytössä ovat symbolit # ja §. Tilastoanalyysit suoritettiin käyttämällä ohjelmistoa IBM SPSS Statistics version 20 (IBM Corporation, Armonk, New York, USA).

8 TULOKSET

Taulukossa 2 on koottuna tutkimuksen voimatestien sekä isometrisen tahdonalaisen stimulaatiotuolissa suoritettun polvenojennuksen pinta-EMG:n tulokset.

TAULUKKO 2. Taulukossa näkyy stimulaatiotuolissa mitatun polven ojennuksen tahdonalainen isometrinen maksimivoima (MVC) sekä maksimi pinta-EMG 500 millisekunnin ajalta ennen sähköstimulaatiota (EMG) kaikissa mittauspisteissä mitattuna. Lisäksi taulukossa näkyy dynaamisen jalkaprässin yhden toiston maksimin (1 RM) kehitykset tutkimusjakson aikana. * = merkitsevä kasvu verrattuna alkutesteihin. # = merkitsevä kasvu verrattuna välitesteihin. K = kestävyys. V = voima. Ryhmäkoot (N) on ilmoitettu samassa järjestyksessä kuin testien tulokset.

Testi	Alkutestit	Välitestit	Lopputestit
EMG aamulla mitattuna N = 9, 9, 11, 12 ja 7.	K + V aamu: $0,23 \pm 0,10$ mV V + K aamu: $0,26 \pm 0,08$ mV K + V ilta: $0,24 \pm 0,07$ mV V + K ilta: $0,27 \pm 0,08$ mV Kontrolli: $0,38 \pm 0,17$ mV	K + V aamu: $0,29 \pm 0,09$ mV V + K aamu: $0,37 \pm 0,21$ mV K + V ilta: $0,25 \pm 0,08$ mV V + K ilta: $0,29 \pm 0,09$ mV Kontrolli: $0,44 \pm 0,21$ mV	K + V aamu: $0,32 \pm 0,08$ mV V + K aamu: $0,38 \pm 0,19$ mV K + V ilta: $0,27 \pm 0,09$ mV V + K ilta: $0,31 \pm 0,07$ ** Kontrolli: $0,35 \pm 0,11$ mV
EMG illalla mitattuna N = 9, 9, 11, 12 ja 7.	K + V aamu: $0,26 \pm 0,09$ mV V + K aamu: $0,26 \pm 0,06$ mV K + V ilta: $0,27 \pm 0,08$ mV V + K ilta: $0,23 \pm 0,05$ mV Kontrolli: $0,38 \pm 0,20$ mV	K + V aamu: $0,28 \pm 0,08$ mV V + K aamu: $0,39 \pm 0,14$ mV ** K + V ilta: $0,30 \pm 0,07$ mV V + K ilta: $0,28 \pm 0,06$ mV * Kontrolli: $0,39 \pm 0,14$ mV	K + V aamu: $0,33 \pm 0,14$ mV V + K aamu: $0,38 \pm 0,20$ mV K + V ilta: $0,30 \pm 0,11$ mV V + K ilta: $0,31 \pm 0,08$ mV ** Kontrolli: $0,36 \pm 0,08$ mV
MVC aamulla mitattuna N = 9, 9, 10, 12 ja 9.	K + V aamu: 651 ± 112 N V + K aamu: 581 ± 87 N K + V ilta: 579 ± 95 N V + K ilta: 569 ± 143 N Kontrolli: 587 ± 90 N	K + V aamu: 663 ± 77 N V + K aamu: 640 ± 149 N K + V ilta: 614 ± 132 N V + K ilta: 596 ± 103 N Kontrolli: 619 ± 82 N	K + V aamu: 698 ± 84 N V + K aamu: 617 ± 131 N K + V ilta: 642 ± 117 N V + K ilta: 638 ± 133 N Kontrolli: 567 ± 79 N
MVC illalla mitattuna N = 9, 9, 10, 12 ja 9.	K + V aamu: 639 ± 134 N V + K aamu: 567 ± 96 N K + V ilta: 627 ± 92 N V + K ilta: 567 ± 152 N Kontrolli: 615 ± 86 N	K + V aamu: 689 ± 83 N V + K aamu: 637 ± 145 N K + V ilta: 610 ± 132 N V + K ilta: 628 ± 104 N Kontrolli: 599 ± 95 N	K + V aamu: 679 ± 66 N V + K aamu: 651 ± 152 N * K + V ilta: 661 ± 129 N ## V + K ilta: 643 ± 100 N * Kontrolli: 571 ± 86 N
1 RM aamulla mitattuna N = 9, 8, 12, 11 ja 9.	K + V aamu: $161,8 \pm 20,4$ kg V + K aamu: $149,1 \pm 22,3$ kg K + V ilta: $142,6 \pm 24,7$ kg V + K ilta: $141,4 \pm 26,0$ kg Kontrolli: $142,1 \pm 25,9$ kg	K + V aamu: $178,3 \pm 20,5$ kg *** V + K aamu: $170,0 \pm 27,5$ kg *** K + V ilta: $163,0 \pm 21,7$ kg *** V + K ilta: $160,1 \pm 25,1$ kg *** Kontrolli: $149,4 \pm 25,1$ kg *	K + V aamu: $183,5 \pm 18,7$ kg *** V + K aamu: $174,2 \pm 26,8$ kg *** K + V ilta: $166,8 \pm 19,5$ kg *** V + K ilta: $166,5 \pm 21,3$ kg *** # Kontrolli: $148,6 \pm 23,7$ kg
1 RM illalla mitattuna N = 9, 8, 12, 11 ja 9.	K + V aamu: $158,3 \pm 21,4$ kg V + K aamu: $146,6 \pm 24,6$ kg K + V ilta: $140,4 \pm 25,6$ kg V + K ilta: $136,9 \pm 26,2$ kg Kontrolli: $144,2 \pm 23,2$ kg	K + V aamu: $180,6 \pm 17,8$ kg *** V + K aamu: $170,5 \pm 29,3$ kg ** K + V ilta: $161,6 \pm 21,6$ kg *** V + K ilta: $161,7 \pm 24,8$ kg *** Kontrolli: $151,0 \pm 26,3$ kg *	K + V aamu: $185,0 \pm 19,7$ kg *** V + K aamu: $176,7 \pm 30,8$ kg *** K + V ilta: $167,4 \pm 20,0$ kg *** V + K ilta: $166,8 \pm 21,5$ kg *** Kontrolli: $148,5 \pm 23,6$ kg

8.1 Tahdonalainen aktiivisuus

Illalla mitattuna ulomman reisilihaksen pinta-EMG-aktiivisuus maksimaalisen isometrisen polven ojennuksen aikana kasvoi merkitsevästi alkutesteistä välitesteihin vain voima + kestävyys järjestyksessä harjoitelleilla ryhmillä ($p \leq 0.05$). Alkutesteistä lopputesteihin pinta-EMG-aktiivisuus illalla mitattuna kasvoi merkitsevästi vain illalla harjoitelleella voima + kestävyys -ryhmällä ($p \leq 0.01$). Lisäksi, kun tarkasteltiin erikseen eri harjoitusjärjestyksessä harjoitelleita iltaryhmiä, niin voima + kestävyys järjestyksessä harjoitellut ryhmä kasvatti illalla mitattuna maksimaalista tahdonalaista pinta-EMG-aktiivisuutta alkutesteistä lopputesteihin merkitsevästi enemmän kuin kestävyys + voima järjestyksessä harjoitellut ryhmä ($p \leq 0.05$). Aamulla mitattuna ryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja. Voima + kestävyys järjestyksessä harjoitelleiden ryhmien pinta-EMG-aktiivisuudet alku-, väli- ja lopputesteissä maksimaalisen tahdonalaisen isometrisen polven ojennuksen aikana näkyvät taulukossa 3. Kaikkien EMG-mittausten tulokset ryhmittäin näkyvät taulukossa 2. Sähköstimulaatiotuloksista lasketussa voluntaariaktiiviossa ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia millään ryhmällä tutkimuksen aikana.

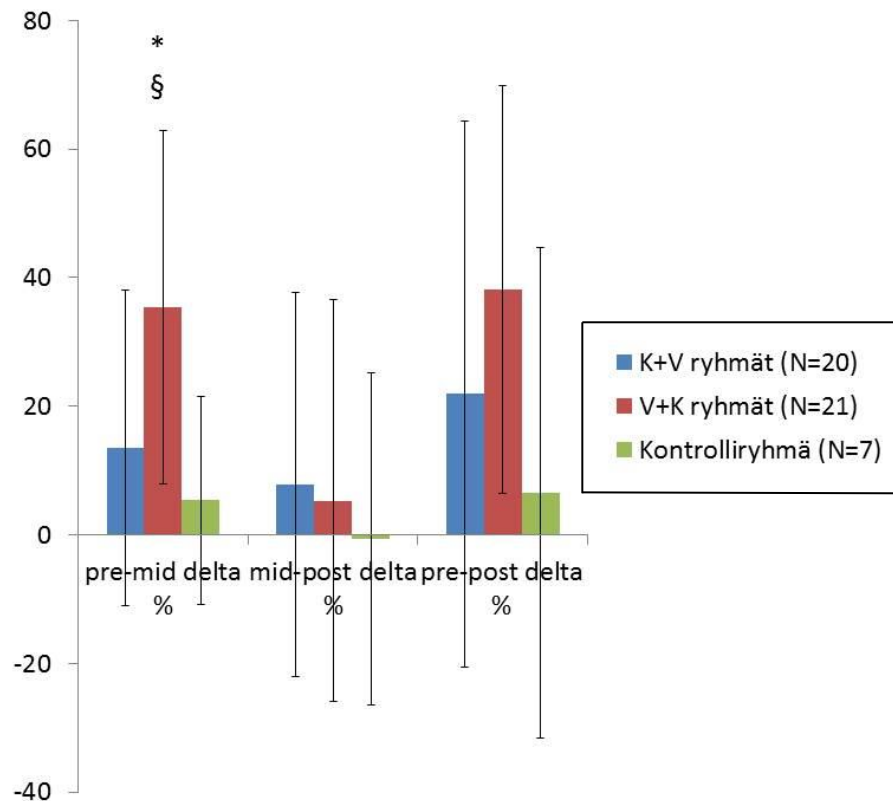
TAULUKKO 3. Maksimaalisen tahdonalaisen isometrisen polvenojennuksen aikana mitatun pinta-EMG:n muutokset tutkimusjakson aikana 500 ms ajalta ennen supramaksimaalista sähköstimulusta voima + kestävyys -ryhmillä illalla mitattuna.

	Voima + kestävyys aamu (n=9)	Voima + kestävyys ilta (n=12)
Alkutestit	0,26 ± 0,06 mV	0,23 ± 0,05 mV
Välitestit	0,39 ± 0,14 mV**	0,28 ± 0,06 mV*
Lopputestit	0,38 ± 0,20 mV	0,31 ± 0,08 mV**

* = verrattuna alkutesteihin

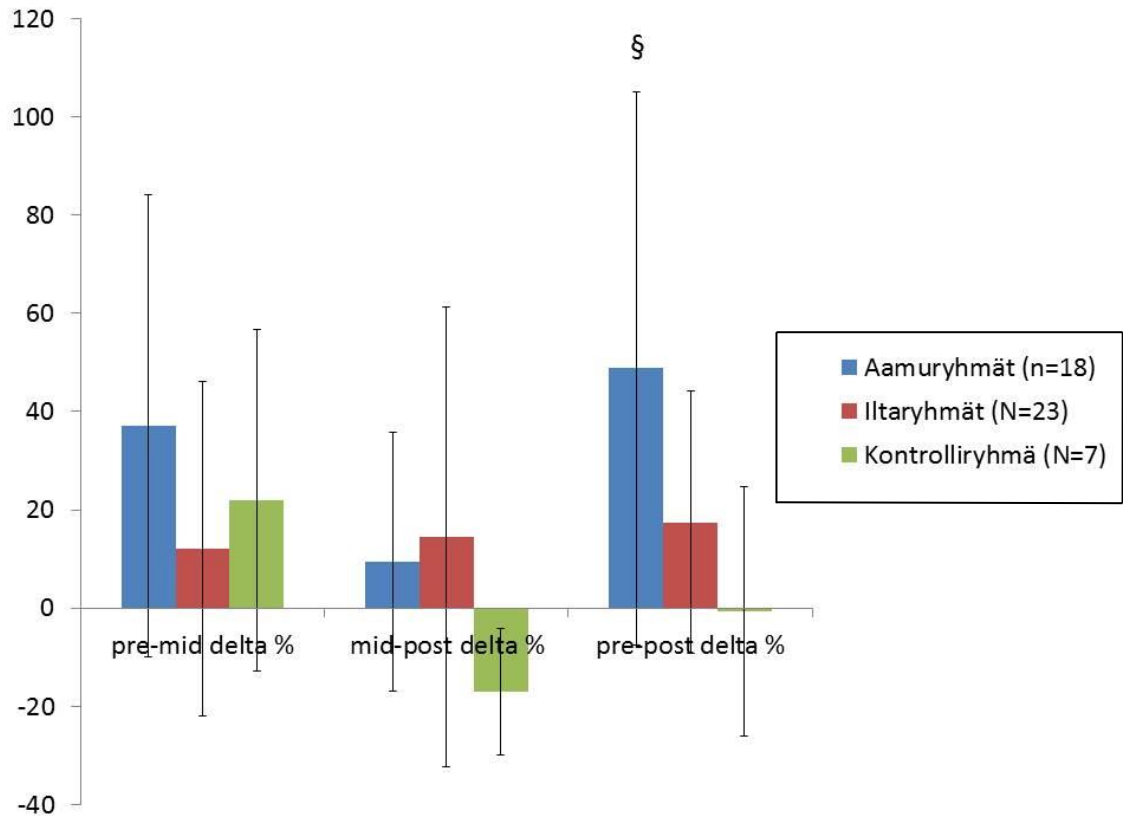
Kun illalla mitattuja maksimaalisia tahdonalaisia pinta-EMG-arvoja tarkasteltiin siten, että voima + kestävyys -ryhmät oli yhdistetty yhdeksi suureksi ryhmäksi ja kestävyys + voima -ryhmät oli yhdistetty toiseksi suureksi ryhmäksi, niin alkutesteistä välitesteihin vain voima + kestävyys järjestyksessä harjoitellen olivat kehittyneet merkitsevästi suhteessa kontrolliin ($p \leq 0.05$). Lisäksi kehitysero verrattuna kestävyys + voima järjestyk-

sessä harjoitelleisiin oli merkitsevä ($p \leq 0.05$) (kuva 12). Välitesteistä lopputesteihin kummallakaan harjoitusjärjestyksellä harjoitelleet eivät olleet lisänneet pinta-EMG-aktiivisuuttaan merkitsevästi suhteessa kontrolliryhmään. Aamulla mitattuna ryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja.



KUVA 12. Tahdonalaisen maksimaalisen pinta-EMG:n muutokset kestävyys + voima -ryhmillä, voima + kestävyys -ryhmillä ja kontrolleilla illalla mitattuna tutkimusjakson aikana. * = merkitsevä kehitys suhteessa kestävyys + voima -ryhmiin. § = merkitsevä kehitys suhteessa kontrolliryhmään. K = kestävyys. V = voima. Pre = alkutestit. Mid = välitestit. Post = lopputestit.

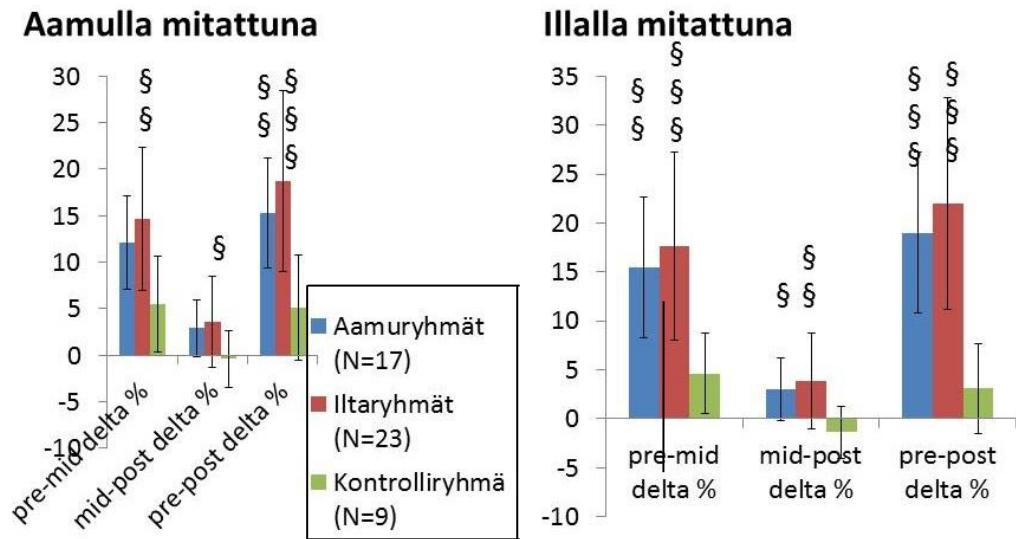
Aamulla mitattuna tahdonalaisen maksimaalisen pinta-EMG:n kasvu alkutesteistä lopputesteihin oli merkitsevästi kontrolliryhmää suurempaa vain aamuryhmillä, kun aamuryhmät yhdistettiin yhdeksi suureksi aamuryhmäksi ja iltaryhmät yhdeksi suureksi iltaryhmäksi ($p \leq 0.05$) (kuva 13). Illalla mitattuna ryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja.



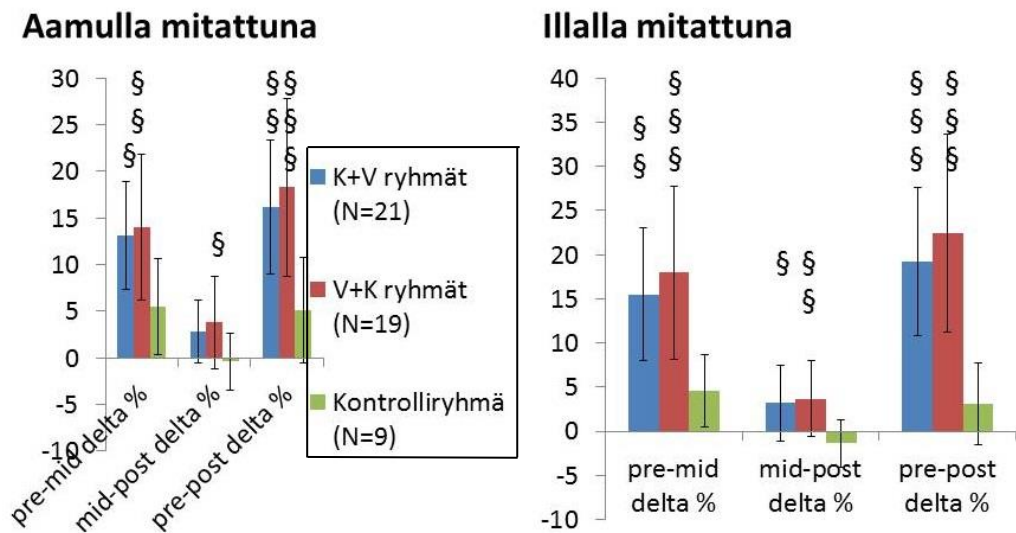
KUVA 13. Tahdonalaisen maksimialiaan pinta-EMG:n muutokset aamuryhmillä, iltaryhmillä ja kontroleilla aamulla mitattuna tutkimusjakson aikana. § = merkitsevä kehitys suhteessa kontrolliryhmään. Pre = alkutestit. Mid = välitestit. Post = lopputestit.

8.2 Dynaaminen ja isometrinen maksimivoima

Kaikki ryhmät kehittyivät dynaamisen jalkaprässin yhden toiston maksimissa merkitsevästi alkutesteistä välitesteihin ($p \leq 0.05$), mutta mikään ryhmä ei kehittynyt enää merkitsevästi välitesteistä lopputesteihin. Kun vertailtiin dynaamisen jalkaprässin kehitystä erikseen aamulla ja illalla harjoitelleiden välillä sekä kaikkien eri harjoitusjärjestyksessä harjoitelleiden välillä, ei kehityksessä ollut suoraan tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta suhteessa kontrolliryhmään trendi oli se, että illalla harjoitelleet ja voima + kestävyys järjestyksessä harjoitelleet kehittyivät hieman paremmin suhteessa kontrolliryhmään kuin aamulla harjoitelleet sekä kestävyys + voima järjestyksessä harjoitelleet (kuvat 14 ja 15). Sama trendi näkyi maksimaalisen tahdonalaisen isometrisen polven ojennuksen voimantuotossa sähköstimulaatiotuolissa. Kaikkien voimatestien tulokset ryhmittäin näkyvät taulukossa 2 sivulla 67.

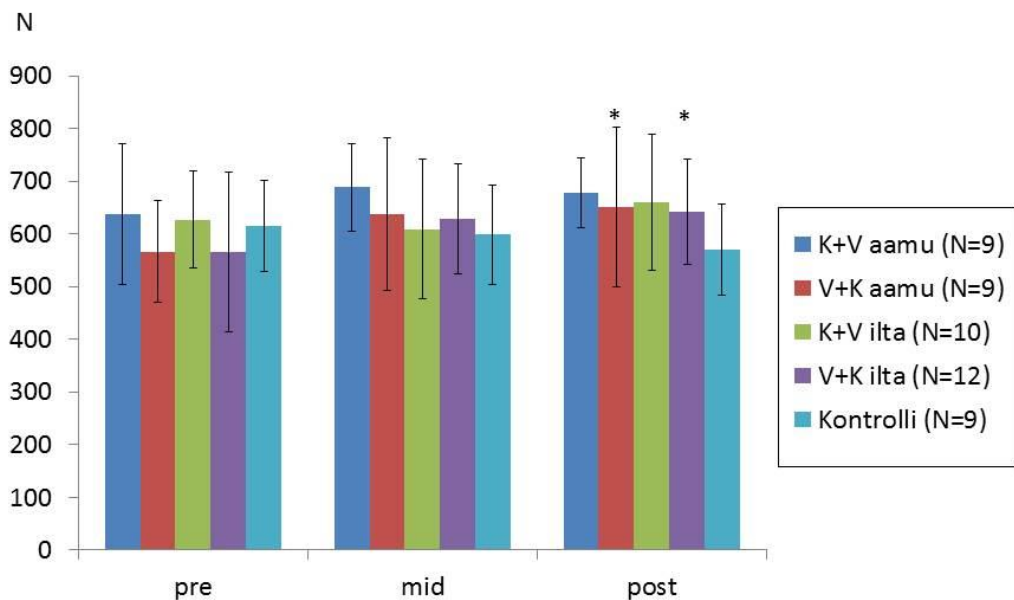


KUVA 14. Aamulla ja illalla harjoitelleiden dynaamisen jalkaprässin yhden toiston maksimin muutokset tutkimusjakson aikana. § = tilastollisesti merkitsevä kehitys suhteessa kontrolliryhmään. Pre = alkutestit. Mid = välitestit. Post = lopputestit.

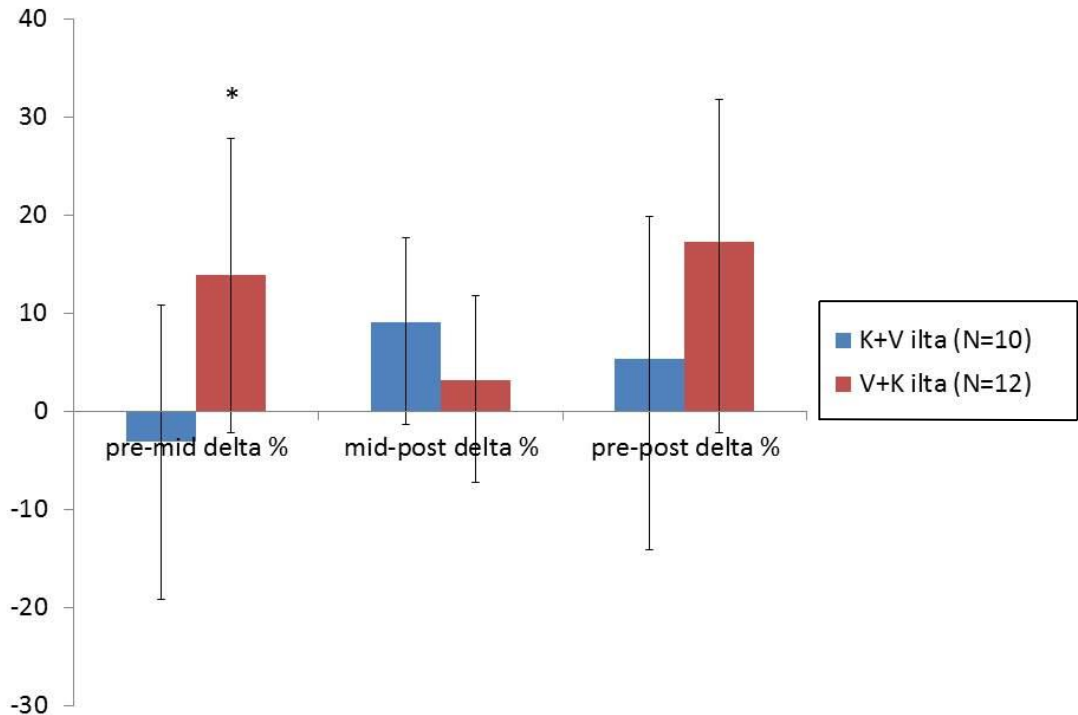


KUVA 15. Eri harjoitusjärjestyksissä harjoitelleiden dynaamisen jalkaprässin yhden toiston maksimin muutokset tutkimusjakson aikana. K = voimaharjoittelu. V = kestävyysharjoittelu. § = tilastollisesti merkitsevä kehitys suhteessa kontrolliryhmään. Pre = alkutestit. Mid = välitestit. Post = lopputestit.

Isometrinen maksimaalinen tahdonalainen polvenojennusvoima stimulaatiotuolissa kehittyi alkutesteistä lopputesteihin tilastollisesti merkitsevästi vain voima + kestävyys järjestyksessä harjoitelleilla ryhmillä illalla mitattuna (kuva 16). Aamulla mitattuna tahdonalainen isometrinen polvenojennus ei kehittynyt merkitsevästi millään ryhmällä tutkimuksen aikana. Kun vertailtiin erikseen illalla voima + kestävyys järjestyksessä harjoitellutta ryhmää ja kestävyys + voima järjestyksessä harjoitellutta ryhmää, niin voima + kestävyys järjestyksessä harjoitellut ryhmä kehittyi merkitsevästi enemmän ($p \leq 0.05$) alkutesteistä välitesteihin isometrisessä polvenojennuksessa verrattuna kestävyys + voima järjestyksessä harjoitelleeseen ryhmään (kuva 17). Aamulla mitattuna vastaava eroa ei ollut. Myöskään aamuryhmien välillä vastaavia eroja ei ollut.



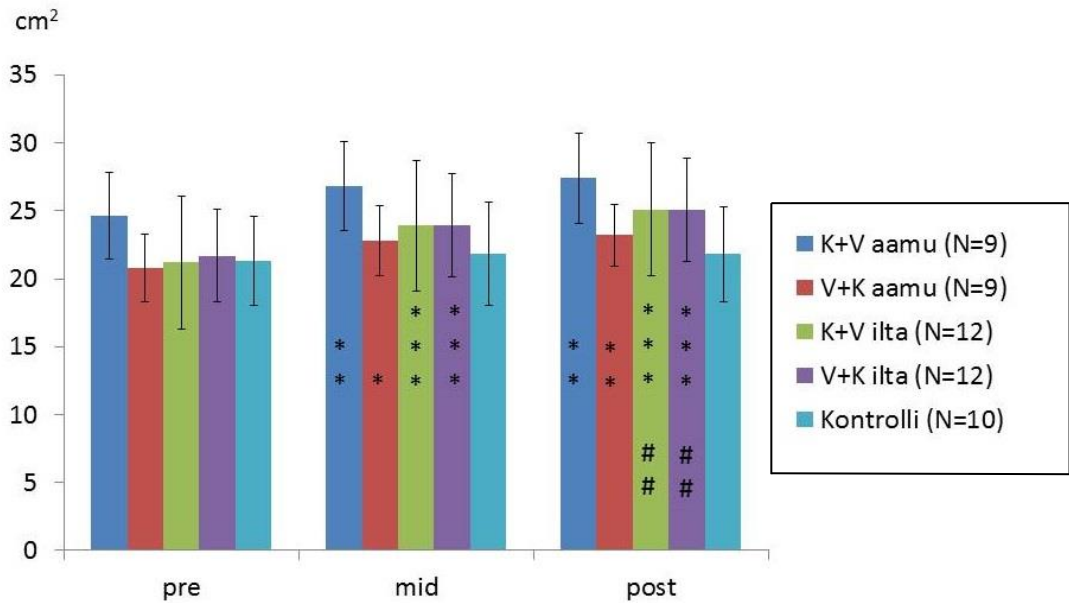
KUVA 16. Maksimaalinen isometrinen tahdonalainen polvenojennus illalla mitattuna stimulaatiotuolissa. * = merkitsevä kehitys suhteessa alkutesteihin. K = kestävyys. V = voima. Pre = alkutestit. Mid = välitestit. Post = lopputestit.



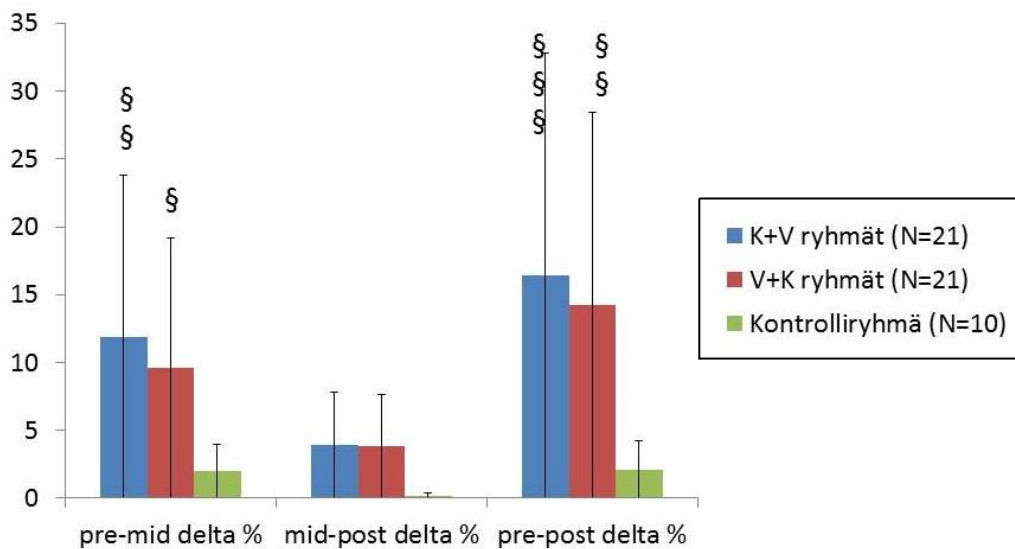
KUVA 17. Iltaryhmien vertailu isometrisen polvenojennuksen kehittymisessä illalla mitattuna. * = merkitsevästi suurempi muutos kuin K + V –ryhmällä. K = kestävyys. V = voima. Pre = alkutestit. Mid = välitestit. Post = lopputestit.

8.3 Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala

Kaikki harjoitteluryhmät kasvattivat merkitsevästi ulomman reisilihaksen pikkipinta-alaa alkutesteistä välitesteihin, mutta vain illalla harjoitelleet ryhmät kasvattivat ulomman reisilihaksen poikkipinta-alaa merkitsevästi vielä välitesteistä lopputesteihin (kuva 18). Eri harjoitusjärjestyksessä harjoitelleiden ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan muutoksissa, mutta suhteessa kontrolliryhmään kestävyys + voima järjestyksessä harjoitelleet kasvattivat tutkimuksen aikana ulomman reisilihaksen pikkipinta-alaa hieman enemmän kuin voima + kestävyys järjestyksessä harjoitelleet (kuva 19). Kaikkien poikkipinta-alamittausten tulokset näkyvät taulukossa 4.



KUVA 18. Ulomman reisilihaksen pokiipinta-alan muutos eri ryhmillä tutkimuksen aikana. * = merkitsevä kasvu verrattuna alkutesteihin. # = merkitsevä kasvu suhteessa välitesteihin. K = kestävyys. V = voima. Pre = alkutestit. Mid = välitestit. Post = lopputestit.



KUVA 19. Eri harjoitusjärjestyksessä harjoitelleiden ryhmien ulomman reisilihaksen poikkiipinta-alan muutokset. § = merkitsevä kasvu suhteessa kontrolliryhmään. K = kestävyys. V = voima. Pre = alkutestit. Mid = välitestit. Post = lopputestit.

TAULUKKO 4. Ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan muutokset tutkimusjakson aikana. * = merkitsevä kasvu suhteessa alkutesteihin. # = merkitsevä kasvu suhteessa lopputesteihin

Ryhmä	Alkutestit	Välitestit	Lopputestit
K + V aamu (N=9)	24,6 ± 3,2 cm ²	26,8 ± 3,3 cm ² **	27,4 ± 3,3 cm ² **
V + K aamu (N=9)	20,8 ± 2,5 cm ²	22,8 ± 2,6 cm ² *	23,2 ± 2,3 cm ² **
K + V ilta (N=12)	21,2 ± 4,9 cm ²	23,9 ± 4,8 cm ² ***	25,1 ± 4,9 cm ² *** ##
V + K ilta (N=12)	21,7 ± 3,4 cm ²	23,9 ± 3,8 cm ² ***	25,0 ± 3,8 cm ² *** ##
Kontrolli (N=10)	21,3 ± 3,3 cm ²	21,8 ± 3,8 cm ²	21,8 ± 3,5 cm ²

9 POHDINTA

Tämän tutkimuksen perusteella samassa harjoituksessa toteutetussa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa voima + kestävyys harjoitusjärjestys on maksimivoiman ja voimaharjoittelun neuraalisen adaptaation näkökulmasta hieman kehittävämpi kuin kestävyys + voima harjoitusjärjestys. Maksimivoima kuitenkin kasvaa molemmilla harjoitusjärjestyksillä hyvin, ja lihasmassan kasvu on eri harjoitusjärjestyksillä yhtä suurta, tai jopa hieman suurempaa kestävyys + voima järjestyksessä harjoittelevilla. Harjoittelun vuorokauden aika näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella vaikuttavan yhdistetyn samassa harjoituksessa toteutetun voima- ja kestävyysharjoittelun adaptaatioihin siten, että pitkällä aikavälillä illalla harjoitelleet kehittyvät lihasten poikkipinta-alassa enemmän. Tutkimuksessa vain illalla harjoitelleet ryhmät lisäsivät ulomman reisilihaksen poikkipinta-alaa tilastollisesti merkitsevästi vielä välitesteistä lopputesteihin. Myös maksimivoima kehittyi tämän tutkimuksen perusteella hieman paremmin illalla harjoitelleilla kuin aamulla harjoitelleilla. Aamulla maksimaalinen tahdonalainen aktiivisuus pinta-EMG:llä mitattuna kasvoi vain aamuryhmillä, joten aamuharjoittelu vaikutti positiivisesti lihasten tahdonalaisen käskytyksen lisääntymiseen aamulla.

9.2 Hermostollinen adaptaatio, lihasten poikkipinta-ala ja maksimivoima

Tutkimustulokset tukivat hypoteesia siitä, että lihasten maksimaalinen tahdonalainen aktivointikyky kehittyi enemmän ensin voimaharjoitteluosion tekevillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa. Tämän tutkimuksen tulokset olivat tältä osin samassa linjassa Eklundin ym. (2015) artikkelin kanssa. Tutkimustulokset eivät tukeneet hypoteesia siitä, että aamulla harjoittelevat parantavat aamulla mitattavia voimatasoja keskimäärin enemmän kuin illalla harjoittelevat. Tässä suhteessa tämä tutkimus on ristiriidassa Sedliakin ym. (2008) tutkimuksen kanssa. Sedliakin ym. (2008) tutkimus tosin sisälsi vain voimaharjoittelua. Toisaalta tässäkin tutkimuksessa aamulla mitattu tahdonalainen lihasaktiivisuus pinta-EMG:llä mitattuna kasvoi merkitsevästi vain aamuryhmillä, vaikkei varsinaisissa aamuvoimatestien muutoksissa eroja ollutkaan aamuryhmien hyväksi. Lisäksi tässä tutkimuksessa iltaryhmillä oli

kontrolliryhmään verrattuna trendi lisätä maksimivoimatasojaan enemmän kuin aamu-ryhmillä. Tämäkin on lievästi ristiriidassa Sedliakin ym. (2008) tutkimuksen kanssa, ja hypoteesi, että illalla mitattavat maksimivoimatasot kehittyvät yhtä paljon sekä aamulla että illalla harjoittelevilla ei täysin toteutunut. Tosin suoraan verrattuna aamu- ja iltaryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa voimatasojen kehityksessä.

Tämä tutkimus tukee siis ajatusta siitä, että pitkällä aikavälillä voimaharjoittelu kannattanee toteuttaa ennen kestävyysharjoittelua, jos maksimivoimatasojen maksimointi on tärkeä tavoite samassa harjoituksessa toteutetussa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa. Kestävyysharjoittelu ennen voimaharjoittelua heikentää voimantuottoa voimaharjoittelussa (Leveritt ym. 1999; Sidhu ym. 2009). Tämä puolestaan näyttäisi vaikuttavan voimaharjoittelun hermostollisiin harjoitusvasteisiin negatiivisesti maksimivoiman kehittymisen näkökulmasta. Tarvitaan lisätutkimusta, jotta hermostolliseen adaptaatioon johtavia signaalintireittejä opittaisiin tuntemaan. Pienentyneen lihasten tahdonalainen maksimaalisen käskytyksen lisäksi todennäköisiä mekanismeja ilmiön taustalla ovat aineenvaihdunnan kuona-aineiden kertymisestä johtuva lihassupistuksen inhibitio, syntyneet lihassoluvauriot: niiden vaikutus suoraan lihassupistuskoneiston toimintaan sekä voimantuottoa inhiboiviin hermoreitteihin ja energiavarastojen tyhjentymiseen (Leveritt ym. 1999). Myös Cadoren ym. (2012) tutkimus tukee käsitystä siitä, että maksimivoima kehittyy enemmän ensin voimaharjoitteluosion tekevillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa

Hypoteesi siitä, että lihasten poikkipinta-ala kasvaa yhtä paljon sekä aamulla että illalla harjoittelevilla kumoutui osin tässä tutkimuksessa, sillä vain illalla harjoitelleet kasvattivat ulompien reisilihasten poikkipinta-alaa merkitsevästi vielä välitesteistä lopputes-teihin. Sedliakin ym., (2009) tutkimuksessa lihasten poikkipinta-ala kasvoi yhtä paljon sekä aamulla että illalla voimaharjoittelua tehneillä. Sedliakin ym. (2009) tutkimus tosin sisälsi vain voimaharjoittelua toisin kuin tämä tutkimus, jossa harjoittelu oli yhdistettyä samassa harjoituksessa toteutettua voima- ja kestävyysharjoittelua. Tämän tutkimuksen tulokset tukivat hypoteesia siitä, että lihasten poikkipinta-ala kasvaa yhtä paljon sekä ensin voimaharjoitteluosion tehneillä että ensin kestävyysharjoitteluosion tehneillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysharjoittelussa, vaikka kontrolliryhmään verrattuna kestävyys + voima järjestyksessä harjoitelleet kasvattivat ulomman reisilihaksen poikkipinta-alaa hieman enemmän kuin voima + kestävyys jär-

jestyksessä harjoitelleet. Tämä tutkimus tuki siis suoran tilastollisen merkitsevyyden näkökulmasta Eklundin ym. (2015) tuloksia siitä, että harjoitusjärjestys ei vaikuta lihasten poikkipinta-alan kasvuun yhdistetyssä voima + kestävyysharjoittelussa. Tämä johtuu siitä, että voimaharjoittelua edeltävän tai seuraavan kestävyysharjoituksen vaikutukset lihaskasvuun johtavien signalointireittien aktiivisuuteen ovat niin pienet, että se ei vaikuta käytännössä lihaskasvuun ainakaan aloitteluvaiheessa olevilla kuntoilijoilla.

9.4 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tämän tutkimuksen vahvuuksia olivat huolellinen suunnittelu, harjoittelun ja mittausten valvonta sekä hermolihasjärjestelmän adaptaatioiden seuraaminen pitkällä aikavälillä 24 viikon aikana. Tutkimuksen heikkous oli se, että tutkimusasetelmassa ei ollut pelkästään voimaharjoittelua toteuttanutta ryhmää. Tällaisen ryhmän avulla olisi nähty aiheuttiko yhdistetty harjoittelu interferenssiä voiman kehittymiselle. Esimerkiksi dynaaminen maksimivoima kehittyi merkitsevästi vain ensimmäisen 12 viikon aikana. Olisi ollut mielenkiintoista nähdä olisiko pelkkää voimaharjoittelua tehnyt ryhmä kehittynyt dynaamisessa maksimivoimassa tilastollisesti merkitsevästi myös toisen 12 viikon harjoitusjakson aikana.

Pinta-EMG-mittauksissa mahdollisia mittausrvirheitä voivat aiheuttaa elektrodien muuttuva paikka peräkkäisillä mittauskerroilla tatuoinneista huolimatta, muutokset ihonalaisessa rasvakudoksen määrässä sekä mitattavien lihasten lihassolujen pennaatiokulmissa (De Luca 1997). Lisäksi lihasten tahdonalaista aktivaatiota tutkittiin tässä tutkimuksessa vain ulommasta reisilihaksesta, vaikka polven ojennusliike suoritetaan useiden lihasten yhteistyöllä (Rabita ym. 2000). Voimantuottoon vaikuttaa kaikkien liikkeeseen osallistuvien lihasten sisäinen ja välinen koordinaatio (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 155–156).

Tutkimuksessa voluntaariaktivaatio ei lisääntynyt koehenkilöillä sähköstimulaatiotuloksista lasketun voluntaariaktivaation (Harridge ym. 1999) perusteella. Yksöisstimulussähköstimulaatiomenetelmä ei kuitenkaan välttämättä ole kovin hyvä simuloimaan liikehermoston luonnollisesti sarja- ja duplettiluonteisesti kasvavaa impulssitiheyttä. Toisaalta ulkoisella sähköllä annettu lihasstimulaatiosarjakaan ei toimine voimantuottoa rajoittavan kipuhermojen aktivoitumisten takia. Voimaharjoittelun hermostollisen

adaptaation kuuluu motoristen yksiköiden impulssitiheyden kasvu, joka mahdollistaa voimakkaammat tetaaniset lihassupistukset (Folland & Williams 2007.) Duplettien määrä lisääntyy mitattaessa lankaelektrodilla yksittäisiä motorisia yksiköitä voimaharjoitteluintervention jälkeen (Carroll ym. 2011; Gabriel ym. 2006; Van Cutsem ym. 1998). Voimaharjoittelun hermostollisesta adaptaatiosta olisi saatu lisätietoa, jos olisi mitattu myös V-aaltovasteita sekä EMG-aktiivisuutta useammasta lihaksesta.

9.5 Johtopäätökset ja käytännön sovellukset

Jos haluaa harjoittaa voimaa ja kestävyyttä samassa harjoituksessa, niin maksimivoiman kehittymisen kannalta on hieman tuloksekkaampaa suorittaa voimaharjoitteluosio ensin. Tämä johtuu ennen muuta harjoitusjärjestyksen vaikutuksista voimaharjoittelun hermostolliseen adaptaatioon. Lisäksi lihasten poikkipinta-ala sekä maksimivoima kasvavat pitkällä aikavälillä yhdistetyssä samassa harjoituksessa toteutetussa voima- ja kestävyysarjoittelussa todennäköisesti hieman paremmin, jos harjoittelu suoritetaan iltaisin aamuharjoittelun sijasta. Harjoitusjärjestyksellä ja vuorokaudenajalla ei ole kuitenkaan dramaattista merkitystä voiman ja lihasmassan kasvuun yhdistetyssä samalla harjoituskerralla toteutetussa voima- ja kestävyysarjoittelussa ainakaan systemaattista harjoittelua aloittelevilla kuntoilijoilla. Niinpä samassa harjoituksessa toteutettua voima- ja kestävyysarjoittelua voi suositella yhtenä kunnonkohotus- ja ylläpitokeinona kunto- ja terveystoimijoille harjoitusjärjestyksestä ja vuorokaudenajasta huolimatta.

Kestävyysurheilijoilla voimaharjoitukset kannattanee sijoittaa omiksi harjoituksikseen, koska useiden tutkimusten mukaan ennen kestävyysarjoittelua toteutettu voimaharjoittelu voi heikentää kestävyysarjoittelun aiheuttamia kestävyysadaptaatioita, mutta toisaalta voimaharjoittelun tekeminen vasta kestävyysarjoituksen jälkeen vaikuttaa negatiivisesti voimaharjoittelun hermostollisiin adaptaatioihin, jotka ovat juuri voimaharjoittelun tärkeimpiä adaptaatioita kestävyyslajeissa, joissa usein liikutellaan omaa kehoa painovoimaa vastaan. Tällöin kehon painoon suhteutetun hapenottokyvyn ja voimatasojen merkitys korostuu. Kun harjoitusjakson tavoitteena on kehittää nopeusvoimaa, kannattaa kestävyysarjoittelun määrä pitää todella maltillisena, sillä useiden tutkimusten mukaan voimantuottonopeuden kehittyminen häiriintyy pienemmästä kestävyysarjoittelun määrästä kuin maksimivoiman kehittyminen. Olipa oma laji tai tavoitteet mitkä

tahansa, niin kehittymisen kannalta harjoittelussa tärkeintä ovat harjoittelun nousujohteisuus, jaksottaminen sekä sopiva vaihtelevuus.

LÄHTEET

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. 2002. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol* 192, 2309–2318.
- Adkins, D. L., Boychuk, J., Remple, M. S. & Kleim, J. A. 2006. Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord. *J Appl Physiol* 101 (6), 1776–1782.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2005. Short vs. Long Rest Period between the Sets in Hypertrophic Resistance Training: Influence on Muscle Strength, Size, and Hormonal Adaptations in Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19 (3), 572–582.
- Akima, H., Takahashi, H., Kuno, S. Y., Masuda, K., Shimojo, H., Anno, I., Itai, Y. & Katsuta, S. 1999. Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Med Sci Sports Exerc.* 1999 31 (4), 588–594.
- Arazi, H., Faraji, H., Moghadam, M. G. & Samadi, A. 2011. Effects of Concurrent Exercise Protocols on Strength, Aerobic Power, Flexibility and Body Composition. *Kinesiology* 43 (2), 155–162.
- Atkinson, G & Reilly, T. 1996. Circadian variation in sports performance. *Sports Med* 21 (4), 292–312.
- Atkinson, G., Todd, C., Reilly, T. & Waterhouse, J. 2005. Diurnal variation in cycling performance: influence of warm-up. *J Sports Sci* 23 (3), 321–329.
- Baar, K. 2014. Nutrition and the Adaptation to Endurance Training. *Sports Med* 44 (1), 5–12.
- Baechle, T. & Earle, R. 2008. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. 3. painos. Champaign Yhdysvallat. Human Kinetics.
- Baxter, C. & Reilly, T. 1983. Influence of time of day on all-out swimming. *Br J Sports Med* 17 (2) 122–127.
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R. & Quinney, H. A. 2000. Effect of strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol* 81 (5): 418–427.
- Bird, S. 2010. *Strength Nutrition: Maximizing Your Anabolic Potential*. Strength and

- Conditioning Journal 32 (4), 80–83.
- Bodine, S. C. 2006. mTOR Signaling and the Molecular Adaptation to Resistance Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 38 (11), 1950–1957.
- Bompa, T. O. & Haff, G. G. 2009. Periodization. 5. painos. Champaign Yhdysvallat. Human Kinetics.
- Bonacci, J., Chapman, A., Blanch, P. & Vicenzino, B. 2009. Neuromuscular Adaptations to Training, Injury and passive interventions: Implications for Running Economy. *Sports Medicine*, 39 (11), 903–921.
- Burgoon, P. W., Holland, G. J., Loy, S. F. & Vincent, W. J. 1992. A Comparison of Morning and Evening “Types” During Maximum Exercise. *Journal of strength and conditioning research* 6 (2), 115–119.
- Cadore, E. L., Izquierdo, M., Pinto, S. S., Alberton, S. L., Pinto, R. S., Baroni, B. M., Vaz, M. A., Lanferdini, F. J., Radaelli, R., González-Izal, M., Bottaro, M. & Krueel, L. F. M. 2012. Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence. *Age (Dordr)* 35 (3), 891–903.
- Campos, G. E. R., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Haegerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kraemer, J. K. & Satoron, R. S. 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 88, 50–60.
- Cappaert, T. A. 1999. Time of day effect on athletic performance: an update. *Journal of Strength and Conditioning Research* 13 (4), 412–421.
- Carroll, T. J. 2012. Emerging evidence that exercise-induced improvements in muscular strength are partly due to adaptations in the brain. *Acta Physiologica* 206, 96–97.
- Carroll, T. J., Selvanayagam, V. S., Riek, S. & Semmler, G. 2011. Neural adaptations to strength training: Moving beyond transcranial magnetic stimulation and reflex studies. *Acta Physiol* 202, 119–140.
- Chapman, A. R., Vicenzino, B., Blanch, P. & Hodges, P. W. 2008. Patterns of leg muscle recruitment vary between novice and highly trained cyclists. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18 (3), 359–371.
- Christie, A. & Kamen, G. 2010. Short-term training adaptations in maximal motor unit firing rates and afterhyperpolarization duration. *Muscle Nerve* 41, 651–

660.

- Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G. P. & Amri, M. 2005. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br J Sports Med* 39, 555–560.
- Chtara, M., Chaouatchi, A., Levin, G. T., Ghaouatchi, M., Chamari, K., Amri, M. & Laursen, P. B. 2008. Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res* 22 (4), 1037–1045.
- Clamann, H. P. 1993. Motor unit recruitment and the gradation of muscle force. *Phys Ther* 73 (12), 830–843.
- Collins, M. A. & Snow, T. K. 1993. Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training? *J Sports Sci.* 1993 11(6), 485–491.
- Convertino, V. A. 1991. Blood volume: it's adaptation to endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 23 (12), 1338–1348.
- Crewther, B., Cronin, J., Keogh, J. & Cook, C. 2008. The salivary testosterone and cortisol response to three loading schemes. *Journal of Strength & Conditioning Research* 22 (1), 250–256.
- De Luca, C. J. 1997. The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13 (2), 135–163.
- Del Balso, C. & Cafarelli, E. 2007. Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. *J Appl Physiol* 103, 402–411.
- Del Olmo, M. F., Reimunde, P., Viana, O., Acero, R. M. & Cudeiro, J. 2006. Chronic neural adaptation induced by long-term resistance training in humans. *European Journal of Applied Physiology* 96 (6), 722–728.
- Deschenses, M. R., Judelson, D. A. Kraemer, W. J., Meskaitis, V. J., Vole, J. S., Nindli, B. C., Harman, F. S. & Deaver, D. S. 2000. Effects of resistance training on neuromuscular junction morphology. *Muscle Nerve* 23 (10), 1576–1581.
- Deschodt, V. J. & Arsac, L. M. 2004. Morning vs. Evening Maximal Cycle Power and Technical Swimming Ability. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 18 (1), 149–154.

- Docherty, D. & Sporer, B. 2000. A Proposed Model of Examining the Interference Phenomenon between Concurrent Aerobic and Strength Training. *Sports Med* 30 (6), 385–394.
- Donovan, C. M. & Brooks, G. A. 1983. Endurance training effects lactate clearance, not lactate production. *Am J Physiol* 244 (1), 83–92.
- Drummond, M. J., Dreyer, H. C., Fry, C. S., Glynn, E. L. & Rasmussen, B. B. 2009. Nutritional and contractile regulation of human skeletal muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *J Appl Physiol* 106, 1374–1384.
- Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B. & Reilly, T. 2005. Circadian rhythms in sports performance – An update. *Chronobiology International* 22 (1), 21–44.
- Ekblom, M. M. N. 2010. Improvements in dynamic plantar flexor strength after resistance training are associated with increased voluntary activation and V-to-M ratio. *J Appl Physiol* 109, 19–26.
- Eklund, D., Pulverenti, T., Bankers, S., Avela, J., Newton, R., Schumann, M. & Häkkinen, K. 2015. Neuromuscular adaptations to different modes of combined strength and endurance training. *Int J Sports Med* 36 (2), 120–129.
- Enoka, R. M. 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. 4. painos. Champaign Yhdysvallat. Human Kinetics.
- Falvo, M. J., Sirevaag, E. J., Rohrbaugh, J. W. & Earhart, G. M. 2010. Resistance training induces supraspinal adaptations: evidence from movement-related cortical potentials. *Eur J Appl Physiol* 109 (5), 923–33.
- Fimland, M. S., Helgerud, J., Gruber, M., Leivseth, G. & Hoff, J. 2009a. Functional maximal strength training induces neural transfer to single-joint tasks. *Eur J Appl Physiol* 107, 21–29.
- Fimland, M. S., Helgerud, J., Solstad, G. M., Iversen, V. M., Leivseth, G. & Hoff, J. 2009b. Neural adaptations underlying cross-education after unilateral strength training. *Eur J Appl Physiol* 107, 723–730.
- Fisher, J., Steele, J., Bruce-Low, S. & Smith, D. 2011. Evidence-Based Resistance Training Recommendations. *Med Sport* 15 (3), 147–162.
- Fisher, J., Steele, J. & Smith, D. 2013. Evidence-Based Resistance Training Recommendations for Muscular Hypertrophy. *Med Sport* 17 (4), 217–235.
- Fleck, S. J. 1999. Periodized strength training: a critical review. *Journal of Strength &*

- Conditioning Research 13 (1), 82–89.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. 2004. Designing Resistance Training Programs. 3. painos. Champaign Yhdysvallat. Human Kinetics.
- Folland, J. P. & Williams, A. G. 2007. The Adaptations to Strength Training: Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. Sports Med 37 (2), 145–168.
- Gabriel, D. A., Kamen, G. & Frost, G. 2006. Neural Adaptations to Resistive Exercise: Mechanisms and Recommendations for Training Practices. Sports Med 36 (2), 133–149.
- García-Pallarés, J, García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L. & Izquierdo M. 2010. Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. Eur J Appl Physiol 110 (1), 99–107.
- García-Pallarés, J. & Izquierdo, M. 2011. Strategies to Optimize Concurrent Training of Strength and Aerobic Fitness for Rowing and Canoeing. Sports Med 41 (4), 329–343.
- García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Carrasco, L., Díaz, A. & Izquierdo, M. 2009. Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. Eur J Appl Physiol 106 (4), 629–638.
- Gauthier, A., Davenne, D., Martin, A., Cometti, G. & Van Hoecke, J. 1996. Diurnal rhythm of the muscular performance of elbow flexors during isometric contractions. Chronobiol Int 12 (2), 135–146.
- Glowacki, S. P., Martin, S. E., Maurer, A., Baek, W., Green, J. S. & Crouse, S. F. 2004. Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. Med Sci Sports Exerc 36 (12), 2119–2127.
- Gondín, J., Duclay, J. & Martin, A. 2006. Soleus- and gastrocnemii-evoked V-wave responses increase after neuromuscular electrical stimulation training. J Neurophysiol 95, 3328–3335.
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. 2011. Textbook of medical physiology. 12. painos. Yhdysvallat. Saunders Elsevier.
- Haff, G. G. & Nimphius, S. 2012. Training principles for power. Strength and conditioning journal 34 (6), 2–12.
- Harridge, S. D., Kryger, A. & Stensgaard, A. 1999. Knee extensor strength, activation, and size in very elderly people following strength training. Muscle and Nerve 22 (7), 831–839.

- Haug, E., Sand, O., Sjaastad, Ø. V. & Toverud, K. C. 2009. Ihminen fysiologia. 1.–4. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Hawley, J. A. 2009. Molecular responses to strength and endurance training: Are they incompatible? *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 34, 355–361.
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R. & Hoff, J. 2007. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 39 (4), 665–671.
- Hendrickson, N. R., Sharp, M. A., Alemany, J. A., Walker, L. A., Harman, E. A., Spiering, B. A., Hatfield, D. L., Yamamoto, L. M., Maresh, C. M., Kraemer, W. J. & Nindl, B. C. 2010. Combined resistance and endurance training improves physical capacity and performance on tactical occupational tasks. *Eur J Appl Physiol* 109, 1197–1208.
- Hennessy, L. C. & Watson, A. W. S. 1994. The Interference Effects of Training for Strength and Endurance Simultaneously. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 8 (1), 12–19.
- Hickson, R. C. 1980. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 45 (2–3), 255–263.
- Hill, D. W. 1996. Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 36 (3), 155–160.
- Hill, D. W., Borden, D. O., Darnaby, K. M., Hendricks, D. N. & Hill, C. M. 1992. Effect of time of day on aerobic and anaerobic responses to high-intensity exercise. *Can J Sport Sci* 17 (4), 316–319.
- Hill, D. W., Cureton, K. J. & Collins, M. A. 1989. Circadian specificity in exercise training. *Ergonomics* 32 (1), 79–92.
- Hill, D. W. & Smith, J. C. 1991. Circadian rhythm in anaerobic power and capacity. *Can J Sport Sci* 16 (1), 30–32.
- Holloszy, J. O. & Coyle, E. F. 1984. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 56 (4), 831–838.
- Holtermann, A., Roeleveld, K., Engstom, M. & Sand, T. 2007. Enhanced H-reflex with resistance training is related to increased rate of force development. *Eur J Appl Physiol* 101: 301–312.

- Hortobágyi, T. & Maffiuletti, N. A. 2011. Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *Eur J Appl Physiol* 111: 2439–2449.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kramer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol* 89, 42–52.
- Häkkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Mälkiä, E., Kraemer, W. J., Newton, R. U. & Alen, M. 1998. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* 84 (4), 1341–1349
- Häkkinen, K., Kallinen, M., Linnamo, V., Pastinen, U. M., Newton, R. U. & Kraemer, W. J. 1996. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 158 (1), 77–88.
- Häkkinen, K. & Komi, P. V. 1983. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 15 (6), 455-460.
- Häkkinen, K. & Komi, P. V. 1986. Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. *European Journal of Applied Physiology* 55 (2), 147–155.
- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1993. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol* 74 (2), 882–887.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1988. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol* 65 (6), 2406–2412.
- Ingjer, E. 1979. Capillary supply and mitochondrial content of different skeletal muscle fiber types in untrained and endurance trained men: A histochemical and ultra structural study. *Eur J Appl Physiol* 40 (3), 197–209.
- IWF. Men's world records. [www-sivu] 2014. [haettu 13.3.2014]
<http://www.iwf.net/results/world-records/>
- Izquierdo-Gabarran, M, González De Txabarri Expósito, R., García-pallarés, J., Sánchez-medina, L., De Villarreal, E. S. & Izquierdo, M. 2010. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes

- performance gains. *Med Sci Sports Exerc* 42 (6) 1191–1199.
- Janzen, C. L., Chilibeck, P. D. & Davison, K. S. 2006. The effect of unilateral and bilateral strength training on the bilateral deficit and lean tissue mass in post-menopausal women. *Eur J Appl Physiol* 97 (3), 253–260.
- Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M. & French, D. N. 2013. Performance and Neuromuscular Adaptations Following Differing Ratios of Concurrent Strength and Endurance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27 (12), 3342–3351.
- Kamen, G. & Knight, C. A. 2004. Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 59, 1334–1338.
- Karavirta, L., Häkkinen, A., Sillanpää, E., García-López, D., Kauhanen, A., Haapasaari, A., Alen, M., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. & Häkkinen, K. 2011. Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40–67-year-old men. *Scand J Med Sci Sports* 21, 402–411.
- Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2010. *Kuntotestauksen käsikirja. 2. uudistettu painos*. Tampere: Tammerprint Oy.
- Kidgell D. J. & Pearce A. L. 2010. Corticospinal properties following short-term strength training of an intrinsic hand muscle. *Human Movement Science* 29, 631–641.
- Kleim, J. A., Cooper, N. R. & VandenBerg, P. M. 2002. Exercise induces angiogenesis but does not alter movement representations within rat motor cortex. *Brain Research*, 934 (1), 1–6.
- Kraemer, W. J., Loebel, C. C., Volek, J. S., Ratamess, N. A., Newton, R. U., Wickham, R. B., Gotshalk, L. A., Duncan, D. N., Mazzetti, S. A., Gópmes, A. L., Rubin, M. R., Nindl, B. C. & Häkkinen, K. 2001. The effect of heavy resistance exercise on the circadian rhythm of salivary testosterone in men. *Eur J Appl Physiol* 84 (1–2), 13–18.
- Lagerquist O., Paul Zehr E. & Docherty D. 2006. Increased spinal reflex excitability is not associated with neural plasticity underlying the cross-education effect. *J Appl Physiol* 100: 83–90.
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K. & Logan, P. A. 1999. Concurrent Strength and Endurance Training: a Review. *Sports Med* 28 (6), 413–427.

- Linnamo, V., Pakarinen, A., Komi, P. V., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2005. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *J Strength Cond Res* 19 (3), 566–571.
- Lucía, A., Hoyos, J., Padro, J. & Chicharro J. L. 2000. Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: a longitudinal study. *Japanese Journal of Physiology*, 50 (3), 381–388.
- Maffiuletti, N. A., Martin, A., Babault, N., Pensini, M., Lucas, B. & Schieppati, M. 2001. Electrical and mechanical H(max)-to-M(max) ratio in power- and endurance-trained athletes. *Journal of Applied Physiology*, 90 (1), 3–9.
- Marshall, P. W. M., McEwen, M. & Robbins, D. W. 2011. Strength and neuromuscular adaptation following one, four and eight sets of high intensity resistance exercise in trained males. *Eur J Appl Physiol* 111, 3007–3016.
- Martin, A., Carpentier, A., Guissard, N., van Hoecke, J. & Duchateau, J. 1999. Effect of time of day on force variation in a human muscle. *Muscle Nerve* 22 (10), 1380–1387.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2010. *Exercise Physiology: nutrition, energy, and human performance*. 7. painos. Yhdysvallat. Lippincott Williams & Wilkins.
- McCarthy, J. P., Pozniak, M. A. & Agre, J. C. 2002. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 34 (3), 511–519.
- Mikkola, J., Rusko, H., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. M. & Häkkinen, K. 2012. Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *Int J Sports Med* 33 (9), 702–710.
- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. 2007. *Urheiluvallmennus*. 2. painos. Lahti: VK-kustannus.
- Merton, P. A. 1954. Voluntary strength and fatigue. *Journal of Physiology* 123 (3), 553–564.
- Morgan, D. W., Martin, P. E. & Krahenbuhl, G. S. 1989. Factors affecting running economy. *Sports Medicine* 7 (5), 310–330.
- Moritani, T. & deVries. H. A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58 (3), 115–130.

- Netreba, A., Bravyi, Y., Makarov, V., Ustyuzhanin, D. & Vinogradova, O. 2011. Evaluation of training effectiveness for improving maximal voluntary contraction without noticeable hypertrophy of muscles. *Human Physiology* 37 (6), 89–97.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* 86 (5), 1527–33.
- Palmer H. S., Håberg, A. K., Fimland, M. S., Solstad, G. M., Moe Iversen, V., Hoff, J., Helgerud, J. & Eikenes, L. 2013. Structural brain changes after 4 wk of unilateral strength training of the lower limb. *J Appl Physiol* 115: 167–175.
- Patten, C., Kamen, G. & Rowland, D. M. 2001. Adaptations in maximal motor unit discharge rate to strength training in young and older adults. *Muscle Nerve* 24, 542–550.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R. & Alvar, B. A. 2004. Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res.* 18 (2), 377–382.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R. & Alvar, B. A. 2005. Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19 (4), 950–958.
- Pinto, S. S., Cadore, E. L., Alberton, C. L., Zaffari, P., Bagatini, N. C., Baroni, B. M., Radaelli, R., Lanferdini, F. J., Colado, J. C., Pinto, R. S., Vaz, M. A., Bottaro, M. & Krueel, L. F. M. 2014. Effects of Intra-session Exercise Sequence during Water-based Concurrent Training. *International Journal of Sports Medicine* 35 (1), 41–48.
- Pucci, A. R., Griffin, L. & Cafarelli, E. 2006. Maximal motor unit firing rates during isometric resistance training in men. *Exp Physiol* 91, 171–178.
- Rabita, G., Pérot, C. & Lensel-Corveil, G. 2000. Differential effects of the knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. *European Journal of Applied Physiology* 83 (6), 531–538.
- Reilly, T. & Baxter, C. 1983. Influence of time of day on reactions to cycling at a fixed high intensity. *Br J Sports Med* 17 (2), 128–130.

- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A. & Raastad, T. 2012. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 112, 1457–1466.
- Sale, D. G. 1988. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20, (5), 135–145.
- Sale, D. G., Jacobs, I., MacDougall, J. D. & Garner, S. 1990. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc.* 22 (3), 348–356.
- Salles, B., Simão, R., Miranda F., Novaes, J., Lemos, A. & Willardson, J. M. 2009. Rest Interval between Sets in Strength Training. *Sports Med* 39 (9), 765–777.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J. & Hawley, J. A. 2006. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 20 (4), 947–954.
- Schoenfeld, B. J. 2010. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (10), 2857–2872.
- Schumann, M., Walker, S., Izquierdo, M., Newton, R. U., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2014. The order effect of combined endurance and strength loadings on force and hormone responses: effects of prolonged training. *Eur J Appl Physiol* 114 (4), 867–880.
- Sedliak, M., Finni, T., Cheng, S., Lind, M. & Häkkinen, K. 2009. Effect of Time-Of Day-Specific Strength Training on Muscular Hypertrophy in Men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (9), 2451–2457.
- Sedliak, M., Finni, T., Peltonen, J. & Häkkinen, K. 2008. Effect of time-of-day-specific strength training on maximum strength and EMG activity of the leg extensors in men. *Journal of Sport Sciences* 26 (10), 1005–1014.
- Semmler, J. G. & Nordstrom, M. A. 1998. Motor unit discharge and force tremor in skill- and strength-trained individuals. *Exp Brain Res* 119 (1), 27–38.
- Shima, N., Ishida, K., Katayama, K., Morotome, Y., Sato, Y. & Miyamura, M. 2002. Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *Eur J Appl Physiol* 86 (4), 287–94.
- Sidhu, S. K., Bentley, D. J. & Carroll T. J. 2009. Locomotor exercise induces long lasting impairments in the capacity of the human motor cortex to

- voluntarily activate knee extensor muscles. *J Appl Physiol* 106, 556–565.
- Sillanpää, E., Häkkinen, K., Holviala, J. & Häkkinen, A. 2012. Combined Strength and Endurance Training Improves Health-Related Quality of Life in Healthy Middle-Aged and Older Adults. *Int J Sports Med* 33, 981–986.
- Silva, R. F., Cadore, E. L., Kothe, G., Guedes, M., Alberton, C. L., Pinto, S. S., Pinto, R. S., Trindade, G. & Kruel, L. F. 2012. Concurrent training with different aerobic exercises. *Int J Sports Med* 33 (8), 627–634.
- Slater, G. & Phillips, S. M. 2011. Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding. *Journal of Sports Sciences* 29 (1), 67–77.
- SLRY. Leuanvedon Suomen enätykset. [www-sivu] 2014. [haettu 13.4.2014]
<http://www.slry.fi/suomen-ennatykset/>
- Souissi, N., Driss, T., Chamari, K., Vandewalle, H., Davenne, D., Gam, A., Fillar, J. R. & Jouselin, E. 2010. Diurnal variation in Wingate test performances: influence of active warm-up. *Chronobiol Int* 27 (3), 640–652.
- Souissi, N., Gauhier, A., Sesboüé, B., Larue, J. & Davenne, D. 2002. Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuation in muscular performance. *J Sports Sci* 20 (11), 929–937.
- Spangenburg, E. E. 2009. Changes in muscle mass with mechanical load: possible cellular mechanisms. *Appl. Physiol. Nutr. Metab* 34, 328–335.
- Spina, R. J., Oqava, T., Coggan, A. R., Holloszy, J. O. & Ehsani, A. A. 1992. Exercise training improves left ventricular contractile response to beta-adrenergic agonist. *J Appl Physiol* 72 (1), 307–311.
- Sporer, B. C. & Wenger, H. A. 2003. Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *J Strength Cond Res* 17(4), 638–44.
- Squire, L. R., Bloom, F. E., Spitzer, N. C., du Lac, S., Ghosh, A & Berg, D. 2008. *Fundamental Neuroscience*. 3. painos. San Diego California Yhdysvallat. Elsevier Academic Press.
- Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M. & Hoff, J. 2008. Maximal Strength Training Improves Running Economy in Distance Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 40, 1087–1092.
- Strutton, P. H., Catley, M. & Davey, N. J. 2003. Stability of corticospinal excitability and

- grip force in intrinsic hand muscles in man over 24-h period. *Physiol Behavior* 79 (4–5), 679–682.
- Swain, R. A., Harris, A. B., Wiener, E. C., Dutka, M. V., Morris, H. D., Theien, B. E., Konda, S., Engberg, K., Lauterbur, P. C. & Greenough, W. T. 2003. Prolonged exercise induces angiogenesis and increases cerebral blood volume in primary motor cortex of the rat. *Neuroscience*, 117(4):1037–1046.
- Taipale, R., Mikkola, J., Vesterinen, V., Nummela, A. & Häkkinen, K. 2013. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *European Journal of Applied Physiology* 113 (2), 325–335.
- Taube W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F. & Gollhofer, A. 2007. Differential Reflex Adaptations Following Sensorimotor and Strength Training in Young Elite Athletes. *Int J Sports Med* 28, 999–1005.
- Tan, B. 1999. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *Journal of Strength & Conditioning Research* 13 (3), 289–304.
- Tanaka, H. & Swensen, T. 1998. Impact of Resistance Training on Endurance Performance: A New Form of Cross-Training? *Sports Med* 25 (3), 191–200.
- Teo, W., Newton, M. J. & McGuiran, M. R. 2011. Circadian Rhythms in Exercise Performance: Implications for Hormonal and Muscular adaptation. *J Sports Sci Med* 10 (4), 600–606.
- Tesch, P. A. & Larsson, R. 1982. Muscle Hypertrophy in Bodybuilders. *Eur J Appl Physiol* 49, 301–306.
- Van Cutsem, M., Duchateau, J. & Hainaut, K. 1998. Changes in single motor unit behavior contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol* 513, 295–305.
- Vila-Chã, C., Falla, D., Correia, M. V. & Farina, D. 2012. Changes in H-reflex and V wave following short-term endurance and strength training. *J Appl Physiol* 112, 54–63.
- Vila-Chã, C., Falla, D. & Farina, D. 2010. Motor unit behavior during submaximal contractions following six weeks of either endurance or strength training.

- Journal of Applied Physiology, 109 (5), 1455–1466.
- Willardson, J. M. 2008. A Brief Review: How Much Rest between Sets? Strength and Conditioning Journal 30 (3), 44–50.
- Willoughby, D. S. 1993. The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. Journal of Strength & Conditioning Research 7 (1), 2–8.
- Wilmore, J. H., Costil, D. L. & Kenney, W. L. 2008. Physiology of Sport and Exercise. 4. painos. Champaign Yhdysvallat. Human Kinetics.
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M., Loenneke, J. P. & Anderson, J. C. 2012. Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. J Strength Cond Res 26 (8), 2293–2307.
- Wright, C. S. & Smith, D. 2009. The Effect of PETTLEP Imagery on Strength Performance. IJSEP 7, 18–31.
- Wyse, J. P., Mercer, T. H. & Gleeson, N. P. 1994. Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. Br Journal Sports Med 28 (3), 167–170.
- Yamamoto, L. M., Lopez, R. M., Klau, J. F., Casa, D. J., Kraemer, W. J. & Maresh, C. M. 2008. The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: a systematic review. J Strength Cond Res 22 (6), 2036–2044.
- Zatsiorsky, V. & Kraemer, W. 2006. Science and practice of strength training. 2. painos. Champaign Yhdysvallat. Human Kinetics.