

**HARJOITUSTEN AIKAISEN OHJAUKSEN JA PALAUTTEEN-
ANNON VAIKUTUKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN
SUORITUSKYKYYN YHDISTETYSSÄ MAKSIMI- JA NOPEUS-
VOIMAHARJOITTELUSSA**

Olli Koskinen

Pro gradu –tutkielma

Valmennus- ja testausoppi

Kevät 2016

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaaja: Keijo Häkkinen

TIIVISTELMÄ

Koskinen Olli (2016). Harjoitusten aikaisen ohjauksen ja palautteenannon vaikutukset hermolihasjärjestelmän suorituskykyyn yhdistetyssä maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelussa. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. Valmennus- ja testausopin Pro gradu –tutkielma. 73s.

Yhdistetty maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelu on paras tapa kehittää hermolihasjärjestelmän tehontuottokapasiteettia. Maksimivoima on tärkeää korkeiden tehontuottoarvojen saavuttamiseksi, mutta lisäksi hermolihasjärjestelmän voimantuottonopeutta täytyy kehittää erilaisin nopeusvoimaharjoittein. Valvonnalla on aiemmissa tutkimuksissa havaittu positiivisia vaikutuksia suorituskykyyn. Tässä tutkimuksessa 26 miestä, joilla ei ollut aikaisempaa voimaharjoittelutaustaa, suorittivat yhdistettyä maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelua 13 viikon ajan käyttäen harjoittelussaan apuna GymCoach -älypuhelinsovellusta. *Valvomaton ryhmä* (n = 9) sai harjoitusohjelman android laitteeseensa GymCoach -sovelluksen kautta ja älysokan käyttöönsä jokaisella harjoituskerralla, mutta tämän ryhmän harjoitteluun ei puuttuttu valvojan toimesta neljännen harjoitteluviikon jälkeen. *Valvottu ryhmä* (n = 9) sai harjoitusohjelman android laitteeseensa GymCoach -sovelluksen kautta ja älysokan käyttöönsä jokaisella harjoituskerralla. Lisäksi tämän ryhmän harjoittelua valvottiin liikuntabiologian laitoksen opiskelijan toimesta jokaisella harjoituskerralla. *Optimoitu ryhmä* (n = 8) harjoitteli muuten samalla tapaa kuin valvottu ryhmä, mutta heidän harjoitusohjelmaansa tehtiin lisäksi muutoksia GymCoach -sovelluksen keräämien tietojen perusteella. Voima-arvoissa kaikki ryhmät kehittyivät samankaltaisesti: Dynaamisessa maksimivoimassa (1RM) kaikki ryhmät kehittyivät samankaltaisesti: + 14% ± 8 % (p≤0.01), + 21% ± 10 % (p≤0.01) ja + 20 % ± 11 % (p≤0.01) valvomattomalla, valvotulla ja optimoidulla ryhmällä. Tehomuuttuja (kuorma x liikenopeus) 60 %:in kuormalla kunkin kerran 1RM:sta kehittyi + 5 %, + 15 % (p≤0.01) ja + 11 % (p≤0.01) valvomattomalla, valvotulla ja optimoidulla ryhmällä. Hermolihasjärjestelmän voimantuottonopeudesta kertovissa muuttujissa löytyi tilastollisesti merkitseviä eroja useissa muuttujissa sekä valvotun ja valvomattoman, että optimoidun ja valvomattoman ryhmän välillä valvotun ja optimoidun kehittyessä tilastollisesti merkitsevästi enemmän. Eroja löytyi esimerkiksi liikenopeudesta 60 %:n kuormalla viikkojen 4 ja 11 (p≤0.05) ja viikkojen 4 ja 13 (p≤0.001) optimoidun ja valvomattoman ryhmän väliltä sekä tehomuuttujassa 80 %:n kuormalla viikkojen 4 ja 11 välillä (p≤0.05) valvotun ja valvomattoman ryhmän välillä. Kun valvotut ryhmät yhdistettiin ja niitä verrattiin valvomattomaan ryhmään, niin tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi myös dynaamisesta maksimivoimasta viikkojen 11 ja 13 välillä (p≤0.05) sekä useista nopeusvoimamuuttujissa valvottujen ryhmien kehittyessä enemmän. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella näyttäisi, että valvottu harjoittelu johtaa parempaan kehitykseen voimantuottonopeuden osalta, mutta ohjelman tarkemmasta säätelystä (= optimointi) ei olisi lisähyötyä. Maksimivoiman kehittymiseen valvonnalla ei tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi olevan merkitystä.

Avainsanat: Maksimivoimaharjoittelu, nopeusvoimaharjoittelu, tehoharjoittelu, valvonta.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
JOHDANTO	5
2. YHDISTETTY MAKSIMI- JA NOPEUSVOIMAHARJOITTELU	6
2.1 Hypertrofisen harjoittelun adaptaatiot.....	9
2.2 Maksimivoimaharjoittelun adaptaatiot.....	11
2.3 Nopeusvoimaharjoittelun adaptaatiot.....	13
2.3.1 Motoristen yksiköiden rekrytointi.....	14
2.3.2 Voimantuottonopeus (RFD).....	16
2.4 Yhdistetty harjoittelu.....	17
3. NOPEUSVOIMAHARJOITTELUN PERIAATTEET	19
3.1 Optimaalinen kuorma ja optimitehoalue	21
3.2 Voimantuottonopeuteen vaikuttavat tekijät	23
3.3 Tehoprofiili ja sen muutokset harjoittelun seurauksena.....	24
4 PALAUTTEEN JA VALVONNAN MERKITYS HARJOITUSVASTEeseen	26
4.1 Valvonnan ja palautteen merkitys.....	26
4.2 Nopeusvoimaharjoittelu ja väsymys	28
5. NOPEUSVOIMAHARJOITTELUN JAKSOTTAMINEN JA ERILAISET HARJOITTEET	31
5.1 Nopeusvoimaharjoittelun suunnittelu ja jaksottaminen	31
5.2 Ballistinen harjoittelu	32

5.3 Tehoharjoittelu	34
5.4 Painonnostoharjoittelu.....	35
6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	36
6.1 Tutkimuskysymykset	36
6.2 Hypoteesit	37
7 MENETELMÄT	38
7.1 Tutkittavat	38
7.2 Tutkimusasetelma	38
7.3 Mittaukset.....	40
7.4 Harjoittelu	43
7.5 Tilastolliset analyysit	46
8 TULOKSET	48
8.1 Ryhmien sisäiset muutokset.....	48
8.2 Ryhmien väliset muutokset.....	54
9 POHDINTA	59
9.1 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet	64
9.2 Johtopäätökset ja käytännön sovellukset	65
10 LÄHTEET	68

JOHDANTO

Ammattilaisten antama ohjeistus ja palaute voimaharjoitusten aikana johtaa parempiin tuloksiin kuin ilman valvontaa harjoittelu (Coutts ym. 2004). Harjoittelun aikana ohjaaja tai valmentaja voi analysoida ja antaa kehitysehdotuksia harjoittelijan tekniikkaan liittyen sekä motivoida ja tarjota psykologista tukea harjoitteluun (Baker 2001). Vaikka valvonnan ja palautteen merkitys voimaharjoitteluun tiedetään, suoria aiheeseen liittyviä tutkimuksia on melko vähän, ja tutkimuksia missä olisi mukana ihmisen antaman palautteen lisäksi myös harjoituksen aikana kerätyn datan hyödyntäminen suoritusten muokkaamisessa vielä vähemmän. Mazetti ym. (2000) tutkimuksessa todettiin ammattimaisen valvonnan johtavan suurempiin harjoituspainoihin sekä suurempiin voima-arvoihin harjoittelun jälkeen jalkakyykky- ja penkkisuorituksissa, mutta tilastollisesti merkitseviä eroja tehontuotossa kuormitetussa kyykkyhypyssä ei havaittu (Mazetti ym. 2000).

Voiman ja tehontuoton välinen yhteys on selkeä ja on todettu, että henkilö ei voi tuottaa suuria tehoja ilman suhteellisen suuria voima-arvoja (Andersen & Aagard 2010). Tästä syystä varsinkin harjoittelemattomilla yksilöillä tarkat mekanismit, joiden avulla tehontuotto paranee voivat jäädä melko epäselväksi. Harjoittelemattomilla lihasten suorituskyvyn muutoksia saadaan aikaan hyvin helposti ja ne voivat olla hyvinkin epäspesifejä (Cormie ym. 2011). Tehontuottoa harjoitettaessa pyritään löytämään optimikuorma eli kuorma, jolla tehontuotto on suurin, sillä useat tutkimukset ovat ehdottaneet tämän olevan paras stimulus tehon kehittymiselle (Kaneko ym. 2005, McBride ym. 2002, Wilson ym. 1993). Nopeusvoiman kehittymisen kannalta suora palaute harjoituksen aikana ja sen avulla tehtävät muokkaukset jo seuraavaan sarjaan voivat tuottaa hyvinkin merkityksellistä hyötyä, sillä tällaista tapaa kontrolloida nopeusvoimaharjoittelua ei aikaisemmin ole ollut saatavilla.

2. YHDISTETTY MAKSIMI- JA NOPEUSVOIMAHARJOITTELU

Eroteltaessa maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelua toisistaan, täytyy ensin määritellä mitä kyseisillä termeillä tarkoitetaan. Maksimivoimaharjoittelusta tai voimaharjoittelusta puhutaan yleisesti silloin, kun harjoittelussa käytettävä kuorma on suuri ja liikenopeus hidas, kun taas kuorman ollessa pieni tai keskisuuri ja liikenupeuden ollessa suuri puhutaan nopeusvoima- tai tehoharjoittelusta. (Lamas ym., 2012). Tässä tutkimuksessa käytetään termejä maksimivoimaharjoittelu ja nopeusvoimaharjoittelu erottelemaan nämä kaksi harjoitusmuotoa toisistaan. Lisäksi maksimivoimaharjoittelu erotetaan hypertrofisesta harjoittelusta harjoitusintensiiteettien, sarjapituuksien ja vaikutusmekanismien kautta siten, että hypertrofiseksi harjoitteluksi katsotaan 6-12 RM (RM = Repetition maximum eli toistomaksimi) kuormilla tapahtuva harjoittelu ja maksimivoimaharjoitteluksi 1-5 RM kuormilla tapahtuva harjoittelu (Zatsiorsky & Kraemer 2006.)

Voimaharjoittelu on yksi yleisimpiä keinoja kehittää suorituskykyä, parantaa lihasten ja luuston terveyttä sekä muokata kehon ulkoista olemusta. Pitkään jatkuneena maksimivoimaharjoittelu kehittää merkittävästi lihasten voimantuottoa sekä hermostollisten että morfologisten muutosten kautta. Näistä näkyvin muutos on lihaksen poikkipinta-alan kasvu. Hermostollisen puolen kehittymisestä on olemassa sekä suoraa (EMG-kasvu, yksittäisten motoristen yksiköiden impulssitiheydet) että epäsuoraa (kuvitellut supistukset, vain tiettyyn harjoittelumuotoon kohdistuvat adaptaatiot) tutkimustietoa (Folland & Williams 2007.) Suorasta näytöstä hyvä esimerkki on Häkkisen ja Komin (1983) tutkimus, jossa maksimivoimaharjoittelulla (kuormat 80–120 % ensimmäisen mittauskerran 1RM:sta) saatiin aikaan merkittävää maksimivoiman kasvua yhdessä merkittävän lihasaktiivisuuden kasvun kanssa (Häkkinen & Komi 1983). Epäsuorasta näytöstä puolestaan hyvä esimerkki on Sidawayn ja Trzaskan (2005) tutkimus, jossa sekä fyysisesti että kuvitteellisesti nilkan ojennusta harjoitelleet ryhmät kehittyivät tilastollisesti merkitsevästi (+ 25 % nilkan

ojennusvoimaan fyysisesti harjoitelleelle ja + 17 % kuvittellisesti harjoitelleelle) verrattuna kontrolliryhmään (- 2 %) (Sidaway & Trzaskan 2005). Voimaharjoittelusta voidaan erottaa hermostopuolen kehittämiseen tähtäävä maksimivoimaharjoittelu sekä lihaskasvuun tähtäävä hypertrofinen harjoittelu (Zatsiorsky & Kraemer 2006). Karkeasti jaettuna hypertrofisessa harjoittelussa käytetään tyypillisesti keskipitkiä 6–12 toiston sarjoja sekä keskisuuria 60–80 % 1RM kuormia kun taas maksimivoimaharjoittelu keskittyy tyypillisesti 1–5 toiston sarjoihin ja raskaisiin 80–100% 1RM kuormiin. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, Wilmore ym. 2008, 192-193, Kraemer & Häkkinen 2002, 21-22). Hermostollishypertrofisesta harjoittelusta puhutaan silloin kun harjoitusvastetta pyritään ohjaamaan molempiin komponentteihin samanaikaisesti, tällöin tehdään 3-6 toiston sarjoja kuormien ollessa 70–90% 1RM. (Mero ym. 2007 s.263).

Nopeusvoimaharjoittelulla viitataan sellaiseen harjoitteluun, jolla pyritään parantamaan hermolihasjärjestelmän kykyä tuottaa paljon voimaa lyhyessä ajassa tai suuria hetkellisiä tehoarvoja, mutta joka ei kuitenkaan ole maksimivoimaharjoittelua. Monissa lajeissa kuten hypyissä, juoksuissa ja heitoissa kyky tuottaa suuria tehoarvoja on tärkein suoritusta määrittävä ominaisuus (Haff & Nimphius 2012). Vanhemmilla ihmisillä lihasten tehontuotolla on havaittu olevan vahvempi yhteys liikuntakykyyn kuin maksimivoimalla. Näillä vanhemmilla yksilöillä lihasten tehontuottoa saadaan kehitettyä merkittävästi maksimivoimaharjoittelulla, mutta vielä enemmän räjähtävällä harjoittelulla, jossa tavoitteena on liikuttaa kuormaa mahdollisimman suurella nopeudella. (Row ym. 2012.)

Harjoittelemattomilla tiedetään nopeusvoimaharjoittelun ja maksimivoimaharjoittelun aiheuttavan samantyyppisiä adaptaatioita harjoittelun alussa (Laturco ym. 2013). Traditionaalisen periodisaation mukaan harjoittelun tulisi kuitenkin edetä yleisvoimaharjoittelusta (engl. basic strength training) intensiteettiä hiljalleen kasvattaen ensin maksimivoimaharjoitteluun ja sitten intensiteettiä pudottaen, mutta liikenopeutta lisäten nopeusvoimaharjoitteluun (Fleck & Kraemer 1999).

Voimaharjoittelun seurauksena kehossa tapahtuu useita morfologisia ja hermostollisia adaptaatioita. Näistä ilmeisin on myofibrillien koon ja lukumäärän kasvusta aiheutuva lihasten poikkipinta-alan kasvu. Tämä muutos aiheutuu voimaharjoituksen aktivoimien satelliittisolujen kiinnittymisestä ja fuusioitumisesta jo olemassaoleviin lihassäikeisiin lisäten näin ollen lihassolujen tumamäärää eli potentiaalia lihaskavulle transkription kautta (Kadi 2000, Roth ym. 2001). Lihastumien ja lihasfiiberien paksuuden väliltä on lyödetty selkeä positiivinen yhteys (Landing ym. 1974). Lihastumiksi muuntuvien satelliittisolujen määrän lisääntyminen näyttäisi olevan koholla 4 päivän ajan yhdenkin kovaintensiteettisen eksentristä työtä sisältävän voimaharjoituksen jälkeen (Crameri 2004). Muita lihaksen poikkipinta-alan kasvua aiheuttavia tekijöitä ovat mahdollisesti hyperplasia eli lihassolujen jakautuminen, muutokset lihassolutyypeissä, myofilamenttien tiheys sekä lihasjännekompleksin rakenteelliset muutokset. Hermostopuolella tapahtuu myös adaptaatioita maksimivoimaharjoittelun seurauksena: *Lihasten välisen koordinaation paraneminen, agonistilihasten aktivaation kasvu ja antagonistien aktivaation heikentyminen, impulssitiheyden kasvu ja impulssien summaation paraneminen sekä selkädinrefleksien muutokset* ovat kaikki maksimivoimaharjoittelun aikaansaamia hermostollisia adaptaatioita. (Folland & Williams, 2007).

Voimaharjoittelun adaptaatiot ovat *spesifejä* harjoitusmenetelmälle. Esimerkiksi Tillin ja Folland (2014) selvittivät tutkimuksessaan räjähtävän voimaharjoittelun ja maksimivoimaharjoittelun eroja 4-viikkoa kestäneessä harjoittelututkimuksessa, maksimivoimaryhmä paransi maksimaalista voimantuottoa selvästi räjähtävää voimaharjoittelua tehnyttä ryhmää enemmän, mutta toisaalta räjähtävää harjoittelua tehnyt ryhmä kehittyi ensimmäisen 100 millisekunnin aikana tuotetun voiman määrässä ja maksimivoimaryhmä ei (Tillin & Folland 2014) Voimaharjoittelututkimuksista on saatu myös tuloksia joissa dynaaminen voima on kasvanut suhteessa isometristä enemmän, kun harjoittelu on ollut dynaamista (Folland & Williams, 2007). Voimaharjoitteluadaptaatioiden syntymiseen tarvittavina yksittäisinä stimulaatioina pidetään lihassupistuksen kestoa (engl.

time under tension) sekä kuorman määrää (Crewther ym. 2005). Edellämainittuja elementtejä pystytään kerryttämään eri tavalla kontrolloimalla harjoituksen sarjapituuksia, kokonaisvolyymia, intensiteettiä sekä sarjapalautuksia.

2.1 Hypertrofisen harjoittelun adaptaatiot

Hypertrofisella harjoittelulla viitataan harjoitteluun, jonka tavoitteena on kehon lihasmassan kasvu eli lihasten hypertrofia. Hypertofian seurauksena lihaksen supistuvat elementit kasvavat ja solun ulkopuolinen matriisi kasvaa tukemaan kasvua. Hypertofiaa voi tapahtua lisäämällä supistuvia komponentteja sarjaan tai rinnan. Hypertrofia voidaan erottaa hyperplasiasta eli lihassolujen määrän lisääntymisestä. (Schoenfeld 2010.)

Hypertrofista harjoittelua seuraavilla morfologisilla adaptaatioilla tarkoitetaan lihaksen fyysisessä olemuksessa näkyviä muutoksia ja niihin kuuluvat lihaksen kokonaispoikkipinta-alan kasvu, lihassolutyypin muutokset, lihaksen tiheyden muutokset sekä lihasten ja jänteiden arkkitehtuuriset muutokset, kuten lihasten pennaatiokulman kasvu (Folland & Williams, 2007).

Lihaksen kokonaispoikkipinta-alan kasvun suuruuteen vaikuttavat erilaisten harjoitteluvasteiden lisäksi ikä, sukupuoli ja harjoitettava lihasryhmä (Folland & Williams, 2007). Lihasten on todettu kasvavan harjoittelun seurauksena voimakkaammin ylävartalossa kuin alavartalossa (mm. Welle ym. 1996). Iän vaikutuksesta lihaskasvuun on vielä jonkin verran epäselvyyksiä, mutta näyttäisi siltä, että absoluuttisen lihasmassan kasvu on pienempää vanhemmissa ikäluokissa, joskin suhteellinen kasvu näyttäisi joidenkin tutkimusten mukaan olevan samankaltaista (Roth ym. 2001 ja Ivey ym. 2000).

Lihaksen kokonaispoikkipinta-alan kasvu näyttäisi tapahtuvan pääasiassa yksittäisten lihasfiiberien poikkipinta-alan kasvun kautta. Fiiberien poikkipinta-alan kasvua on havaittu suurimassa osassa tutkimuksista, joissa kyseistä asiaa on tarkasteltu. Esimerkiksi Aagard ym. (2001) havaitsivat + 16 %, 14 viikon harjoittelujakson jälkeen sekä MacDougall ym. (1980) + 27 % tyypin 1 ja + 33 % kasvua tyypin 2 –lihassoluille (Aagard ym. 2001, MacDougall ym. 1980). Tyypin 2 lihassoluissa on havaittu suurempaa ja nopeampaa poikkipinta-alan kasvua kuin tyypin 1 lihassoluissa. Häkkinen ym. (1981) havaitsivat, että tyypin 2 lihassoluissa tapahtuu hypertrofiaa nopeammin kuin tyypin 1 lihassoluissa (Häkkinen ym. 1981).

Myös solujen tyypissä näyttää tapahtuvan muutoksia etenkin voimaharjoittelun alkuvaiheessa, jolloin tyypin 2x solut näyttäisivät jonkin verran muuttuvan tyypin 2a soluiksi ihmisillä (Adams 1993, Caiozzo 1996). Häkkinen ym (1998) havaitsivat 2A solujen suhteellisen osuuden kasvua ja 2X solujen suhteellisen osuuden pienenemistä 10-viikon progressiivisen voimaharjoittelujakson jälkeen (Häkkinen ym. 1998). Williamson ym. (2001) puolestaan havaitsivat Myosiini 2A tyyppiä sisältävien solujen osuuden kasvaneen 24% naisilla ja 27% miehillä 12-viikon voimaharjoitteluintervention seurauksena (Williamson ym. 2001).

MacDougall ym. (1980) tutkivat myofibrillien kasvua ja määrän lisääntymistä ja havaitsivat selvästi myofibrillien määrän lisääntymistä (jopa 3 –kertainen määrä myofibrillejä näytteessä voimaharjoitteluintervention jälkeen) yhdessä myofibraalisen pinta-alan ja lihasfiiberien pinta-alan kasvun kanssa (lihasfiiberien pinta-alan kasvaessa 2 –kertaisesti myofibrillien pinta-alaan nähden) (MacDougal ym. 1980). Mekanisiksi myofibrillien määrän kasvuun on ehdotettu Z-levyjen repeytymisiä ja näin ollen fibrillin pitkittäissuuntaista halkeamista. Kyseinen mekanismi rajoittaa fibrillien kokoa ja mahdollistaa niiden tehokkaan säätelyn ja ohjaamisen. Tähän mekanismiin perustuvaa

myofibrillien määrän kasvua on havaittu eläinkokeissa sekä lintujen että kalojen lihasten kasvaessa. (Folland & Williams, 2007.)

2.2 Maksimivoimaharjoittelun adaptaatiot

Tahdonalainen voimantuotto muodostuu hyvin pitkälti kahdesta komponentista: motoristen yksiköiden aktivoinnista ja niiden aktivointitiheydestä (engl. rate coding). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mitä enemmän motorisia yksiköitä on aktivoitu ja mitä suuremmalla taajudella nämä aktivoituvat motoriset yksiköt syttyvät sitä suurempi on voimantuotto. (Komi 2002, s.44) Kun kaikki motoriset yksiköt on rekrytoitu, hermoston tehtävä maksimivoiman tuoton lisäämiseksi on kasvattaa näiden motoristen yksiköiden syttymistaajutta (eli kasvattaa impulssitiheyttä, jolla niitä aktivoidaan), synkronoida niiden aktivoitumista sekä lisätä niin kutsuttujen lähekkäisten tuplasyttymisten eli duplettien määrää. Lihastasolla puolestaan puhutaan agonisti- (päävaikuttaja) ja synergisti- (avustaja) lihasten aktivaation kasvattamisesta ja antagonistien (vastavaikuttaja) aktivaation pienentämisestä. (Folland & Williams 2007.)

Voiman- ja myös tehontuoton kannalta tärkeä hermostollinen adaptaatio on korkean kynnyksen motoristen yksiköiden eli tyypin 2 motoristen yksiköiden rekrytointikyky. Motoristen yksiköiden kokoperiaatteen (engl. size principal) mukaan kakkostyyppin suuret motoriset yksiköt aktivoituvat vasta voimantuoton ollessa lähes maksimiallisella tasolla. (Cormie ym. 2011a)

Pinta-elektromyografia eli pinta-EMG on ollut tutkijoiden käytössä jo useita vuosikymmeniä ja sen avulla on pyritty selvittämään lihasten aktivoinnin muutoksia sähköisen aktiivisuuden perusteella (Folland & Williams 2007). Useissa tutkimuksissa onkin havaittu agonistilihasten aktiivisuuden kasvua, varsinkin harjoittelun alkuvaiheessa

(Häkkinen & Komi 1983, Häkkinen ym. 1998; Komi ym. 1978 ja Moritani ym. 1979) Impulssitiheyden kasvua on havaittu tapahtuvan voimaharjoittelun seurauksena lihaksen sisältä mitattujen EMG-arvojen avulla. Pinta-EMG -mittauksissa ei havaittu muutoksia motoristen yksiköiden mediaanifrekvenssissä. Lihaksen sisäinen EMG antaa kuitenkin paremmat välineet yksittäisten motoristen yksiköiden tutkimiseen. (Folland & Williams 2007) Motoristen yksiköiden impulssitiheyden kasvusta voimaharjoittelun seurauksena on raportoitu useissa tutkimuksissa (esim. Van Cutsem 1998 ja Patten 2001).

Synkronointi tarkoittaa eri motoristen yksiköiden lähes samanaikaisia syttymistä eli korrelaatiota näiden motoristen yksiköiden syttymisajankohtien välillä. Voimaharjoitteleilla yksilöillä on havaittu suurempaa motoristen yksiköiden synkronointia kuin harjoittelemattomilla. (Milner-Brown 1975). Motoristen yksiköiden synkronoinnin merkitystä voimantuoton kannalta ei kuitenkaan tarkkaan tiedetä (Folland & Williams 2007).

Antagonistien aktivaatio suorituksen aikana vaikuttaa heikentävästi voimantuottoon. Ensinnäkin antagonistien aktivointi tuottaa voimaa vastakkaiseen suuntaan haluttuun liikesuuntaan nähden, joka luonnollisesti syö maksimaalista voimantuottoa. Tämän lisäksi antagonistien aktivoinnista kulkeutuvat inhibiiovasteet estävät agonistilihasta saavuttamasta täyttä voimantuottopotentiaaliaan. (Folland & Williams 2007.) Tietyn asteinen antagonistiaktivaatio on kuitenkin välttämätöntä nivelten stabiilisuuden säilyttämiseksi, paineen jakamiseksi tasaisesti nivelpinnalle ja nivelen mekaanisen impedanssin säätelemiseksi (Baratta ym. 1988).

Harjoittelututkimuksista Carolan & Cafarelli (1992) havaitsivat 8 viikkoa kestäneen (3 kertaa viikossa, 30 maksimaalista tahdonalaista supistusta /kerta) isometrisen voimaharjoittelun seurauksena 32,8 % kehityksen maksimaalisessa tahdonalaisessa supistuksessa (MVC). Pinta-EMG:an avulla ei löydetty kasvua agonistien aktiivisuudessa,

mutta antagonistien (takareiden) koaktivaatio pieneni harjoitusjakson aikana 20 % (Carolan & Cafarelli, 1992). Myös Häkkinen ym (1998) havaitsivat isometrisessä jalkadynamometrissä antagonistilihasten (m. biceps femoris) pinta-EMG aktiivisuuden pienenemistä voimaharjoittelun seurauksena (Häkkinen ym. 1998). Toisaalta De Boer ym. (2006) havaitsivat, että vanhoilla naisilla plantaarifleksion antagonistilihasten koaktivaatio kasvoi voimaharjoittelun seurauksena, minkä arveltiin johtuvan kasvaneesta nivelen stabilointitarpeesta kehittyneen voimantuoton johdosta (De Boer ym. 2006).

2.3 Nopeusvoimaharjoittelun adaptaatiot

Monissa lajeissa pelkkä kyky tuottaa maksimaalista voimaa ei riitä, vaan voimaa pitää saada tuotettua mahdollisimman paljon tietyssä rajoitetussa ajassa. Nopeusvoimaharjoitteluun sisältyy monentyyppisiä harjoitteita, mutta kaikkia yhdistää tavoite kehittää hermoston voimantuottonopeutta erisuuruksilla kuormilla (Haff & Nimphius 2012). Teho voidaan nopeusvoimaharjoittelun yhteydessä määritellä kuorman ja liikenopeuden tuloksi. Maksimaaliseen tehontuottoon pyritään esimerkiksi olympianostoissa ja ballistisissa kyykkyhypyissä, kun taas lihaksen venymis-lyhenemissykluksen käyttöä ja voimantuottoa rajoitetussa ajassa harjoitellaan plyometrisillä harjoitteilla. (Dawes ym. 2012.)

Nopeusvoimaharjoittelu saa harjoittelemattomissa yksilöissä aikaan lähes samankaltaisia adaptaatioita kuin maksimivoimaharjoittelu. Eräissä tutkimuksissa on kuitenkin havaittu myös spesifejä muutoksia varsinkin voimantuottonopeuden (RFD) (Tillin ym 2014) sekä funktionaalisen suorituskyvyn (CMJ) suhteen (Lamas ym. 2007). Lisäksi Haff (2001) totesi, että räjähtävä harjoittelu johtaa korkeampiin lihaksen aktivaation iEMG:lla mitattuna sekä nopeampaan voimantuottoon isometrisessä suorituksessa kuin voimaharjoittelu (Haff 2001).

Lamas ym. (2007) tutkivat voimaharjoittelun ja tehoharjoittelun eroja 8-viikkoisen harjoitusjakson sisältävässä tutkimuksessaan. Kyseisessä tutkimuksessa tarkasteltiin esimerkiksi maksimivoiman, lihasaktiivisuuden sekä staattisen- ja esikevennyshypyn muutoksia. Muissa muuttujissa ei ryhmien välillä havaittu merkitseviä eroja, mutta tehopainotteisesti harjoitellut ryhmä paransi esikevennyshyppytulostaan merkitsevästi (+8%, $p \leq 0.05$) kun taas voimapainotteisesti harjoitelleella ryhmällä tilastollisesti merkitsevää parannusta ei tapahtunut. (Lamas ym. 2012). Häkkinen ja Komi (1985) havaitsivat räjähtävän harjoittelun vaikuttavat voima-aika –käyrään, siten että räjähtävä harjoittelu jyrkensi käyrää (lyhyemmässä ajassa tuotettiin enemmän voimaa) lisäksi tämä muutos korreloi kasvaneen FT (fast twitch) / ST (slow twitch) –lihassolusuhteen kanssa (Häkkinen & Komi 1985).

2.3.1 Motoristen yksiköiden rekrytointi

Motoriset yksiköt noudattavat suurimmassa osassa lihastyötä vaativia liikkeitä aktivoituessaan Hennemanin kokoperiaatetta (Henneman's size principal) eli pienemmät motoriset (matalan rekrytointikynnyksen omaavat) yksiköt aktivoituvat ennen suuria (korkean rekrytointikynnyksen omaavat). Tämä ilmiö on selkeä suorituksissa, missä maksimivoima nostetaan tasaisesti maksimiarvoonsa mutta kyseenalainen nopeaa voimantuottoa vaativissa ballistisissa suorituksissa (Desmedt & Godaux, 1976). Harjoittelemattomat ihmiset eivät välttämättä kykene rekrytoimaan nopeusvoimasuorituksissa vaadittaviin korkeisiin teholumemiin tarvittavia korkean kynnyksen eli tyypin 2 motorisia yksiköitä

Desmedt & Godaux (1976) havaitsivat, että yksittäisen motorisen yksikön syttymistiheys on paljon pienempi hitaissa ramppimaisissa supistuksissa (5-15 astetta/sekunti) kuin ballistisissa suorituksissa (60-120 astetta/sekunti). Suuri syttymistiheys näytti olevan tyypillistä ballistiselle suorituksille, sillä syttymistaajuus ei kasvanut juurikaan vaikka

ramppimaisen supistuksen nopeutta kasvatettiin. (Desmedt & Godaux 1976.) Ballistisen suorituksen aikana rekrytointijärjestys näyttäisi kuitenkin pääosin säilyvän kokoperiaatteen mukaisena ja pienet muutokset rekrytointijärjestyksessä saattavat johtua suurempien motoristen yksiköiden suuremmasta johtumisnopeudesta aksonissa lähes samanaikaisen nopean aktiivisuuspurkauksen aikana (Komi 2002, s. 322).

Van Cutsem ym. (1998) tutkimuksessa koehenkilöt harjoittelivat 12 viikkoa ja harjoittelu koostui nopeista ballistisista supistuksista. Harjoittelun seurauksena ilmeni motoristen yksiköiden aikaisempaa rekrytointia suorituksissa, enemmän dupletteja ja korkeampaa motoristen yksiköiden syttymistaajuutta. Yksittäisten motoristen yksiköiden syttymistiheydet kasvoivat kolmen ensimmäisen syttymisintervallin motoristen yksiköiden keskiarvoina seuraavasti: ennen harjoittelua 98,0; 75,1 ja 58,0 Hz ja harjoittelun jälkeen 182,1, 127,9 ja 130,3 Hz. Dupletien näytteissä esiintymisen prosentuaalinen osuus kasvoi harjoittelun seurauksena 5,2%:sta 32,7%:iin. (Van Cutsem ym. 1998).

Komi (2002) on todennut, että motoriset yksiköt noudattavat normaalissa tilanteessa syttyessään kokoperiaatetta ja myös, että suuret motoriset yksiköt syttyvät pieniä suuremmalla frekvenssillä. Komi (2002, s. 35) ehdottaa myös, että erikoistapauksissa (kuten hätätilanteessa tai urheilukilpailussa) tai pitkään jatkuneen korkeaintensiteettisen harjoittelun seurauksena suuret motoriset yksiköt voisivat syttyä äkillisesti ja suurella taajudella saaden voimantuoton kohoamaan hetkellisesti. Myös niin kutsuttuja dupletteja uskotaan tapahtuvan huippu-urheilijoilla normaaliväestöä enemmän. (Komi 2000 s.35.)

Kokoperiaatteesta johtuen submaksimaalisissa (esimerkiksi 20% 1RM) suorituksissa aktivoituu vain murto-osa niistä motorisista yksiköistä, jotka aktivoituisivat 1RM suorituksessa. Kun tämä yhdistetään tietoon, että vain ne motoriset yksiköt kehittyvät, joita aktivoidaan (Fleck ym. 1999), voidaan vetää johtopäätös, että suurten yksiköiden aktivoimiseksi ja näin ollen myös kehittämiseksi täytyy tehdä joko korkeaintensiteettistä

voimaharjoittelua tai motoriset yksiköt on kyettävä aktivoimaan muilla tavoin kuten räjähtävillä ballistisilla suorituksilla. Lainaten Kawamori & Haff (2004) review-artikkelia: ”Vaikkakin motoriset yksiköt noudattavat yleensä kokoperiaatetta, suuremmat motoriset yksiköt voivat syttyä ennen pienempiä motorisia yksiköitä ballististen suoritusten aikana” (Kawamori & Haff 2004).

2.3.2 Voimantuottonopeus (RFD)

Voimantuottonopeudella (Rate of force development = RFD) ilmaistaan kuinka nopeasti hermolihasjärjestelmä kykenee tuottamaan voimaa urheilusuorituksen aikana. (Haff & Nimphius 2012). Yleisimmin voimantuottonopeus määritellään voiman muutoksen suhteella ajan muutokseen. Voimantuottonopeutta voidaan tarkastella eri aikaikkunoista, mutta nopeusvoiman monien lajien kannalta tärkeä aikaikkuna on 50-250 ms, sillä nämä ajat liitetään yleisesti hyppäämiseen, juoksemiseen ja suunnanvaihdoksiin liikkeessä. Maksimaaliseen voimantuottoon kuluu yleensä aikaa yli 300 ms, joten on epätodennäköistä, että edellämainitulla aikaikkunalla saavutettaisiin maksimivoimaa. (Haff & Nimphius 2012). Hermolihasjärjestelmän voimantuottoon vaikuttavat lihastyötapo, voimantuottoaika, elastisen energian varastointi ja vapauttaminen, elastisten ja supistuvien komponenttien vuorovaikutus ja potentioituminen sekä venytysrefleksit (Cormie 2011a).

Motoristen yksiköiden kasvanut syttymistiheys vaikuttaa voimantuottoon kahdella tapaa, ensinnäkin voimaa saadaan tuotettua enemmän sillä poikkisiltasyklien summaatio kasvaa kasvaneen syttymistiheyden myötä ja toisaalta voimantuottonopeus kasvaa, sillä poikkisiltasyklejä ehtii korkeamman syttymistiheyden ansiosta tapahtua enemmän lyhyessä ajassa (Cormie 2011a). Räjähtävään voimaan keskittyvällä harjoittelulla on havaittu suurempia lihasaktiivisuuden kasvuja ja positiivisia muutoksia isometrisessä voimantuottonopeudessa verrattuna normaaliin voimaharjoitteluun (Haff & Nimphius 2012).

Toisaalta Tillin ym. (2014) havaitsivat suurempaa kasvua maksimivoimassa (MVF) maksimivoimaharjoittelun jälkeen kuin nopeusvoimaharjoittelun jälkeen ja myös lihasten aktivaatio pinta-EMG:lla mitattuna kasvoi kaksinkertaiseksi. Samassa tutkimuksessa havaittiin aikaisen vaiheen (ensimmäiset 100 millisekuntia) voiman kasvavan räjähtävää harjoittelua suorittaneella ryhmällä, mutta ei maksimivoimaharjoittelua suorittaneelle ryhmällä. Tämä tukee konsensusta harjoittelumuotospesifeistä adaptaatioista hermolihasjärjestelmässä. (Tillin ym. 2014.)

2.4 Yhdistetty harjoittelu

Kun yhdistetään maksimi- ja nopeusvoiman harjoittelu, saadaan yleensä aikaan parempia tuloksia voiman, tehontuoton ja funktionaalisen toimintakyvyn kannalta kuin kummallakaan harjoitusmuodolla yksinään (Haff & Nimphius 2012). Tästä hyvänä esimerkkinä Harris ym. (2000) harjoittelututkimus, jossa kolme ryhmää harjoitteli erilaisilla metodeilla KV (Korkea voima) KT (Korkea teho) ja YH (Yhdistetty harjoittelu). Mitattavina muuttujin oli yhteensä yhdeksän: 1RM vaakakyykystä, 1RM 1/4 kyykystä, 1RM reisiltä veto, vertikaalihyppy (VJ), vertikaalihypyn teho, Margaria-Kalamen tehotesti (MK), 30-m juoksu, 10-jaardin sukkulajuoksu (10-yd) sekä vauhditon pituushyppy (SLJ). KV ryhmä kehittyi neljässä muuttujassaa (4/9), KT ryhmä viidessä muuttujassa (5/9) ja YH –ryhmä peräti seitsemässä muuttujassa (7/9). (Harris 2000.) Näyttäisi siis, että yhdistetty maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelu on funktionaalisten suorituskykymuuttujien kannalta tehokkaampaa kuin kumpikaan erikseen.

Yhdistetyssä harjoittelussa on myös se etu, että hermolihasjärjestelmä kykenee adaptoitumaan kasvaneisiin voima- ja voimantuotonopeusarvoihin koko ajan jolloin kasvaneen maksimivoiman funktionaalisuus lajin kannalta säilyy. Nopeusvoimasuorituksissa ei ole hyötyä sellaisesta maksimivoimasta, jota ei saada hyödynnettyä lajisuorituksessa. Harjoittelussa voidaankin puhua niin kutsutusta ”yleisvoima

- lajivoima jatkumosta”, jolla tarkoitetaan yleisempien voimaominaisuuksien viemistä erilaisin harjoittein hyödyksi varsinaisessa lajisuorituksessa.

3. NOPEUSVOIMAHARJOITTELUN PERIAATTEET

Monissa lajeissa pelkkä absoluuttinen tai edes suhteellinen maksimivoima ei ratkaise suorituksia vaan tärkeämpää on saada tuotettua mahdollisimman paljon voimaa mahdollisimman nopeasti. Näissä suorituksissa ratkaisevaa on tehontuotto (Newton ym. 1994). Lihastyöstä puhuttaessa teho on voima x nopeus, joten molempia komponentteja täytyy kehittää. Tehontuotto-ominaisuuksiin tähtäävä harjoittelu voidaan karkeasti jakaa kolmeen osaan voimantuoton ja voimantuottonopeuden kannalta: (1) Suuri voimantuotto ja matala suoritusnopeus, (2) keskinkertainen voimantuotto ja keskinkertainen suoritusnopeus sekä (3) matala voimantuotto ja suuri voimantuottonopeus. (Haff & Nimphius 2012). Harjoittelututkimuksissa on havaittu, että vain yhteen osa-alueeseen keskittyminen ei johda parhaisiin tuloksiin urheilusuorituksen kannalta, vaan suositeltavaa on käyttää näiden yhdistelmää (mixed method training). (Haff & Nimphius 2012.) Nopeuvoimaharjoittelua teetettäessä täytyy muistaa, että se on osittain spesifiä harjoitettavalle liikkeelle (movement pattern specificity), liikkeessä käytettävälle kuormalle (load specificity) sekä liikenopeudelle (velocity specificity) (Cormie ym. 2011, McBride ym. 2002, Moffroid ym. 1970).

Liikespesifisyys tarkoittaa sitä, että kyky tuottaa maksimaalista tehoa dynaamisissa moninivelliikkeissä on riippuvainen liikkeen laadusta. Tästä syystä urheilusuoritukseen kehittämiseen tähtäävät liikkeet tulisi valita huolella vastaamaan mahdollisimman hyvin urheilusuoritusta. (Cormie ym. 2012b). Painonnostoliikkeet sekä ballistiset- ja plyometriset tehoharjoitteet ovat pääsääntöisesti spesifimpiä monille urheilusuorituksille kuin perinteiset voimannostoliikkeet tai laitteilla suoritettavat voimaharjoitteet, jonka takia niitä suositellaan käytettäväksi maksimaaliseen tehontuottoon tähtäävissä ohjelmissa. Voimannostoliikkeiden on tosin havaittu toimivan tehontuoton kehittämisessä aloittelijoilla, mutta pidempään harjoitelleilla edes niiden suorittaminen mahdollisimman tehokkaasti ei tunnu toimivan,

sillä ne sisältävät aina jarrutusvaiheen. (Cormie ym. 2012b). Hermolihasjärjestelmän tekemää jarrutustyötä voidaan kuitenkin pienentää käyttämällä vastuskumeja jolloin liikkeen loppuvaiheen voiman- ja tehontuotto kasvaa verrattuna liikkeen tekemiseen ilman vastuskumeja (Israeterel ym. 2010).

Kuormaspesifisyys pätee varsinkin kun puhutaan suurista moninivelliikkeistä ja tarkoittaa, että kunkin liikkeen suoritus kehittyy eniten sillä kuormalla, millä sitä on harjoiteltu (sekä jonkin verran tämän kuorman alapuolella olevilla kuormilla). Tästä esimerkkinä McBride ym. tutkimus, jossa 8 viikon kyykkyhyppyharjoittelulla 80% 1RM:sta saavutettiin kehitystä 80% ja 55% prosentoin kuormilla, mutta ei muutosta 30% kuormilla (McBride ym. 2002).

Liikenopeusspesifisyys tarkoittaa sitä, että harjoittelun adaptaatiot tapahtuvat lähellä sitä liikenopeutta, mitä on käytetty harjoittelussa (Moffroid ym. 1970). Joskin toisen teorian mukaan adaptaatioin vaikuttaisi enemmän pyrkimys liikuttaa kuormaa mahdollisimman räjähtävästi enemmän kuin itse suoritusnopeus. (Behm & Sale 1993). Näiden kahden teorian välillä ei näyttäisi olevan sinänsä ristiriitaa, mutta ne saattavat aiheuttaa hämmennystä. Urheilijan tulisi valita harjoitusohjelmaansa sellaisia kuormia joissa liikenopeus on mahdollisimman lähellä lajisuoritusta ja yrittää tehdä nämä liikkeet mahdollisimman räjähtävästi, sillä sekä aikomus suoriutua nopeasti että itse suoritusnopeus näyttäisivät olevan tärkeitä stimuluksia tehontuoton kehittymiselle. (Cormie ym. 2011).

Suuri voimantuotto ja matala suoritusnopeus on kyseessä, kun suoritetaan maksimivoimaharjoittelua. Vaikka maksimivoimaharjoittelu ei suoranaisesti tähtää tehontuoton tai nopeusvoimaominaisuuksien maksimointiin, se on kuitenkin oleellinen elementti näiden kehittämässä (Haff & Nimphius, 2012). Useiden tutkimusten perusteella voidaan todeta, että vahvemmat henkilöt (syväkyykyn 1RM vähintään kaksi kertaa kehonpaino) kykenevät tuottamaan suurempia tehoarvoja kuin heikommat henkilöt (syväkyykyn 1RM 1,4 ja 1,7 kertaa kehonpaino) (Mukaiiltu Haff & Nimphius 2012.)

Keskinkertaisesta voimantuotosta ja keskinkertaisesta suoritusnopeudesta on kyse, kun suoritetaan tehoharjoittelua esimerkiksi voimanostoliikkeissä kuten kyykky tai penkkipunnerrus. Näissä liikkeissä tehontuoton maksimoimiseen soveltuvat kuormat liikkuvat 30-60% välillä (Kawamori & Haff 2004).

Kirjallisuutta tarkastellessa havaitaan, että yksinään maksimivoima tai nopeusvoimaharjoittelu ei johda voiman, tehontuoton ja urheilun kannalta parhaisiin tuloksiin vaan suositeltavaa on käyttää yhdistettyä harjoittelua (mixed-methods training) parhaan tuloksen saavuttamiseksi (Haff 2004). Nopeusvoimaharjoittelun, kuten minkä tahansa harjoittelun tulisi noudattaa jaksotusta pidempiaikaisen kehityksen takaamiseksi. Jaksotettu harjoittelu on monotonista harjoittelua tehokkaampaa suorituskyvyn kehittymisen kannalta (Willoughby 1993).

3.1 Optimaalinen kuorma ja optimitehoalue

Optimikuormalla viitataan siihen prosentuaaliseen osuuteen yhden toiston maksimista (1RM), jolla kussakin liikkeessä kyetään tuottamaan suurin mahdollinen teholumema (Kawamori & Haff 2004). On myös ehdotettu optimaalisella kuormalla harjoittelemisen kehittäisi tehontuottoa kaikista parhaiten (Haff 2004). Koska tarkan optimaalisen kuorman määrittäminen jokaiselle yksittäiselle urheilijalle olisi melko työlästä ja tämä kuorma muuttuisi melko nopeasti harjoittelun seurauksena – puhutaan yleensä optimikuorman sijasta *optimitehoalueesta*. Optimitehoalue on tutkimustiedon perusteella arvioitu rajattu alue, jolla tietyssä liikkeessä on todettu saavutettavan maksimaalisia tehoarvoja. Maksimaalinen tehontuotto on spesifiä sekä liikkeelle, että kuormalle (Haff 2004). Näyttäisi myös, että se on spesifi myös harjoitustaustalle, sillä Pazin ym. (2010) havaitsivat

polkupyöräergometrilla suoritettussa tutkimuksessa eri harjoitustaustaisten henkilöiden saavuttavan maksimaalisen tehontuoton erilaisilla prosentiosuuksilla (Pazin ym. 2011).

On oletettu, että kullekin liikkeelle löytyy kuorma, jolla saavutetaan maksimaalinen tehontuotto. (Pazin ym. 2011). Suurimmat hetkittäiset teholutumukset on todettu saavutettavan omalla kehonpainolla tehtävissä hyppysuorituksissa (jopa 6000W) ja optimitehoalueeksi ballistiselle kyykkyhypylle onkin ehdotettu 0-30% 1RM. Vastaavasti (ei-ballistisessa) takakyykyssä parhaat tehot löytyvät 40-60% 1RM ja painonnostoliikkeissä (tempaus, rinnalleveto) 70-85% 1RM. (Haff & Nimphius 2012). Lisäksi on esitetty myös tehontuotoltaan parhaita alueita penkki-punnerrukselle (30-70% 1RM), tehoa mittaaville pyöräilytesteille (5-10% kehonpainosta) ja jalkaprässille (60-68% 1RM) (Pazin ym. 2011). Tiivistetysti voidaan todeta, että 0-30% 1RM kuormalla suoritettavat ballistiset harjoitteet ja 50-90% 1RM terävästi suoritettavat voima- ja painonnostoliikkeet ovat parhaita stimuluksia tehontuoton kehittymiselle (Haff & Nimphius 2012).

Alaraajojen lihasten maksimaaliseen tehontuottoon on esitetty teoria maksimaalisesta dynaamisesta tehosta (maximal dynamic output), joka tarkoittaa, että vertikaalisissa hyppyissä maksimaalinen tehontuotto tapahtuisi kehonpainolla. Nuzzo ym. (2010) havaitsivat, että harjoitustaustasta ja kehonpainosta riippumatta suurimmat tehot vertikaalihypyssä saavutettiin omalla kehonpainolla. Koehenkilöinä toimi 6 kappaletta harjoitelleita (takakyykyn $1RM = 1,94 \times kehonpaino \pm 0,24$) sekä 6 kappaletta harjoittelemattomia ($0,94 \times kehonpaino \pm 0,18$) koehenkilöitä, jotka suorittivat esikevennyshyppyjä kuormilla kehonpainon ympäriltä (sekä kehonpainoa pienemmillä, että suuremmilla kuormilla). Tulokset osoittivat, että molemmilla ryhmillä kehonpainolla suoritettu esikevennyshyppy oli tehoiltaan merkitsevästi suurempi kuin millään muulla kuormalla. (Nuzzo ym. 2010).

Suzovic ym. (2013) vahvistivat hypoteesia maksimaalisesta dynaamisesta tehosta alaraajojen lihaksille testaamalla esikevennyshypyn ja staattisen hypyn tehoarvoja erilaisilla kuormilla jotka vaihtelivat välillä -40% - 40% kehonpainosta. Koehenkilöitä tutkimuksessa oli 13kpl (n = 13) ja kaikilla sekä maksimaalinen, että keskiarvoinen teho löytyi melko läheltä kehonpainoa (väliltä -3 ja +8% kehonpainosta). (Suzovic ym. 2013).

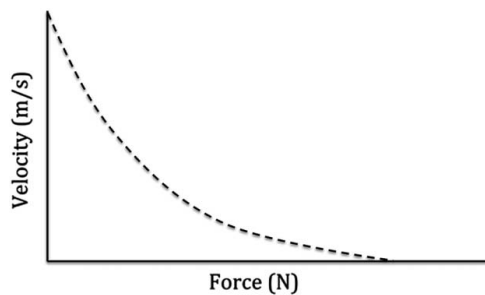
Vaikka koko kehon tuottama teho onkin suurin kehonpainolla on havaittu että tiettyjen lihasten tuottama teho saattaa kasvaa suurempiin kuormiin siirryttäessä, esimerkkinä pakarat (m. gluteus maximus) jonka eristetty tehontuotto kyykkyhypyssä on havaittu kasvavan 42% 1RM kuormille asti. (Moir ym. 2012)

3.2 Voimantuottonopeuteen vaikuttavat tekijät

Haff (2001) on luetellut kuusi voimantuottonopeuteen vaikuttavaa päätekijää: Motoristen yksiköiden rekrytointi ja aktivointimallit, syttymistiheys, synkronointi, hermostollinen inhibointi, lihaksen poikkipinta-ala ja motoristen yksiköiden tyyppi (Haff 2001).

Lihaksen kyky tuottaa voimaa on lisäksi riippuvainen voima-nopeus suhteesta. Voima-nopeus suhde tarkoittaa käytännössä sitä, että konsentrisessa lihastyössä lihaksen supistusnopeuden kasvaessa sen voimantuotto heikkenee. Voimantuoton heikkeneminen suurilla nopeuksilla puolestaan johtuu siitä, että poikittaissillat vaativat aikaa kiinnittyäkseen ja irrottuakseen toisistaan ja koska lihaksen tuottama voima riippuu poikittaissiltojen määrästä johtaa tämä siihen, että lihaksen tuottama maksimiteho löytyy submaksimaalisilta voima- ja nopeusarvoilta. (Cormie ym. 2011a.) Toisin sanoen

maksimaalinen tehontuotto on kompromissi kuorman ja liikenopeuden välillä (Haff & Nimphius 2012).



KUVA 1. Voima-nopeus riippuvuuden peruskuvaaja konsentrisessa lihastyössä. (Haff & Nimphius 2012).

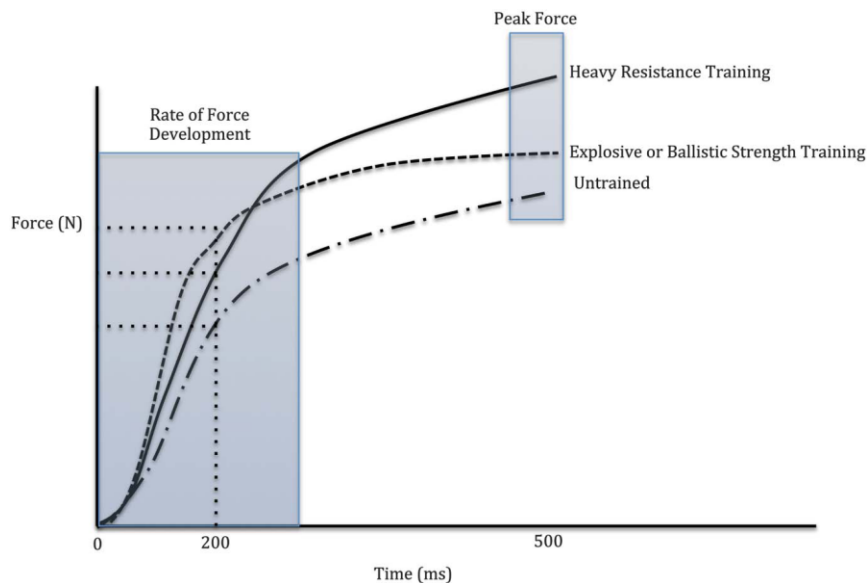
Lihaksen kykyyn tuottaa voimaa vaikuttaa myös morfologiset seikat, kuten lihassolujakauma. Useissa tutkimuksissa on osoitettu tyypin 2 lihassolujen olevan kykeneviä tuottamaan suurempia tehoarvoja kuin tyypin 1 lihassolut (Cormie 2011). Faulkner ym. (1986) tutkivat lihassolujen ominaisuuksia 37 celciusasteessa ja tyypin 2 lihassolujen havaittiin saavuttavan kolminkertaisia supistumisnopeus- ja nelinkertaisia maksimitehoarvoja verrattuna tyypin 1 lihassoluihin (Faulkner ym. 1986).

3.3 Tehoprofiili ja sen muutokset harjoittelun seurauksena

Tehoprofiililla tarkoitetaan urheilijan kykyä tuottaa erilaisia teholumkia submaksimaalisilla kuormilla 1RM:sta. Tehoprofiili linkittyy myös vahvasti optimaaliseen

kuormaan, sillä tehoprofiilin avulla saadaan karkealla tasolla selville minkä tyyppistä harjoittelua ja millaisilla kuormilla urheilijan tulisi suorittaa.

Tehoprofiili voidaan karkeasti määrittää isometrisista suorituksista voima-aika käyrän avulla. Maksimivoiharjoittelun avulla voidaan kehittää hermolihasjärjestelmän kykyä tuottaa maksimaalista voimaa korkeammalle kuin nopeusvoimaharjoittelulla, kun taas ballistinen tai räjähtävä voimaharjoittelu voi kehittää voimantuottonopeutta maksimivoimaharjoittelua enemmän. (Haff & Nimphius 2012). Jalkojen ja lonkan korkeat voimatasot ovat yhteydessä maksimaalisen tehontuottoon vertikaalihypyssä (Haff 2001).



KUVA 2. Voima-aika käyrä isometrisessä lihastyössä ja sen mahdolliset muutokset harjoittelun seurauksena. (Haff & Nimphius 2012).

4 PALAUTTEEN JA VALVONNAN MERKITYS HARJOITUSVASTEeseen

4.1 Valvonnan ja palautteen merkitys

Valvonnan tehokkuudesta on positiivista tutkimustietoa ja näyttäisi vahvasti siltä, että valvonnan alaisuudessa harjoittelemineen johtaa suurempiin kehityksiin voimassa kuin ilman valvontaa harjoittelemineen (Coutts ym. 2004). Voimaharjoittelun katsotaan olevan valvottua, jos harjoittelijan harjoituksen suorittamiseen jossain vaiheessa puuttuu ulkoinen auktoriteetti eli valvoja. Valvoja voi esimerkiksi analysoida ja korjata tekniikkaa, motivoida sekä tarjota psykologista tukea (Baker 2001). Lisäksi valvoja voi tarkkailla ja korjata harjoitusadaptaation kannalta tärkeitä muuttujia kuten kuormia, sarjapituuksia ja palautusintervalleja (Gentil & Bottaro 2010).

Motivaatio harjoittelun aikana tarkoittaa ohjelman suorittajan halua harjoitella, korjata tekniikkaansa ja olla täsmällinen harjoittelun suhteen. Wilks (1994) toteaa myös, että motivaatio (varsinkin aloittelevilla harjoittelijoilla) on hyvin pikähti ohjaajan kontrolloitavissa ja kaksi tärkeintä keinoa tähän ovat tavoitteen asettelu ja suorituksen ”vahvistaminen”. Vahvistaminen voi tapahtua monilla keinolla, mutta tärkein näistä on verbaalinen kannustus. (Wilks 1994 s. 53-62)

Coutts ym. (2004) tutkimuksessa oli mukana 24 miespuolista koehenkilöä (ikä $16,7 \pm 1,1$ vuotta), jotka olivat kaikki rugbyliigan pelaajia. Koehenkilöjoukko jaettiin kahtia ja kaikki suorittivat saman 12-viikkoa kestäväen harjoitusohjelman, mutta toinen puoli suoritti sen valvonnan alla ja toinen ilman valvontaa. Ilman valvontaa harjoitellut ryhmä suoritti vähemmän harjoitusta ($55,9 \pm 10$) kuin valvottu ($62,4 \pm 3,3$) eli harjoitteluvolyymia ei tässä

mielessä oltu vakioitu. Tuloksissa havaittiin valvotun ryhmän kehittyneen merkitsevästi paremmin penkkipunnerruksen (+29,3% ja +15,3%) ja kyykyn (+40,1% ja 15,8%) 3RM tuloksissa valvotulle ja valvomattomalle ryhmälle. (Coutts ym. 2004).

Mazetti ym. (2000) saivat vastaavankaltaisessa 12 viikkoa kestäneessä voimaharjoittelututkimuksessa samankaltaisia tuloksia kuin Coutts ym. (2004). Tässä tutkimuksessa ei ryhmien välillä ollut eroa harjoituskerroissa. 1RM kehitykset penkkipunnerruksessa ja kyykyssä olivat $33\% \pm 4,2\%$ ja $22\% \pm 2,2\%$ valvotulle ryhmälle ja puolestaan $25\% \pm 3,4\%$ ja $15\% \pm 3,6\%$ valvomattomalle ryhmälle. (Mazetti ym. 2000.)

Gentil & Bottaro (2009) vertailivat kahden eri lailla valvotun ryhmän kehittymistä voimaharjoittelun seurauksena aiemmin harjoittelemattomissa aikuisissa. Toisessa ryhmässä oli paljon valvoja suhteessa urheilijoihin (1 valvoja 5:tä urheilijaa kohden) ja toisessa ryhmässä vähän valvoja (1 valvoja 25:tä urheilijaa kohden). Tutkittavilta testattiin penkkipunnerruksen 1RM ja vääntömomentti polven ojennuksessa ennen ja jälkeen 11 viikon harjoitusjaksoa. Se ryhmä, jossa oli suurempi osuus valvoja (suhde 1/5) kehittyi tilastollisesti merkitsevästi enemmän molemmissa liikkeissä verrattuna vähemmän valvontaa (suhde 1/25) saaneeseen ryhmään. Polven vääntömomentissa vain suuremman valvonnan ryhmä kehittyi merkitsevästi. Ryhmien välillä ei ollut eroja harjoitusvolyymissa tai harjoituksiin osallistumisessa. (Gentil & Bottaro, 2009.)

Tärkeä seikka nopeusvoimaharjoittelua valvoessa on myös liikkeiden ohjeistaminen, sillä Talpey ym. (2014) havaitsivat esikevennyshypyn suorittamiseen annetun kahden erilaisen ohjeistuksen vaikuttavan hypyn kinemaattisiin muuttujiin. 1. Ohjeistus oli ”hyppää niin korkealle kuin mahdollista” ja 2. ”Ojenna jalkasi niin nopeasti kuin mahdollista”. Kun koehenkilöitä pyydettiin ”hyppäämään niin korkealle kuin mahdollista” niin hypyn nousukorkeus ja huippunopeus olivat suurempia verrattuna toiseen ohjeistukseen, mutta

”ojenna jalkasi niin nopeasti kuin mahdollista” –ohjeistuksella huippuvoima oli suurempi. (Talpey ym. 2014.)

4.2 Nopeusvoimaharjoittelu ja väsymys

Akuutit muutokset lihasympäristössä vaikuttavat lihaksen voiman- ja tehontuottoominaisuuksiin. Näitä ovat esimerkiksi ionitasapainon muutokset sekä solunsisäisen aineenvaihdunnan tuotosten kertyminen soluun. Myös akuutit hormonivasteet ja lihaksen lämpötila vaikuttavat osaltaan voiman- ja tehontuottoon. (Cormie ym. 2011). Nopeusvoimaharjoittelussa yhden sarjan kesto on yleensä niin lyhyt, että tärkeimmäksi energianlähteeksi nousee ATP-KP –kompleksi (Mero ym. 2007, 102).

Soluissa on valmiina varastossa vain hyvin vähän valmista ATP:ia, mutta toinen suurienerginen yhdiste, fosfokreatiini, jota on varastoituna lihassoluihin toimii epäsuorana energianlähteenä räjähtävissä, lyhytkestoisissa suorituksissa. Fosfokreatiinia ei suoraan käytetä energiaksi, vaan se toimii sitten, että fosfokreatiinista erotetaan fosfaatti-osa kreatiinikinaasientsyymin avulla jolloin vapautuu myös energiaa. Vapautunut energia käytetään niin ikään vapautuneen fosfaatin liittämiseen ADP molekyyliin, jolloin saadaan aikaiseksi ATP:ia, jota lihakset voivat käyttää polttoaineena. Edellä mainittu prosessi on hyvin nopea, eikä tarvitse happea tai erityisiä solurakenteita tapahtuakseen. ATP + KP -kompleksin avulla saadaan tuotettua energiaa 3–5 sekuntia kestävästä maksimaalisesta juoksusuorituksen tarpeisiin. (Wilmore ym. 2008, 51.). Nopeusvoimaharjoittelussa tulee käyttää pitkiä, sarjapituudesta, suoritustasosta ja sarjan intensiteetistä riippuvaisia ja kestoltaan 2-6 min mittaisia palautuksia sarjojen välillä, jotta ATP-KP –kompleksi ehtii palautua riittävästi ennen seuraavaa sarjaa (Wilmore ym. 2008, 193.)

Koska jo aiemmin on todettu, että nopeusvoimaharjoittelun vasteet ovat spesifejä sekä liikkeelle, liikenopeudelle, että kuormalle ja tavoitteena on maksimaalisen suorituskyvyn parantaminen urheilusuorituksessa niin väsymyksen kontrollointi (eli harjoitteiden suorittaminen riittävän palautuneena) nousee tärkeään asemaan. Palautumisen seurantaan nopeusvoimaharjoittelun aikana on yritettykin soveltaa kestävyys- ja voimakuormituksissakin käytössä olevaa RPE –taulukkoa kuormien arvioimiseen nopeusvoimaharjoittelussa. RPE-taulukko toimikin suhteellisen hyvin vanhemmilla ihmisillä suoritetussa harjoittelututkimuksessa, jossa harjoittelu tapahtui kaapelikäyttöisellä jalkaprässillä. (Row ym. 2012.)

Valvonnan ja palautteenannon merkitys suorituskyvyn adaptaatioihin näyttäisi tutkimustiedon valossa olevan merkittävää. Myös valvojien määrä suhteessa harjoitettaviin on huomioitava seikka harjoittelua suunnitellessa, sillä suuremmalla valvojien osuudella tulokset näyttäisivät kehittyvän paremmin. Ohjeiden anto vaikuttaa suoritusten kinematiikkaan, joten useamman valvojan ohjeistaessa samaa ryhmää tulisi ohjeiden olla yhteneväiset saman harjoitusvasteen takaamiseksi. (Taulukko 1.)

TAULUKKO 1. Koonti harjoitusten valvontaan keskittyvistä tutkimuksista.

Tutkimus	Tarkoitus	Koehenkilöt	Tulokset
Coutts ym. (2004).	Sama harjoitusohjelma, puolet suorittivat ilman valvontaa. Harjoitusvolyymiä ei vakioitu. Harjoittelu kesti 12 viikkoa.	n = 24, rugby pelaajia	Valvotulla ryhmällä penkkipunnerruksen ja kyykyn 3RM merkitsevästi parempi kuin valvomattomalla.
Mazetti ym. (2000).	Sama harjoitusohjelma, toinen ryhmä harjoitteli personal trainerin valvonnassa, toinen ei. Harjoitusmäärät samat ryhmien välillä. Kesto 12 viikkoa	n = 20 jonkin verran harjoitellutta miestä (moderately trained)	Kyykyn ja penkin 1RM kehittyi merkitsevästi enemmän valvotulla ryhmällä kuin valvomattomalla. Kuormat harjoitussessioissa olivat myös suurempia valvotulla ryhmällä.
Gentil & Bottaro (2010).	Valvojien määrän vaikutus. Toisessa ryhmässä valvojien ja urheilijoiden suhde 1:5, toisessa 1:25. 11 viikon harjoittelujakso	n = 124, harjoittelemattomia miehiä.	Suuremman valvoja/urheilija -suhteen ryhmä paransi merkitsevästi tuloksiaan penkkipunnerruksen 1RM ja polven vääntömomentissa verrattuna pienemmän suhteen ryhmään.

5. NOPEUSVOIMAHARJOITTELUN JAKSOTTAMINEN JA ERILAISET HARJOITTEET

5.1 Nopeusvoimaharjoittelun suunnittelu ja jaksottaminen

Nopeusvoiman kehittyminen koostuu monista yksittäisistä adaptaatioista ja tästä syystä harjoittelun jaksottaminen tulisi yksilöidä kunkin urheilijan ominaisuuksien mukaan, sillä heikoimman yksittäisen nopeusvoimaan vaikuttavan komponentin kehittäminen vaikuttaa eniten nopeusvoiman kehittymiseen. Harjoittelun jaksottamisella tarkoitetaan sitä, että harjoittelu ohjelmoidaan loogisesti ja systemaattisesti, siten, että se mahdollistaa pitkäkestoisen kehityksen halutussa ominaisuudessa tai ominaisuuksissa. Harjoitussyklien käytön kautta eli painottamalla eri ominaisuuksia eri tavalla syklien välillä saadaan harjoitusohjelmaan variaatiota intensiteetissä, ärsykeissä, volyymissä sekä spesifisyydessä. (Cormie ym. 2011a.)

Suhteellisen heikoilla, voimaharjoittelua harrastamattomilla yksilöillä kaiken tyyppiset ärsykkeet johtavat kasvaneisiin voima- ja tehoarvoihin (Cormie ym. 2011). Tämä tekee edellämämainitun kaltaisilla tutkittavilla suoritettujen tutkimusten arvioimisesta vaikeaa, sillä eroja eri harjoittelumuotojen välillä ei juuri nähdä. Voimakkaammilla urheilijoilla puolestaan harjoittelun tulee olla spesifisempää ja sisältää enemmän erilaisia komponentteja (eli variaatioita), jotta kehitystä nopeusvoimassa saadaan aikaiseksi. (Haff ym 2012).

Jo aiemmin on todettu maksimivoimaharjoittelun merkitys tehontuoton kannalta. Tästä syystä maksimivoiman kehittämisen tulisi olla suuressa roolissa maksimaaliseen tehontuottoon tähtäävien ohjelmien suunnittelussa. Eri lajien urheilijoita valmentaessa tuleekin miettiä aina yksilöllisesti, mikä on tarvittava määrä voimaa optimaalisen

urheilusuorituksen kannalta. Haff (2012) ehdottaa erääksi ”raja-arvoksi” takakyykyn suorittamisen 2xkehonpainolla, sillä tutkimuksissa on havaittu että suhteellisen suuret voimatasot omaavat yksilöt tuottavat suurempia tehokemia kuin heikommat. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että nopeusvoimaharjoittelua ei tulisi suorittaa ennen kuin tämä arvo on saavutettu, vain päinvastoin eri prosentiosuuksilla 1RM:stä suoritettavia teho-, räjähtäviä ja plyometrisiä harjoitteita tulisi pitää mukana kaiken aikaa. (Haff 2012.).

Kaikki tehontuoton kannalta tärkeät komponentit huomioiden nopeusvoimaa tulisi siis harjoitella jaksotetusti sisällyttäen ohjelmaan maksimivoimaa urheilijan tasosta riippuen joko ylläpitävästi tai kehittävästi. Tehontuottoa kehittävien liikkeiden tulisi olla ainakin lähellä kilpailukautta olla useammalta osin (liikemalleiltaan, kuormiltaan ja supistumisnopeuksiltaan) mahdollisimman lähellä lajisuoritusta. Intensiiteettien tulisi vaihdella sen mukaan, millä kussakin liikkeessä saavutetaan suurimpia tehoarvoja eli alimmillaan 0-30% 1RM ballistisissa hyppyissä ja korkeimmillaan jopa 85% painonnostoliikkeissä, kuten rinnallevedossa ja tempauksessa. (Cormie ym. 2011a ja b)

5.2 Ballistinen harjoittelu

Ballistinen harjoittelu tarkoittaa sitä, että suorituksen liikenopeutta pyritään kiihdyttämään koko liikelaajuuden matkalla ja se johtaa suurempaan lihasaktivaatioon, konsentriseen voiman- ja tehontuottoon suorituksen aikana kuin perinteiset voimaharjoitteluliikkeet (Cormie ym 2011). Edellämainituista syistä ballistista harjoittelua voidaankin suositella monien lajien urheilijoille. Esikevennyshyppy on yksi suorituksista missä syntyy suurimpia dynaamisia tehoja, joita ihminen pystyy tuottamaan. Wateissa mitattuna kehonpainolla tehtävässä kevennyshypyssä voi harjoitelleilla yksilöillä voi hetkellinen maksimiteho olla yli 6000W (Nuzzo ym. 2010).

Ballististen suoritteiden arvellaan olevan ”esiohjelmoituja” eli ne eivät noudata samaa Hennemanin kokoperiaatetta vaan niissä suuret ja nopeat kakkostyyppin motoriset yksiköt aktivoituvat aikaisemmin kuin pienemmät (Kawamori & Haff 2004). Samoilla linjoilla on myös Haff (2012) todetessaan, että nopeat ja tehokkaat lihassupistukset aktivoivat suuria ja nopeita motorisia yksiköitä ja sen lisäksi niiden yhteydessä on mahdollista tapahtua motoristen yksiköiden rekrytointijärjestyksen muutoksia siihen suuntaan, että nopeat motoriset yksiköt aktivoituisivat samanaikaisesti tai jopa ennen pieniä motorisia yksiköitä. Tätä motoristen yksiköiden ”esiohjelmoitua” syttymistä on havaittu eläinkokeissa kissan nopean tassunheilautuksen aikana, jossa kissan nopean gastrognemiuksen motoriset yksiköt syttyivät ennen soleuksen hitaita motorisia yksiköitä. Ihmiskokeet eivät toistaiseksi ole kuitenkaan tukeneet eläinkokeista saatuja tuloksia (Komi 2002, s. 38.)

Plyometrinen harjoittelu on osa ballistista harjoittelua, joskin hienoinen vivahde-ero tulee siitä, että plyometrisestä harjoittelusta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä harjoitteita, joissa ei käytetä ulkoista kuormaa, kuten loikkiminen, hyppelyt, pudotushypyt ja juoksun variaatiot. Myös kuntopalloheitot voidaan laskea plyometriseksi harjoitteluksi. (Cormie ym. 2011b). Plyometrisessä harjoittelussa suuren rooliin nousee venymis-lyhenemissyklus eli SSC ja se tarkoittaa lihaksen aktiivista venyttämistä ennen lihassupistusta (Enoka 2002. 272–275).

Venymis-lyhenemissyklusin avulla on mahdollista tehdä enemmän työtä kuin pelkällä lihassupistuksella. Tästä syystä esimerkiksi loikkasuorituksissa nilkan esijännitys on tärkeää seuraavan loikan kimmoisuuden kannalta. Venymis-lyhenemissyklusin etuja selitetään neljän mekanismin avulla: lisääntynyt voimantuottoaika, elastisen energian varastointi ja vapauttaminen liike-energiaksi, voiman potentoituminen sekä refleksit. *Lisääntynyt voimantuottoaika* tarkoittaa, että lihaksella on enemmän aikaa aktivoitua kokonaan, koska aktivointi aloitetaan jo ennen varsinaista työtä. Lihaksen aktivointia ennen varsinaista suoritusta kutsutaan esiaktiivisuudeksi. *Elastisen energian varastoinnilla* tarkoitetaan jänteisiin ja kalvoihin varastoituvaa, jousivakioon perustuvaa energiaa, joka vapautuu

suorituksessa. Suurempi energiamäärä johtaa suurempaan työmäärään. *Voiman potentoituminen* tarkoittaa yksittäisen poikittaissillan suurempaa voimantuottoa esivenytyksen jälkeen, joka luonnollisesti potentoituu, kun poikittaissilloja on muodostettuna useita. Tätä tapahtuu vain suhteellisen suurilla lihaspituuksilla. *Venytysrefleksi* on neljäs venymis-lyhenemissyklukseen vaikuttava tekijä ja se aiheutuu lihasspindelien toiminnasta. (Enoka 2002, 272-275.)

5.3 Tehoharjoittelu

Tehoharjoitteluna voidaan pitää sellaista submaksimaalisilla kuormilla suoritettavaa voimaharjoittelua, jossa pyritään maksimaalisen nopeaan konsentriseen vaiheeseen ja tätä kautta myös maksimaaliseen tehontuottoon. Sarjat tällaisessa harjoittelussa ovat yleensä lyhyitä 1-6 toistoa ja palautukset pitkiä (2-4 minuuttia), jotta mahdollisimman tehokkaat suoritukset mahdollistuvat sarjasta toiseen (Wilmore ym. 2008, 192-193). Kuntosalilaitteilla tai vapailla painoilla ja voimanostoliikkeillä suoritettavassa tehoharjoittelussa törmätään sellaiseen ongelmaan, että vaikka konsentriininen vaihe suoritettaisiin mahdollisimman nopeasti, sisältää se kuitenkin myös jarruttavan vaiheen, sillä painoa ei heitetä tai omaa kehoa ei pyritä projektoimaan ilmaan. Esimerkkinä penkkipunnerruksesta: 1RM kuormalla suoritettavassa penkkipunnerruksessa jarrutusvaiheen on todettu kestävän noin 28% kokonaissuorituksesta, kun taas 80% kuormalla jarrutusvaihe kestää jopa 52% suorituksen kestosta. Kun yritettiin tehdä maksimaalisen räjähtäviä suorituksia 45% kuormalla, niin jarrutusvaihe käsitti silti 40-50% koko liikkeen kestosta. (Cormie ym. 2011). Tehoharjoittelussa on siis omat haasteensa, mutta se on kuitenkin tärkeä osa (keskinkertainen nopeus, keskinkertainen voimantuotto), kun mietitään pyrkimystä kehittää koko voima-aika käyrää yhdistetyn harjoittelun avulla.

Jarrutusvaihetta voidaan pienentää ja suoritusta voidaan varioida muuttuvavastuiseksi esimerkiksi vetokumien avulla. Tällöin loppuvaiheen tehon- ja voimantuotto kasvaa

verrattuna ilman vetokumeja tehtyyn suoritukseen (Israeterel ym. 2010). Rhea & Genn (2009) havaitsivat kuminauhoilla vastustetun harjoittelun olevan harjoitelleilla tehontutoton kehittymisen kannalta tehokkaampaa verrattuna hitaaseen ilman kuminauhoja suoritettuun harjoitteluun. Tämän lisäksi kuminauhoilla suoritettu harjoittelu oli voiman ja tehon osalta tehokkaampaa verrattuna myös nopeaan ilman kuminauhoja suoritettuun harjoitteluun (Rhea & Glenn 2009). Myös Wallace ym. (2006) totesivat tutkimuksessaan kuminauhoilla suoritettua vaihtuvan vastuksen harjoittelun (variable resistance training) olevan huipputehoon ja voimaan pyrkiville urheilijoille parempi vaihtoehto kuin perinteinen muuttumattomalla vastuksella tehtävä voimaharjoittelu. Tässäkin tutkimuksessa koehenkilöt omasivat aikaisempaa voimaharjoittelukokemusta (Wallace ym. 2006). Harjoittelemattomilla yksilöillä kuminauhojen käyttö ei kuitenkaan näytä tuottavan eriäviä tuloksia perinteiseen muuttumattoman vastuksen voimaharjoitteluun verrattuna (Shoep ym. 2011).

5.4 Painonnostoharjoittelu

Painonnostoharjoittelua eli olympianostojen (rinnalleveto, työntö ja tempaus) sekä näiden osanostojen hyödyntämistä käytetään osana lukuisen lajien urheilijoiden voimaharjoittelua. Ballististen harjoitteiden tavoin painonnostoharjoitteet vaativat jatkuvaa, kiihtyvää liikettä koko työntävän vaiheen tai toisen vedon ajan. Erona ballistisiin harjoitteisiin on kuitenkin se, että oman vartalon liikenopeutta joudutaan hidastamaan, jotta ulkoinen kappale, johon voimaa on kohdistettu (levytanko) saadaan otettua haltuun. Suuren liikenopeuden ja suuren voimantuoton ansioista painonnostoharjoitteet ovat kuitenkin potentiaalisia liikkeitä hermolihasjärjestelmän tehontuoton parantamiseksi. Painonnostoliikkeissä suurimmat tehot saavutetaan 70-85% kuormilla 1RM:sta. Lisäksi painonnostoliikkeiden liikemallit ovat huomattavasti lähempänä monia urheilusuorituksia kuin vaikkapa voimannostoliikkeiden ja tästä syystä niitä voisi suositella useiden teholaajien urheilijoille. (Cormie ym. 2011.)

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämä tutkielma on osa suurempaa kokonaisuutta, GymCoach -projektia (Peltonen ym.), josta tulee väitöskirja sekä useampi Pro Gradu- tutkielma. GymCoach –projektin tavoitteena on tutkia Android -pohjaisen kuntosaliharjoittelun seurantaan tarkoitettun sovelluksen käytettävyyttä sekä sen vaikutuksia hermostollisiin, neuromuskulaarisin ja hormonaalisiin muuttujiin voima- ja nopeusvoimaharjoittelun seurauksena.

Tämän Pro Gradu –tutkielman tarkoitus oli tutkia eri asteisten harjoitusten aikaisten valvonnan ja palautteen vaikutuksia neuromuskulaariseen suorituskyykyyn voimaharjoitteluinterventiotutkimuksessa aikaisemmin säännöllistä kuntosaliharjoittelua suorittamattomilla miehillä. Eri asteinen valvonta ja palaute tarkoitti tämän tutkielman osalta: (1) valvontaa, mutta GymCoach –sovelluksen avulla suoritettua harjoittelua, (2) valvontaa ja GymCoach –sovelluksen avulla suoritettua harjoittelua tai (3) valvontaa ja GymCoach –sovelluksen avulla suoritettua ja sen keräämien tietojen perusteella muokattua harjoittelua.

6.1 Tutkimuskysymykset

1. Vaikuttaako harjoitusten aikainen valvonnan ja palautteen määrä ja laatu (ei valvontaa, valvontaa ja valvontaa + gymcoach palaute) nopeusvoimaharjoittelun aikaansaamiin muutoksiin neuromuskulaarisessa suorituskyykyssä?
2. Vaikuttaako harjoitusten aikainen valvonnan ja palautteen määrä ja laatu (ei valvontaa, valvontaa ja gymcoach palaute) tutkittavien maksimivoiman ja maksimaalisen tehontuoton väliseen suhteeseen?

6.2 Hypoteesit

1. Valvonta ja palautteenanto vaikuttavat positiivisesti kroonisiin adaptaatioihin ainakin voiman (Coutts ym. 2004; Mazetti ym. 2000) mutta myös voimantuottonopeuden (Enoksen ym. 2013) osalta. Lisäksi Staub ym. (2013) totesivat verbaalisen kannustuksen vaikuttavan positiivisesti tehontuottoon kahden viimeisen sarjan aikana kolmesta esikevennyshyppysarjasta koostuvassa kuormitusprotokollassa (Staub ym. 2013). Tämä voisi useasti toistettuna johtaa suurempaan treenivasteeseen valvontaa ja kannustusta saavan ryhmän kohdalla. Hypoteesi oli, että suorituskykymuuttajat kehittyvän paremmin tutkittavilla, joita valvotaan/ohjataan harjoittelun aikana ja jotka saavat tarkempaa palautetta harjoittelustaan eli valvottoman ryhmä kehittyisi kaikista vähiten ja valvottu ryhmä enemmän kuin valvottoman mutta vähemmän kuin optimoitu.

2. Maksimivoiman ja maksimaalisen tehontuoton välillä on selkeä yhteys (mm. Andersen & Aagard 2010) ja lisäksi tiedetään, että ”heikoilla” urheilijoilla pelkkä voiman kasvattaminen lisää tehontuottoa merkittävästi (Cormie ym. 2010). Tämän tutkimuksen koehenkilöiden ollessa ”aikaisempaa säännöllistä kuntosaliharjoituskokemusta omaamattomia” hypoteesi oli, että tehontuotto kehittyisi samassa suhteessa kuin voima-arvot.

7 MENETELMÄT

7.1 Tutkittavat

Tutkimuksen koehenkilöiksi rekrytoitiin 18-40 -vuotiaita miehiä, joilla ei ollut aikaisempaa kokemusta säännöllisestä kuntosaliharjoittelusta ja joilta löytyi käytöstään Android – käyttöjärjestelmää tukeva puhelin. Tutkittavat jakaantuivat kahteen harjoittelun kannalta eroavaan interventoryhmään, joista toisessa harjoiteltiin hypertrofiapainotteisesti ja toisessa nopeusvoimapanoiteisesti (n = 24). Koehenkilöiden pituus oli $178,7 \pm 1,25$ kg ja paino $83,5 \pm 2,25$ cm. Kahden eri harjoittelua suorittavan interventoryhmän välillä tutkittavat jaettiin vielä kolmeen alaryhmään: harjoittelu ilman valvontaa (n = 9), harjoittelu tutkimushenkilökunnan valvonnan alla (n = 9) sekä optimoitu harjoittelu eli harjoittelu tutkimushenkilökunnan valvonnan alla + ohjelman muokkaus GymCoach –ohjelman keräämien tietojen perusteella (n = 8). Tässä Pro Gradu –tutkielmassa keskitytään vain nopeusvoimaharjoittelua suorittaneisiin koehenkilöihin (n =24).

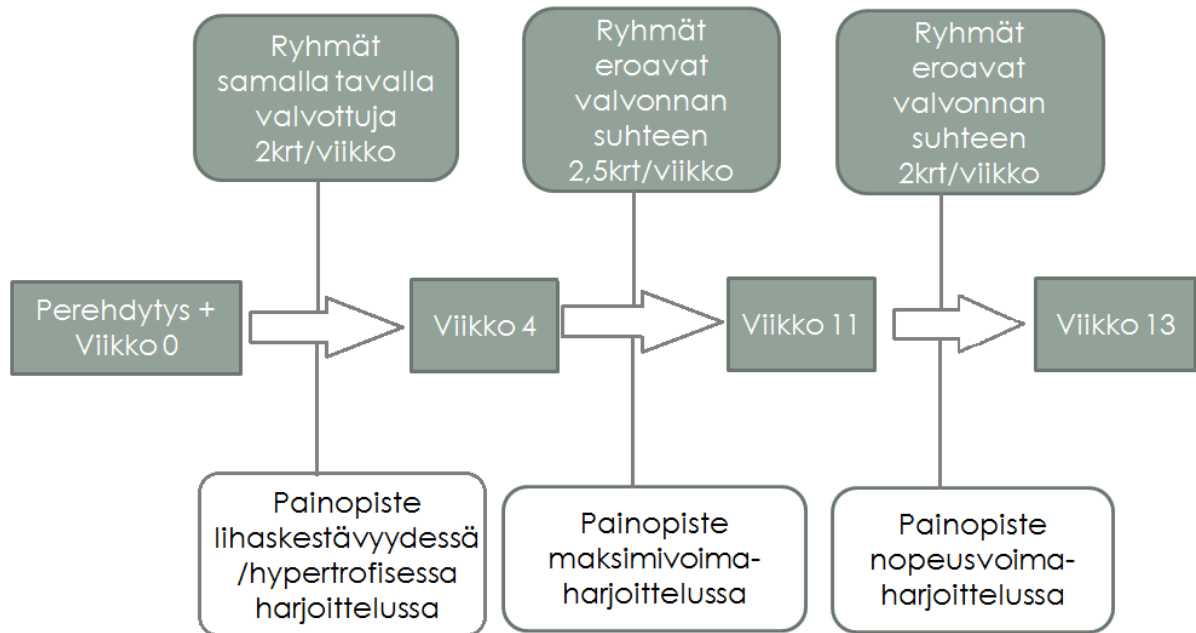
7.2 Tutkimusasetelma

Tutkimukseen kuului perehdytyskerta, alkumittaukset, kahdet välimittaukset viikoilla 4 ja 11 sekä loppumittaukset viikolla 13 (kuva 3). Kaikki interventoryhmät noudattivat samanlaista harjoitusohjelmaa, mutta heitä valvottiin eri tavalla ja GymCoach –sovelluksen keräämiä tietoja hyödynnettiin eri tavalla ryhmien välillä. Poikkeuksena oli kuitenkin ensimmäinen harjoitusjakso, jolloin kaikkien ryhmien harjoittelua valvottiin samalla tavalla ja heitä perehdytettiin GymCoach –sovelluksen käyttöön sekä mahdollisia sovelluksessa esiintyviä puutteita korjattiin.

Valvoton ryhmä sai käyttöönsä GymCoach –sovelluksen ja he saivat apua siihen liittyvissä mahdollisissa ongelmatilanteissa, mutta heitä ei valvottu eikä heille annettu palautetta ihmisen toimesta voimaharjoittelun yhteydessä viikon 4 mittausten jälkeen.

Valvottu ryhmä sai käyttöönsä GymCoach –sovelluksen ja he saivat apua siihen liittyvissä mahdollisissa ongelmatilanteissa. Lisäksi tätä ryhmää valvottiin ja he saivat palautetta voimaharjoittelun yhteydessä koko tutkimukseen liittyvän harjoittelujakson ajan.

Optimoitu ryhmä sai käyttöönsä GymCoach –sovelluksen ja he saivat apua siihen liittyvissä mahdollisissa ongelmatilanteissa. Lisäksi tätä ryhmää valvottiin ja he saivat palautetta voimaharjoittelun yhteydessä koko tutkimukseen liittyvän harjoittelujakson ajan. Heidän harjoitusohjelmaansa myös muokattiin GymCoach –sovelluksen keräämien, liikenopeuteen perustuvien, tietojen pohjalta.



KUVA 3. Tutkimusasetelma, josta ilmenee voimamittausten ajankohdat, harjoittelun painopisteet, valvonnan eroavaisuudet sekä keskimääräinen harjoitusfrekvenssi.

7.3 Mittaukset

Tämä Gradututkimus oli osa laajempaa tutkimusta, joka pyrki selvittämään ihmisten suorituskykyyn ja terveyteen liittyviä tekijöitä melko laaja-alaisesti, joten myös mittauspatteristo on laaja. Mittauksiin kuului kehonkoostumusmittaus (DXA), laskimoverinäytteitä, lepo-EKG (ennen varsinaista tutkimuksen aloitusta), nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala ultraäänen avulla mitattuna, dynaamisia ja isometrisiä voimamittauksia sekä sähköstimulaation avulla mitattu hermoston aktivointitasosta kertova SIT (=super imposed twitch). Tässä gradututkimuksessa käytetään ainoastaan voimamittauksista saatuja tuloksia eli isometrisen jalkaprässin avulla mitattua isometristä maksimivoimaa ja siitä analysoituja voimantuottonopeutta kuvaavia muuttujia, dynaamisella jalkaprässillä mitattua dynaamista maksimivoimaa sekä 40%, 60% ja 80%

suhteellisella kuormilla mitattuja dynaamisia tehontuotosta kertovia räjähtävien suoritusten tuloksia. Ennen varsinaisten tutkimusten alkamista tutkittavat kävivät läpi lepo-EKG –mittauksen, joka toimi tutkimukseen hyväksymisen kriteerinä. Lääkäri tutki EKG-käyrät ja antoi suostumuksen tutkimukseen osallistumiseen.

Voimamittaukset koostuivat isometrisen bilatelaarinen jalkaprässin maksimaalisen tahdonalaisen voiman (MVF) mittaamisesta, dynaamisen horisontaalisen jalkaprässin yhden toiston maksimista (1RM) ja tehosuorituksista 40:nen, 60:nen ja 80:nen prosentin kuormilla kyseisen mittauskerran 1RM:sta. Lisäksi suoritettiin unilateraalinen isometrinen polven ojennus jonka aikana annettiin supramaksimaalisia stimuluksia levossa, maksimaalisen voimantuoton aikana sekä voimantuoton loputtua levossa (esim. Merton 1954). Tässä gradututkielmassa ei käytetä unilateraalista isometrisestä polvenojennuksesta saatua dataa.

Ennen ensimmäistä voimamittauskertaa koehenkilöt perehdyttiin laitteisiin ja suoritustekniikoihin erillisellä, noin tunnin kestäväällä perehdytyskerralla. Perehdytyskerralla tehtiin myös kolme pientä mustetatuointia pinta-EMG-elektrodien kiinnityskohtiin (m. vastus lateralis, m. vastus medialis ja m. biceps femoris), jotta elektrodien kiinnityspaikat säilyisivät samoina koko tutkimuksen ajan. Mittauskohtien määrittäminen, ihon valmistelu ja elektrodien kiinnittäminen suoritettiin SENIAM (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles) -ohjeistuksen mukaan (<http://www.seniam.org/>).

Maksimaalisia isometrisiä bilatelaarisia jalkojen ja lonkan ojennussuorituksia tehtiin kahdella eri polvikulmalla, 60 ja 107-astetta, ja kummallakin polvikulmalla oli kolme yritystä. Mittauslaitteena toimi säädettävä isometrinen jalkaprässi (suunniteltu ja rakennettu liikuntabiologian laitoksella Jyväskylän yliopistossa Suomessa). Koehenkilöt ohjeistettiin painamaan levyä koko jalkapohjallaan sekä vetämään itseään kahvoista alaspäin suorituksen aikana, jotta takamus ja alaselkä pysyisivät kiinni penkissä. Suorituksen aikana koehenkilöä ohjeistettiin seuraamaan mittajaan komentoja. Suoritus eteni joka kerralla samanlaisella

protokollalla: aluksi mittaja kysyi ”Onko koehenkilö valmis”, tätä seurasi ”valmiina”-komento ja viimein aloitusmerkki ”NYT!”, jonka jälkeen koehenkilöä kannustettiin ”Paina, paina, paina..” huudoin, kunnes maksimivoima saavutettiin. Neljäs yritys vaadittiin, jos kolmannella yrityksellä saavutettiin yli 5% parempi tulos kuin ensimmäisellä tai toisella yrityksellä. Vastaavanlaista protokollaa on käytetty tutkimuksissa aiemminkin (Häkkinen ym. 1998). Isometrisista lonkan ja polven ojennus suorituksista kerättiin kaikkien suorituksen ajan pinta-EMG –dataa sekä voimasignaalia ajan suhteen. Myöhemmin voimasignaalista analysoitiin voimantuottonopeutta (= RFD) keskiarvoisena käyrän jyrkimmästä kohdasta 20 millisekunnin ajalta (10 milleskuntia kumpaankin suuntaan voima-aika –käyrän jyrkimmästä kohdasta) sekä keskiarvoista voimaa ensimmäisen 100 millisekunnin ajalta.

Dynaamisessa jalkaprässissä mitattiin dynaaminen yhden toiston maksimi (1RM) sekä maksimaalisen räjähtävät suoritukset 40, 60 ja 80%:in -kuormilla kunkin kerran 1RM:sta sekä 60 %:in kuormalla ensimmäisen mittauskerran 1RM:sta. Polvikulmaksi valittiin laitteen asetusten mukaan lähimmäksi 60-asteen polvikulmaa saatava polvikulma. Mittaus suoritettiin David 2010 jalkaprässillä (kuva 4; David Health Solutions Ltd., Helsinki Finland). Lämmittelynä käytettiin seuraavanlaista protokollaa: 5 toistoa 70% edellisen kerran 1RM, 3 toistoa 80-85% edellisen kerran 1RM ja 1 toisto 90-95% edellisen kerran 1RM. Tämän jälkeen mittauspäivän 1RM pyrittiin löytämään 2,5kg tarkkudella 3-6 yrityksellä Mittaaminen aloitettiin aina ensimmäisestä yhden kerran nostettavasta suorituksesta ja tällöin myös komennot annettiin mittajan toimesta. Takamuksen tuli pysyä kiinni penkissä koko suorituksen ajan. Vastaavanlaista protokollaa on käytetty tutkimuksissa aiemminkin (Häkkinen ym. 1998). Komennot ja kannustus olivat täysin samat kuin isometrisessä jalkadynamometrissä.



Kuva 4. Tutkittava tekemässä dynaamista jalkaprässisuoritusta.

Isometrisestä jalkaprässistä tullut vomasignaali ja dynaamisesta jalkaprässistä saatu kulmasignaali muutettiin digitaalseksi analogi-digitaalimuuntimella (Micro 1401, Cambridge Electronic Design) ja digitaalinen signaali kerättiin ja tallennettiin Windows-käyttöjärjestelmää käyttävällä tietokoneella Signal ohjelmistoa käyttäen (Cambridge Electronic Design). Myös myöhemmät tehokäyrien analysoinnit tehtiin Windows-käyttöjärjestelmää käyttävällä koneella ja Signal -ohjelmiston avulla.

7.4 Harjoittelu

Harjoittelu koostui kolmesta erimittaisesta syklistä, joista ensimmäinen oli pituudeltaan 4 viikkoa, toinen 8 viikkoa ja kolmas 3 viikkoa. Jokaisen harjoitusyklin viimeisellä viikolla suoritettiin toisen tai kolmannen harjoitussession sijasta voimamittaukset. Harjoittelu nopeusvoimaryhmällä eteni lineaarisen periodisaation mukaan kestovoimapainotteisen harjoittelun kautta maksimivoimapainotteiseen ja edelleen nopeusvoimaan.

Harjoitusfrekvenssi oli ensimmäisellä syklillä 2 kertaa viikossa, toisella ja kolmannella 2,5 kertaa viikossa ja viimeisellä jälleen 2 kertaa viikossa (Kuva 3). Harjoitusliikkeinä käytettiin jalkojen osalta jalkaprässiä, bilateraalista polven koukistusta painopakkalaitteessa , bilateraalista loitonnuksliikettä painopakkalaitteessa sekä bilateraalista polven ojennusta painopakkalaitteessa. Jalkoja harjoitettiin jokaisella harjoituskerralla. Ylä- ja keskivartalolle suoritettiin myös monipuolista harjoittelua (horisontaali- ja vertikaalisuuntaisia vetoja ja punnerruksia, hauiskääntöjä, ojentajia sekä selkärangan ojennusta, koukistusta ja kiertoa sisältäviä liikkeitä), mutta ylä- ja keskivartalon lihasten harjoitusfrekvenssi oli huomattavasti jalkojen harjoitusfrekvenssiä matalampi. (Taulukko 2.)

Tutkittavat löysivät harjoitusohjelman aina puhelimensa GymCoach –sovelluksesta. Sovellus kertoi liikkeen, sarjat, intensiteetin ja liikkeen suoritustavan sekä kertoi milloin oli aika aloittaa seuraava sarja. Lisäksi käyttöliittymästä näkyi harjoituksen arvioitu kokonaiskesto (Kuva 5.) . Sovellus oli Bluetooth –yhteyden avulla yhteydessä älysokkaan, joka laitettiin kunkin sarjan aluksi painopakkalaitteeseen normaalin sokan tilalle. Tätä kautta sovellus sai tiedot käytetystä kuormasta, suoritetuista toistoista sekä suoritusnopeudesta. Sovellus toimi vain Android-käyttöjärjestelmää käyttävissä laitteissa.

TAULUKKO 2. Esimerkkiharjoitukset kultakin harjoittelujaksolta.

Harjoitusjakso 1.							
Liike	Sarjat x Toistot	Palautus	Intensiteetit sarjoittain				
Jalkaprässi	2 x 15	2 min	70 %	70 %			
Polven koukistus	2 x 15	2 min	70 %	70 %			
Ylätalja	2 x 12	2 min	60 %	60 %			
Polven ojennus	2 x 15	2 min	70 %	70 %			
Alatalja (soutu)	2 x 12	2 min	60 %	60 %			
Vatsalaite	2 x 12	2 min	60 %	60 %			
Hauikset taljalla	2 x 12	2 min	60 %	60 %			
Kiertolaite	2 x 12	2 min	60 %	60 %			
Selän ojennus	2 x 12	2 min	60 %	60 %			
Harjoitusjakso 2.							
Liike	Sarjat x Toistot	Palautus	Intensiteetit sarjoittain				
Jalkaprässi	4 x 4	3 min	85 %	85 %	85 %	85 %	
Polven koukistus	3 x 10	3 min	75 %	75 %	75 %		
Ylätalja	3 x 4	3 min	85 %	85 %	85 %		
Polven ojennus	3 x 10	3 min	75 %	75 %	75 %		
Alatalja (soutu)	3 x 10	2 min	80 %	80 %	80 %		
Vatsalaite	2 x 15	2 min	70 %	70 %			
Hauikset taljalla	2 x 12	2 min	70 %	70 %			
Kiertolaite	2 x 15+15	2 min	70 %	70 %			
Selän ojennus	2 x 15	2 min	70 %	70 %			
Harjoitusjakso 3.							
Liike	Sarjat x Toistot	Palautus	Intensiteetit sarjoittain				
Jalkaprässi	4 x 5	3 min	60 %	60 %	60 %	60 %	Räjähävä
Polven koukistus	3 x 8	3 min	70 %	70 %	70 %		
Ylätalja	3 x 5	3 min	90 %	70 %	70 %		
Polven ojennus	3 x 10	3 min	70 %	70 %	70 %		Räjähävä
Alatalja (soutu)	3 x 6	2 min	90 %	70 %	70 %		Räjähävä
Vatsalaite	2 x 12	2 min	90 %	70 %			
Hauikset taljalla	2 x 12	2 min	90 %	70 %			
Kiertolaite	2 x 15+15	2 min	90 %	70 %			
Selän ojennus	2 x 15	2 min	90 %	70 %			



KUVA 5. GymCoach –sovelluksen käyttöliittymä.

7.5 Tilastolliset analyysit

Tilastolliset analyysit suoritettiin IBM SPSS Statistics tilastoanalyysiohjelman versiolla 22. Aineiston normaalijakautuneisuutta tarkasteliin Saphiro-Wilkin normaalisuustestillä sekä tarkastelemalla aineiston huipukkuus- ja vinousarvoja. Absoluuttisen arvojen osalta aineisto oli normaalisti jakautunutta, mutta suhteelliset arvot olivat pääsääntöisesti epänormaalisti jakautuneita. Ryhmien sisäisiä muutoksia tarkastellessa käytettiin absoluuttisia arvoja ja ryhmien välisiä muutoksia tarkastellessa suhteellisia arvoja.

Ryhmien sisäisiä muutoksia eri aikaväleillä tarkasteliin Repeated Measures ANOVA –testillä. Ryhmien välisiä muutoksia eri aika intervalleissa tarkasteltiin puolestaan suurimmilta osin Kruskall-Wallis nonparametrisella testillä aineiston epänormaalin

jakauman takia ja niiltä osin kun aineisto oli normaalisti jakautunutta käytettiin One Way ANOVA-testiä. Yhdistettyjen valvottujen ryhmien vertailussa valvomattomaan ryhmään käytettiin Mann-Whitneyn nonparametrinen testiä. Tilastollinen merkitsevyys on osoitettu merkkien lukumäärällä seuraavanlaisesti: * = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$. Lisäksi käytössä ovat merkit # ja \$.

8 TULOKSET

8.1 Ryhmien sisäiset muutokset

Ryhmien sisällä tapahtui paljon muutoksia sekä maksimivoiman, että tehomuuttujien osalta harjoitusjakson aikana. Isometrisessä voimassa valvoton ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi viikolla 11 verrattuna sekä viikkoon 0 ($p \leq 0.05$) että viikkoon 4 ($p \leq 0.01$). Lisäksi valvoton ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi viikolla 13 verrattuna viikkoon 4 ($p \leq 0.05$). Valvottu ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi viikolla 4 viikolle 0 ($p \leq 0.01$). Myös optimoitu ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi viikolla 4 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.01$). (Taulukko 3.)

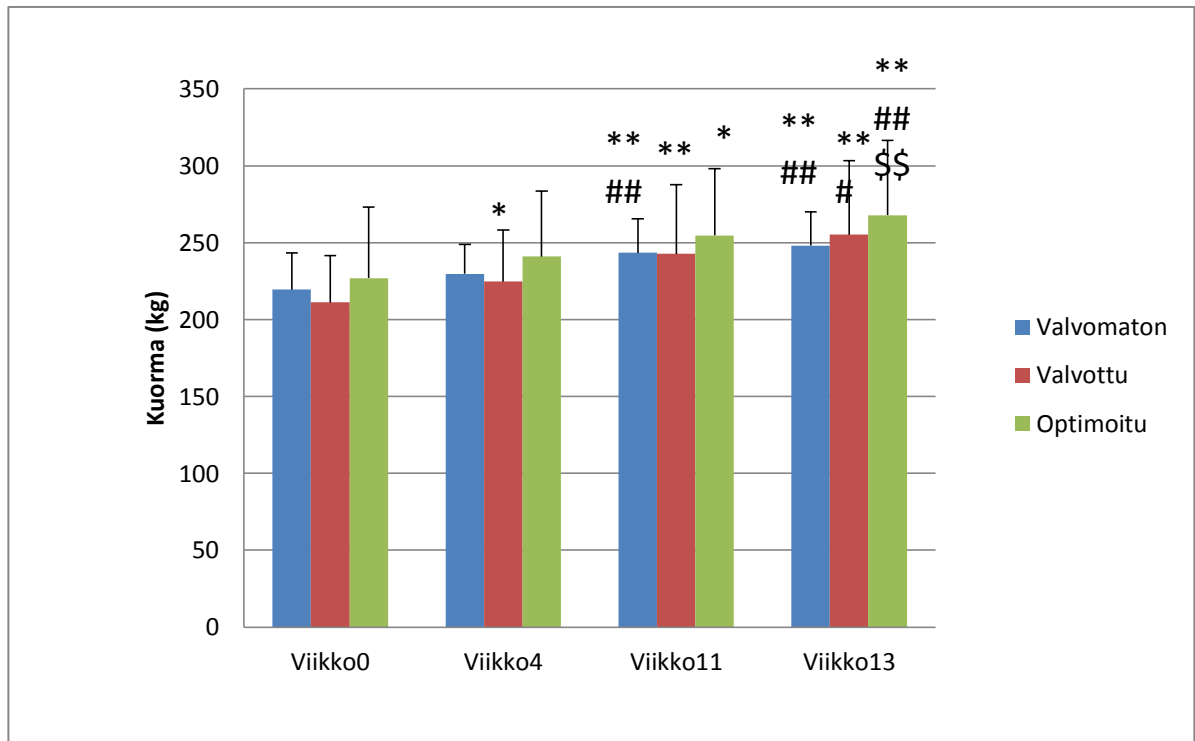
Dynaamisessa maksimivoimassa (1RM) valvoton ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi viikolla 11 verrattuna viikkoihin 0 ($p \leq 0,01$) ja 4 ($p \leq 0,01$) sekä viikolla 13 verrattuna viikkoihin 4 ($p \leq 0.01$) ja 0 ($p \leq 0.01$). Valvottu ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi viikolla 4 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.05$), viikolla 11 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.01$) sekä viikolla 13 verrattuna viikkoihin 4 ($p \leq 0.05$) ja 0 ($p \leq 0.01$). Optimoitu ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi viikolla 11 verrattuna viikkoihin 4 ($p \leq 0.01$) ja 0 ($p \leq 0.05$) sekä viikolla 13 verrattuna viikkoihin 11 ($p \leq 0.01$), 4 ($p \leq 0.001$) ja 0 ($p \leq 0.01$). (Taulukko 3., Kuva 6.)

RFD:ssä ja keskiarvoisessa voimassa ensimmäisen 100 millisekunnin ajalta ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia ryhmien sisällä missään aikavälissä.

TAULUKKO 3. Dynaamisen maksimivoiman 1RM (kg), Isometrisen maksimivoiman (N), RFD – muuttujan avulla ilmaistun voimantuottonopeuden (N/s) sekä Isometrisen keskiarvoisen voiman 0-100ms ajalta (N) absoluuttiset arvot aikapisteittäin.

TESTI	VIKKO 0	VIKKO 4	VIKKO 11	VIKKO 13
Isometrinen maksimivoima (N) N = 9,9 ja 8	<i>Valvomaton:</i> 3882 <i>Valvottu:</i> 3183 <i>Optimoitu:</i> 3930	<i>Valvomaton:</i> 4074 <i>Valvottu:</i> 3359 ** <i>Optimoitu:</i> 4317 **	<i>Valvomaton:</i> 4421 *, ## <i>Valvottu:</i> 3703 <i>Optimoitu:</i> 4551	<i>Valvomaton:</i> 4434 # <i>Valvottu:</i> 3943 <i>Optimoitu:</i> 4505
Dynaaminen maksimivoima (kg) N = 9,9 ja 8	<i>Valvomaton:</i> 219 <i>Valvottu:</i> 211 <i>Optimoitu:</i> 227	<i>Valvomaton:</i> 230 <i>Valvottu:</i> 225 * <i>Optimoitu:</i> 241	<i>Valvomaton:</i> 243 **, ## <i>Valvottu:</i> 243 ** <i>Optimoitu:</i> 255 *, ##	<i>Valvomaton:</i> 248 **, ## <i>Valvottu:</i> 255 **, # <i>Optimoitu:</i> 268 **, ###, \$\$
Voimantuottonopeus 10ms (N/s) N = 9, 9 ja 8	<i>Valvomaton:</i> 18418 <i>Valvottu:</i> 16386 <i>Optimoitu:</i> 24788	<i>Valvomaton:</i> 16923 <i>Valvottu:</i> 20603 <i>Optimoitu:</i> 25890	<i>Valvomaton:</i> 19971 <i>Valvottu:</i> 19908 <i>Optimoitu:</i> 25313	<i>Valvomaton:</i> 19116 <i>Valvottu:</i> 19815 <i>Optimoitu:</i> 26170
Keskiarvoinen voima 0-100ms (N) N = 9, 9 ja 8	<i>Valvomaton:</i> 673 <i>Valvottu:</i> 622 <i>Optimoitu:</i> 958	<i>Valvomaton:</i> 620 <i>Valvottu:</i> 740 <i>Optimoitu:</i> 969	<i>Valvomaton:</i> 768 <i>Valvottu:</i> 758 <i>Optimoitu:</i> 982	<i>Valvomaton:</i> 748 <i>Valvottu:</i> 799 <i>Optimoitu:</i> 1060

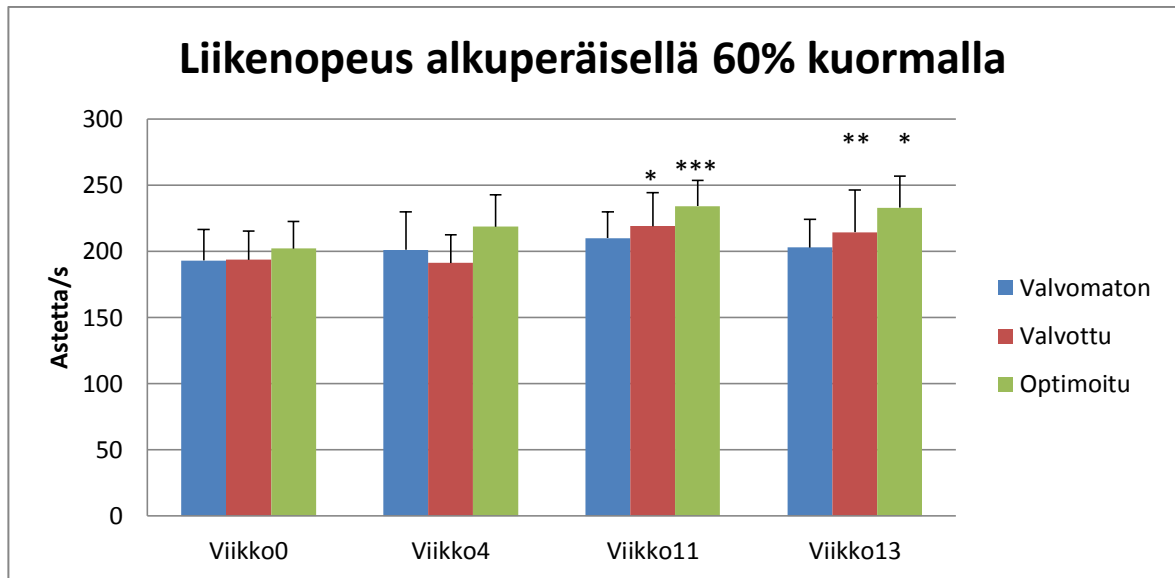
* = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$. * = verrattuna viikkoon 0, # = verrattuna viikkoon 4 ja \$ = verrattuna viikkoon 11



* = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$.

* = verrattuna viikkoon 0, # = verrattuna viikkoon 4 ja \$ = verrattuna viikkoon 11
 KUVA 6. Dynaamisen maksimivoima (1RM) eri mittauspisteissä sekä ryhmien sisäiset muutokset ja tilastolliset merkitsevyydet eri aikaväleissä.

Suoritusnopeuteen ja tehontuottoon liittyvistä suorituskykymuuttujista kuorman liikenopeudessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja kuormilla 40% ja 80%. Alkuperäisellä 60% kuormalla valvomattoman ryhmän tuloksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia, mutta valvotun ryhmän liikkeen suoritusnopeudessa oli tilastollisesti merkitsevä ero viikolla 11 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.05$) ja optimoidulla ryhmällä oli tilastollisesti merkitsevä ero viikoilla 11 ja 13 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.001$). (Kuva 7.) Jokaisen mittauskerran uuden maksimivoimatason mukaan määritellyllä 60% kuormalla valvottu ryhmä paransi liikenopeutta tilastollisesti merkitsevästi viikkojen 0 ja 11 ($p \leq 0.05$) välillä ja optimoitu ryhmä viikkojen 0 ja 11 ($p \leq 0.001$) sekä 0 ja 13 ($p \leq 0.001$) välillä.



* = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$. * = verrattuna viikkoon 0.

KUVA 7. Liikenopeus alkuperäisellä 60% kuormalla eri mittauspisteissä sekä tilastollisesti merkitsevät erot ryhmien sisällä ja eri aikapisteiden välillä.

Tehontuottoa kuvaavassa, liikenopeuden ja kuorman tulona ilmaistussa muuttujassa eli *tehomuuttujassa* tapahtui tilastollisesti merkitseviä muutoksia 40% ja 60% kuormilla. 80% kuormalla tilastollisesti merkitseviä eroja ei ilmennyt. Valvomaton ryhmä paransi tehomuuttujan arvoa 40% kuormalla tilastollisesti merkittävästi viikoilla 11 ja 13 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.05$). Valvottu ryhmä paransi tehomuuttujan arvoa 40% kuormalla viikoilla 11 ($p \leq 0.001$) ja 13 ($p \leq 0.001$) verrattuna viikkoon 0. Optimoidulla ryhmällä oli trendi (t) kehitykseen viikolla 11 verrattuna viikkoon 0 ($p = 0.06$). Valvottu ryhmä paransi tehomuuttujan arvoa 60%:in kuormalla tilastollisesti merkitsevästi viikolla 11 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.01$) sekä viikolla 13 ($p \leq 0.05$) verrattuna viikkoon 0. Optimoitu ryhmä paransi tehomuuttujan arvoa 60% kuormalla tilastollisesti merkitsevästi viikolla 11 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.01$) sekä viikolla 13 verrattuna viikkoon 0 ($p \leq 0.05$). Valvomattoman ryhmän tulokset eivät muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi harjoitusjakson aikana. 80% kuormalla tehomuuttujassa ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien sisällä, eri aikapisteissä. (Taulukko 4.)

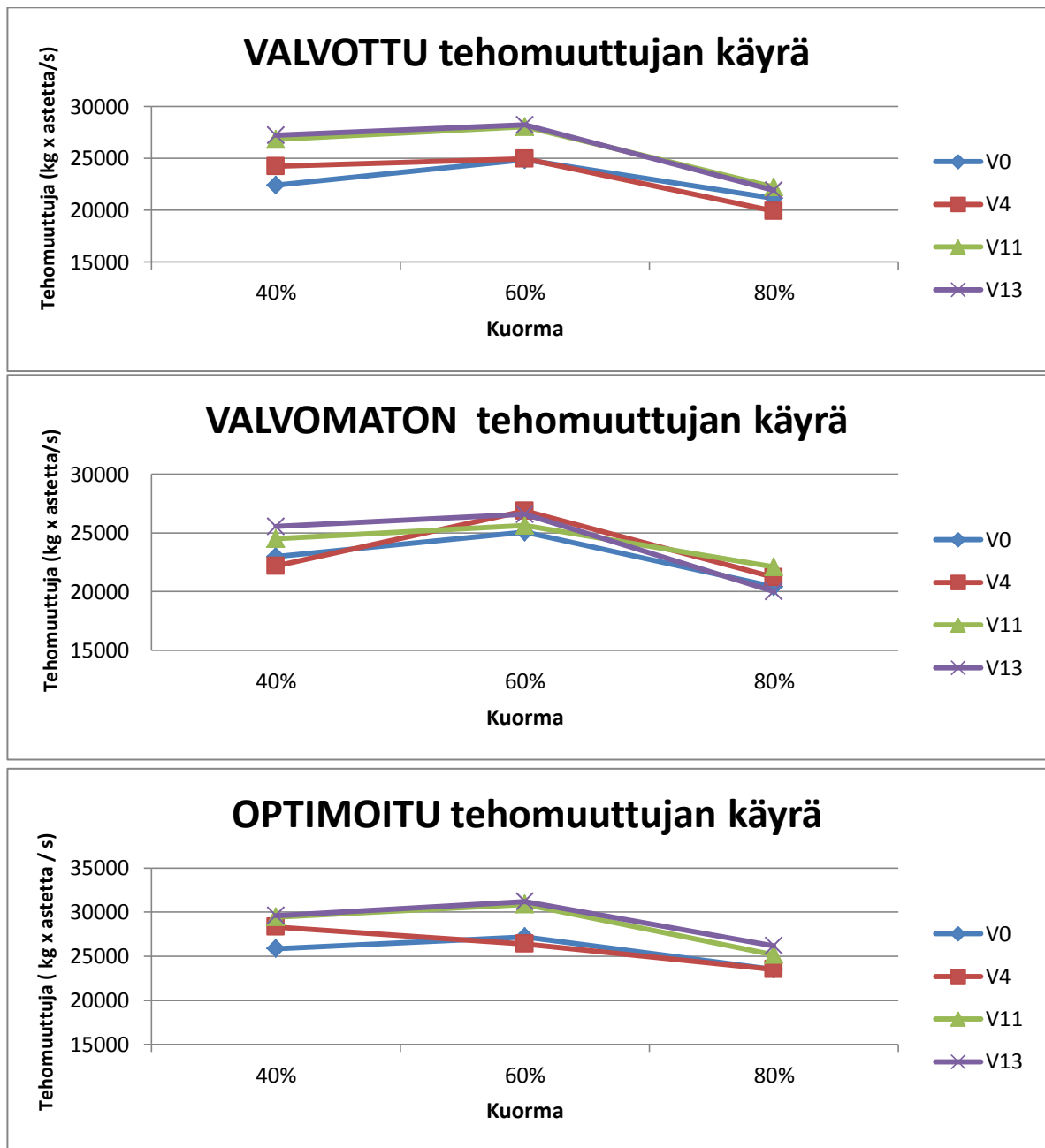
TAULUKKO 4. Tehomuuttujan absoluuttiset arvot eri mittauspisteissä.

	Viikko 0	Viikko 4	Viikko 11	Viikko 13
40%	<i>Valvomaton:</i> 22884 <i>Valvottu:</i> 22555 <i>Optimoitu:</i> 25864	<i>Valvomaton:</i> 23406 <i>Valvottu:</i> 24109 <i>Optimoitu:</i> 28294	<i>Valvomaton:</i> 24792* <i>Valvottu:</i> 26815*** <i>Optimoitu:</i> 29437 (t)	<i>Valvomaton:</i> 25551* <i>Valvottu:</i> 27208*** <i>Optimoitu:</i> 29594
60%	<i>Valvomaton:</i> 25685 <i>Valvottu:</i> 24881 <i>Optimoitu:</i> 27350	<i>Valvomaton:</i> 28605 <i>Valvottu:</i> 24533 <i>Optimoitu:</i> 27655	<i>Valvomaton:</i> 26932 <i>Valvottu:</i> 28045*** <i>Optimoitu:</i> 30502**	<i>Valvomaton:</i> 26586 <i>Valvottu:</i> 28215* <i>Optimoitu:</i> 30959*
80%	<i>Valvomaton:</i> 20548 <i>Valvottu:</i> 20846 <i>Optimoitu:</i> 25495	<i>Valvomaton:</i> 21416 <i>Valvottu:</i> 19698 <i>Optimoitu:</i> 24834	<i>Valvomaton:</i> 22208 <i>Valvottu:</i> 22227 <i>Optimoitu:</i> 26505	<i>Valvomaton:</i> 20004 <i>Valvottu:</i> 21912 <i>Optimoitu:</i> 26504

* = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$. * = verrattuna viikkoon 0 ja (t) = Trendi verrattuna viikkoon 0 ($p < \text{tai} = \text{kuin } 0.6$)

Tehomuuttujien arvoista eri aikapisteissä saatiin muodostettua niin kutsutut tehokäyrät, joista nähdään tehontuoton käyttäytyminen kuormakohtaisesti eri aikapisteissä ja kokonaiskäyrän mahdolliset muutokset. Valvomattoman ryhmän tehokäyrän trendi oli sellainen, että se paransi ensin 60% tehomuuttujan arvoa viikkojen 0 ja 4 välillä ja vasta viikkojen 4 ja 11 sekä 11 ja 13 välillä tehomuuttujan arvoa kuormalla 40%. 80% kuormalla tehomuuttujan arvo ei juuri muuttunut. Valvottujen ryhmien tehomuuttujan käyrän trendit

olivat melko samankaltaiset keskenään. Ensin kehittyi tehomuuttuja kuormalla 40% viikosta 0 viikkon 4 ja viikosta 4 viikkoon 11 koko käyrä kehittyi melko tasaisesti (Kuva 8).



KUVA 7. Kaikkien interventioryhmien tehomuuttujan käyrät (40 %, 60% ja 80 % kuormat) eri mittauspisteissä. Tehomuuttujan yksikkö on [kuorma x liikenopeus eli (kg * astetta/s)].

8.2 Ryhmien väliset muutokset

Ryhmien sisäisiä muutoksia tarkasteltiin suhteellisten muutosten avulla ($\Delta\%$). Voimamuuttujissa eli isometrisessä maksimivoimassa, dynaamisessa maksimivoimassa, voimantuottonopeudessa isometrisessä suorituksessa ja keskivoimassa isometrisestä suorituksesta väliltä 0-100ms ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä (taulukko 5).

Liikenopeudessa alkuperäisellä 60% kuormalla oli tilastollisesti merkitseviä eroja viikolta 0 viikolle 13 optimoidun ja valvomattoman ryhmän välillä. Liikenopeudessa 60% kuormalla oli tilastollisesti merkitsevä ero viikolta 0 viikolle 11 optimoidun ja valvomattoman ryhmän välillä ($p \leq 0.05$), viikolta 4 viikolle 11 optimoidun ja valvomattoman ryhmän välillä ($p \leq 0.05$) sekä viikolta 4 viikolle 13 ($p \leq 0.001$). Liikenopeudessa 80% kuormalla oli tilastollisesti merkitsevä ero viikolta 4 viikolle 11 optimoidun ja valvomattoman ryhmän välillä ($p \leq 0.05$). 40% kuormalla liikenopeudessa ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja. Tehomuuttujassa 40% kuormalla oli tilastollisesti merkitsevä ero viikolta 0 viikolle 11 valvotun ja valvomattoman ryhmän välillä. Tehomuuttujassa 80% kuormalla oli tilastollisesti merkitsevä ero viikolta 4 viikolle 11 valvotun ja valvomattoman ryhmän välillä ($p \leq 0.05$). (Taulukko 6.)

TAULUKKO 5. Suhteelliset muutokset ja keskihajonnat muuttujien ISOMAX, DYMAX, RFD, 0-100 ja V40 % ms muuttujien osalta.

	$\Delta\%$ V0-V4	$\Delta\%$ V0-V11	$\Delta\%$ V0-V13	$\Delta\%$ V4-V11	$\Delta\%$ V4-V13	$\Delta\%$ V11-V13
ISOMAX	Unsup: + 6.20 \pm 10.83 Sup: + 7.42 \pm 5.59 Optim: + 12.09 \pm 8.23	Unsup: + 13.30 \pm 12.94 Sup: + 18.19 \pm 16.35 Optim: + 18.05 \pm 15.25	Unsup: + 15.92 \pm 17.39 Sup: + 25.82 \pm 27.91 Optim: + 15.12 \pm 15.32	Unsup: + 6.76 \pm 6.66 Sup: + 9.95 \pm 13.44 Optim: + 5.41 \pm 12.52	Unsup: + 8.82 \pm 5.89 Sup: + 18.29 \pm 24.46 Optim: + 4.49 \pm 13.00	Unsup: + 0.15 \pm 4.91 Sup: + 6.27 \pm 10.62 Optim: - 1.04 \pm 1.29
DYMAX	Unsup: + 5.70 \pm 4.44 Sup: + 6.58 \pm 4.40 Optim: + 8.23 \pm 7.68	Unsup: + 10.70 \pm 6.68 Sup: + 15.43 \pm 7.54 Optim: + 16.59 \pm 14.57	Unsup: + 13.50 \pm 7.88 Sup: + 21.11 \pm 10.18 Optim: + 19.28 \pm 10.96	Unsup: + 5.44 \pm 3.78 Sup: + 6.98 \pm 7.31 Optim: + 5.98 \pm 3.82	Unsup: + 8.09 \pm 4.82 Sup: + 12.77 \pm 9.71 Optim: + 11.25 \pm 3.62	Unsup: + 1.91 \pm 3.56 Sup: + 6.19 \pm 5.63 Optim: + 5.01 \pm 2.39
RFD	Unsup: - 1.93 \pm 23.56 Sup: + 23.93 \pm 44.56 Optim: + 13.94 \pm 33.13	Unsup: + 3.7 \pm 28.45 Sup: + 22.96 \pm 37.39 Optim: + 7.58 \pm 27.82	Unsup: + 14.13 \pm 35.02 Sup: + 23.77 \pm 40.21 Optim: + 18.30 \pm 37.77	Unsup: + 12.43 \pm 24.60 Sup: + 1.63 \pm 13.80 Optim: - 4.44 \pm 21.35	Unsup: + 14.85 \pm 28.17 Sup: + 0.58 \pm 26.54 Optim: + 4.94 \pm 12.45	Unsup: + 3.27 \pm 37.52 Sup: + 3.31 \pm 21.71 Optim: + 7.41 \pm 16.87
0-100ms	Unsup: + 1.08 \pm 43.40 Sup: + 25.18 \pm 71.38 Optim: + 14.01 \pm 28.25	Unsup: + 33.20 \pm 34.04 Sup: + 30.27 \pm 55.46 Optim: + 17.39 \pm 39.73	Unsup: + 26.27 \pm 59.02 Sup: + 41.13 \pm 87.06 Optim: + 29.30%	Unsup: + 24.52 \pm 25.76 Sup: + 13.94 \pm 32.63 Optim: + 2.32 \pm 21.83	Unsup: + 26.38 \pm 38.07 Sup: + 19.93 \pm 31.26 Optim: + 11.65 \pm 32.27	Unsup: + 2.82 \pm 29.24 Sup: + 3.42 \pm 29.57 Optim: + 10.96 \pm 15.79
V40 %	Unsup: - 9.42 \pm 22.19 Sup: + 1.30 \pm 7.39 Optim: + 3.06 \pm 5.74	Unsup: - 6.22 \pm 14.29 Sup: + 3.50 \pm 4.88 Optim: + 1.94 \pm 5.49	Unsup: - 4.79 \pm 5.89 Sup: + 1.98 \pm 7.05 Optim: - 3.23 \pm 9.51	Unsup: + 9.70 \pm 29.13 Sup: + 3.43 \pm 5.92 Optim: - 0.99 \pm 4.29	Unsup: - 1.84 \pm 5.82 Sup: + 1.64 \pm 6.76 Optim: - 5.02 \pm 7.93	Unsup: - 2.39 \pm 4.82 Sup: - 1.74 \pm 6.76 Optim: - 4.77 \pm 7.40

* = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$. * = verrattuna valvomattomaan ryhmään. Ryhmät: Unsup = Valvoton ryhmä, Sup = Valvottu ryhmä, Optim. = Optimoitu ryhmä.

Muuttujat: ISOMAX = Isometrinen maksimivoima, DYMAX = Dynaaminen maksimivoima, RFD = Voimantuottoisuus isometrisessä suorituksessa, 0-100ms = Keskiarvoinen voima ensimmäisen 100 millisekunnin aikana isometrisessä suorituksessa, V40 % = Liikenoisuus 40 % kuormalla 1 RM.

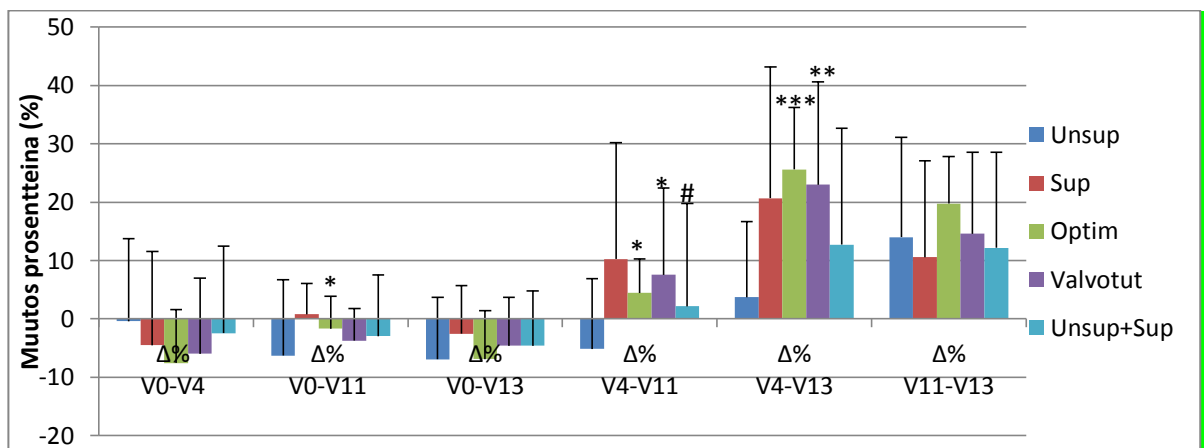
TAULUKKO 6. Suhteelliset muutokset ja keskihajonnat muuttujien V60%, V80%, P40%, P60% ja P80% -muuttujien osalta.

	$\Delta\%$ V0-V4	$\Delta\%$ V0-V11	$\Delta\%$ V0-V13	$\Delta\%$ V4-V11	$\Delta\%$ V4-V13	$\Delta\%$ V11-V13
Vold60 %	Unsup: + 4.72 ± 14.41 Sup: - 0.68 % ± 9.23 Optim: + 6.69 ± 10.95	Unsup: + 10.02 ± 15.86 Sup: + 13.46 ± 11.87 Optim: + 13.82 ± 8.72	Unsup: + 3.91 ± 6.09 Sup: + 11.71 ± 19.21 Optim: + 15.38 ± 6.58 *	Unsup: + 5.57 ± 14.71 Sup: + 15.73 ± 18.19 Optim: + 7.09 ± 7.35	Unsup: + 1.82 ± 12.02 Sup: + 12.93 ± 18.65 Optim: + 6.81 ± 7.33	Unsup: - 3.45 ± 11.83 Sup: -1.67 ± 12.15 Optim: -0.47 ± 6.31
V60 %	Unsup: - 0.41 ± 14.19 Sup: - 4.50 ± 16.03 Optim: - 7.56 ± 9.12	Unsup: - 6.29 ± 12.96 Sup: + 0.79 ± 5.25 Optim: - 1.68 ± 5.59 *	Unsup: - 6.92 ± 10.58 Sup: - 2.53 ± 8.26 Optim: - 6.86 ± 8.23	Unsup: - 5.14 ± 12.02 Sup: + 10.27 ± 19.91 Optim: + 4.46 ± 5.84 *	Unsup: 3.71 ± 12.98 Sup: + 20.67 ± 22.50 Optim: + 25.60 ± 10.59 ***	Unsup: + 14.00 ± 17.10 Sup: + 10.57 ± 16.52 Optim: +19.77 ± 8.05
V80 %	Unsup: + 7.16 ± 38.85 Sup: - 11.09 % ± 10.09 Optim: - 6.15 ± 10.77	Unsup: + 5.54 ± 42.17 Sup: - 6.12 ± 7.73 Optim: - 9.34 ± 12.77	Unsup: - 3.19 ± 47.67 Sup: - 11.71 ± 19.21 Optim: - 15.99 ± 13.83	Unsup: - 2.32 ± 8.51 Sup: + 6.46 ± 15.64 Optim: + 0.10 ± 8.34 *	Unsup: - 13.97 ± 11.02 Sup: - 0.42 ± 14.60 Optim: - 9.69 ± 16.47	Unsup: - 11.04 ± 9.47 Sup: - 5.72 ± 12.23 Optim: - 10.36 %
P40 %	Unsup: - 2.89 ± 18.80 Sup: + 8.55 ± 8.29 Optim: + 13.31 ± 14.42	Unsup: + 6.78 ± 7.50 Sup: + 20.23 ± 10.56 * Optim: + 18.51 ± 14.73	Unsup: + 11.91 ± 9.47 Sup: + 21.87 ± 13.28 Optim: + 14.47 ± 10.95	Unsup: + 15.07 ± 29.93 Sup: + 12.46 ± 11.79 Optim: + 4.79 ± 5.96	Unsup: + 9.61 ± 13.38 Sup: + 13.94 ± 13.48 Optim: + 3.66 ± 10.32	Unsup: +3.55 % Sup: + 1.25 ± 3.89 Optim: - 0.36 ± 7.21
P60 %	Unsup: + 3.96 ± 13.27 Sup: + 1.26 ± 15.62 Optim: + 0.73 ± 9.69	Unsup: + 2.95 ± 14.37 Sup: + 13.78 ± 7.92 Optim: + 11.71 ± 9.43	Unsup: +4.89 ± 11.15 Sup: + 15.24 ± 13.57 Optim: + 10.88 ± 7.60	Unsup: - 0.45 ± 11.46 Sup: + 17.24 ± 22.72 Optim: + 11.16 ± 8.90	Unsup: - 2.24 ± 8.96 Sup: + 18.10 ± 21.59 Optim: + 11.09 ± 13.88	Unsup: -0.133 ± 11.55 Sup: + 1.14 ± 7.48 Optim: - 0.22 ± 9.90
P80 %	Unsup: - 1.34 ± 11.45 Sup: - 5.13 ± 10.51 Optim: - 0.85 ± 9.66	Unsup: + 0.55 ± 10.82 Sup: + 6.15 ± 8.11 Optim: + 4.74 ± 12.92	Unsup: - 9.36 ± 14.35 Sup: + 4.60 ± 12.28 Optim: - 0.79 ± 19.89	Unsup: + 3.85 ± 8.30 Sup: + 12.80 ± 15.22 * Optim: + 6.35 ± 7.26	Unsup: - 6.18 ± 11.62 Sup: + 10.60 ± 14.41 Optim: - 0.68 ± 17.99	Unsup: -9.38 ± 8.44 Sup: - 1.28 ± 10.89 Optim: - 6.06 ± 17.40

* = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$. * = verrattuna valvomattomaan ryhmään. Ryhmät: Unsup = Valvomaton ryhmä, Sup = Valvottu ryhmä, Optim. = Optimoitu ryhmä.

Muuttujat: V40; V60; Vold60 ja V80 % = Räjähävän dynaamisen jalkaprässin liikenopeudet eri kuormilla ja P40 %, P60 %, Pold60 %, P80 % = Räjähävän dynaamisen jalkaprässin tehomuuttujan arvot eri prosentuaalisilla (%) kuormilla 1RM.

Kun valvotut ryhmät eli valvottu (Sup) ja optimoitu (Optim) yhdistettiin ja tätä yhdistettyä ryhmää (Valvotut) verrattiin valvomattomaan (Unsup) ryhmään löytyi tilastollisesti merkitseviä eroja dynaamisesta maksimivoimassa viikolta 11 viikolle 13 ($p \leq 0.05$), liikenopeudessa 40% kuormalla viikolta 0 viikolle 4 ($p \leq 0.05$), liikenopeudessa alkuperäisellä 60% kuormalla viikolta 0 viikolle 13 ($p \leq 0.05$), liikenopeudessa 60% kuormalla viikolta 4 viikoille 11 ($p \leq 0.05$), ja 13 ($p \leq 0.01$) (Kuva 8.), tehomuuttujan arvossa 40% kuormalla viikolta 0 viikolle 4 ($p \leq 0.05$) ja viikolta 0 viikolle 11 ($p \leq 0.05$), tehomuuttujan arvossa 60% kuormalla viikolta 0 viikolle 11 ($p \leq 0.05$) ja viikolta 4 viikolle 13 ($p \leq 0.05$). Lisäksi tehomuuttujassa 60% kuormalla oli selvä trendi viikolta 4 viikolle 11 ($p = 0.053$). (Taulukko 7.) Yhdistettyjä ”ei-optimoituja” -ryhmiä (Unsup + Sup) vertailtaessa optimoituun ryhmään (Optim) löytyi näiden väliltä tilastollisesti merkitseviä eroja ainoastaan liikenopeudessa 60% kuormalla viikolta 0 viikolle 13 ($p \leq 0.05$) ja viikolta 4 viikolla 13 ($p \leq 0.05$).



* = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$. * = Verrattuna valvomattomaan ryhmään, # = verrattuna optimoituun -ryhmään.

KUVA 8. Muutosprosentit 60% kuormalla. $\Delta\%V0-V4$ = Muutosprosentti viikkojen 0 ja 4 välillä, $\Delta\%V0-V11$ = Muutosprosentti viikkojen 0 ja 11 välillä, $\Delta\%V0-V13$ = Muutosprosentti viikkojen 0 ja 13 välillä, $\Delta\%V4-V11$ = Muutosprosentti viikkojen 4 ja 11 välillä, $\Delta\%V4-V13$ = Muutosprosentti viikkojen 4 ja 13 välillä ja $\Delta\%V11-V13$ = Muutosprosentti viikkojen 11 ja 13 välillä. $\Delta\%$

TAULUKKO 7. Koonti yhdistettyjen valvottujen ryhmien ja valvomattoman ryhmän välisistä tilastollisesti merkitsevästä eroista, joissa valvotut ryhmät ovat kehittyneet valvomatonta enemmän. Valvonnan ja palautteennannon mukaan eroavan ajanjakson (viikot 4–13) aikana tapahtuneet muutokset on **vahvistettu**.

Muuttuja	Aikaväli
<i>Dynaaminen maksimivoima</i>	Viikko 11 – Viikko 13 $p \leq 0.05$ yhdistettyjen valvottujen ryhmien (SUP-COMB.) ja valvomattoman ryhmän välillä (UNSUP).
<i>Dynaamisen jalkaprässin liikenopeus 40% kuorma</i>	Viikko 0 – Viikko 4 ($p \leq 0.05$) ja Viikko 0 – Viikko 11 ($p \leq 0.05$) yhdistettyjen valvottujen ryhmien (SUP-COMB.) ja valvomattoman ryhmän välillä (UNSUP).
<i>Dynaamisen jalkaprässin liikenopeus alkuperäisellä 60% kuormalla</i>	Viikko 0 – Viikko 13 ($p \leq 0.05$) yhdistettyjen valvottujen ryhmien (SUP-COMB.) ja valvomattoman ryhmän välillä (UNSUP).
<i>Dynaamisen jalkaprässin liikenopeus uudella 60% kuormalla</i>	Viikko 0 – Viikko 13 ($p \leq 0.05$), Viikko 4 – Viikko 11 ($p \leq 0.05$) ja Viikko 4 – Viikko 13 ($p \leq 0.01$) yhdistettyjen valvottujen ryhmien (SUP-COMB.) ja valvomattoman ryhmän välillä (UNSUP).
<i>Tehomuuttuja 40% kuormalla</i>	Viikko 0 – Viikko 4 ($p \leq 0.05$) ja Viikko 0 – Viikko 11 ($p \leq 0.05$) yhdistettyjen valvottujen ryhmien (SUP-COMB.) ja valvomattoman ryhmän välillä (UNSUP).
<i>Tehomuuttuja 60% kuormalla</i>	Viikko 0 – Viikko 11 ($p \leq 0.05$) ja Viikko 4 – Viikko 13 ($p \leq 0.05$) yhdistettyjen valvottujen ryhmien (SUP-COMB.) ja valvomattoman ryhmän välillä (UNSUP). Lisäksi trendi Viikko 4 – Viikko 11 ($p = 0,053$) yhdistettyjen valvottujen ryhmien (SUP-COMB.) ja valvomattoman

9 POHDINTA

Tutkimuksen päälöydökset olivat, että tehontuottoa kuvaavista muuttujista tehomuuttuja ja submaksimaalisten kuormien liikenopeudet kehittyvät paremmin valvonnan alaisuudessa harjoitelleilla ryhmillä mutta niin isometrinen kuin dynaaminenkin maksimivoima kehittyvät samankaltaisesti kaikilla interventoryhmillä. Optimoitu ryhmä eli Gymcoach –ohjelmiston keräämän datan mukaan muokatun ohjelman mukaisesti harjoitellut ryhmä kehittyi samalla tavalla valvontaa saaneen ryhmän kanssa eli tilastollisesti merkitseviä eroja näiden ryhmien väliltä ei löytynyt. Valvonta siis vaikutti nopeusvoimaominaisuuksissa kehittymiseen positiivisesti mutta sillä ei ollut merkitystä maksimivoimamuuttujien kehityksen kannalta. Myöskään valvontaan lisätyllä Gymcoach –ohjelmiston mukaan toteutetulla harjoittelun optimoinnilla ei saatu tilastollisesti merkitseviä lisähyötyjä minkään ominaisuuksien osalta. Valvottu ja Optimoitu ryhmä kuitenkin kehittyivät hieman erilailla (kun molempia verrattiin valvomattomaan ryhmään) nopeusvoimamuuttujien osalta, sillä optimoitu ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi valvomattomaan ryhmään verrattuna *liikenopeudesta* kertovissa muuttujissa, kun taas valvottu ryhmä kehittyi tilastollisesti merkitsevästi valvomattomaan ryhmään verrattuna *tehoa* kuvaavassa tehomuuttujassa. Optimoidun ryhmän ”optimointi” perustui juurikin liikenopeuteen (eli kuormaa säädettiin, jotta saatiin riittävä liikenopeus) ja valvottua ryhmää kannustettiin tekemään mahdollisimman räjähtävästi ennalta määritetyille kuormilla, joten tämä kuvastanee hyvin nopeusvoimaharjoittelun *spesifisyyden* toteutumista. ”Ei-optimoitujen” ja Optimoidun ryhmän väliltä löytyi myös yksi tilastollinen merkitsevyys (liikenopeus viikkojen 4 ja 11 välillä [$p \leq 0.05$]) ja myös tämä tukee konsensusta adaptaatioiden spesifisyydestä eli myös optimoinnin toimivuudesta (mikäli tavoitteena on saada kehitystä juuri liikenopeuteen).

Ensimmäinen tutkimuskysymys oli ”Vaikuttaako harjoitusten aikainen valvonnan ja palautteen määrä ja laatu nopeusvoimaharjoittelun aikaansaamiin muutoksiin suorituskyvyssä?” Hypoteesina oli, että optimointi eli yhdistetty valvonta ja Gymcoach palaute johtaisi suurempaan kehitykseen kuin pelkkä valvonta ja edelleen valvonta johtaisi suurempaan kehitykseen kuin valvottoman harjoittelu. Hypoteesi ei toteutunut täydellisesti, sillä valvottujen ryhmien välillä ei löytynyt eroja missään muuttujassa, mutta sekä optimoitu että valvottu ryhmä kehittyivät useissa nopeusvoimamuuttujissa valvottomaa ryhmää enemmän. Kun valvotut ryhmät yhdistettiin ja niitä verrattiin valvomattomaan ryhmään, niin tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi useista nopeusvoimaa kuvaavista muuttujista (muun muassa liikenoisuus 60% kuormalla viikolta 4 viikoille 11 ja 13 ja tehomuuttuja 60% kuormalla viikolta 4 viikolle 13). Nämä tulokset ovat nopeusvoimaominaisuuksien osalta linjassa Enoksenin (2013) tutkimuksen kanssa, jossa havaittiin valvotun ryhmä kehittyvän enemmän sekä maksimivoima- että nopeusvoimaominaisuuksia kuvaavissa muuttujissa. Lisäksi tulokset tukevat Wise ym. (2004) havaintoja, että pelkästään melko yleistä tietoa sisältävän verbaalisen viestin antaminen harjoittelun aikana parantaa suoritusta. Viestin sisällöllä ei tutkimuksen perusteella ollut merkitystä, sillä toinen ryhmä sai tarkkaa palautetta suorituksestaan ja toinen melko yleistä informaatiota liikunnasta. Tärkeintä oli, että viestissä mainittiin viestin antajan liikuntatieteellinen osaaminen sekä annettiin positiivista palautetta. (Wise ym. 2004). Tämä voisi osaltaan selittää valvomattoman ja valvottujen ryhmien välille syntyneitä eroja, sillä valvotun ja optimoidun ryhmän harjoituksissa valvojana toimi liikuntatieteiden opiskelija, joka antoi palautetta suorituksesta. Lisäpalaute ja ohjelman säätäminen optimoidun ryhmän kohdalla tapahtui puolestaan neutraalisti GymCoach sovelluksen kautta. Valvotun ja optimoidun ryhmän välillä tilastollisesti merkitseviä eroja ei löytynyt minkään muuttujan osalta. Tämän tutkimuksen tulokset ovat siis näiltä osin linjassa Wise ym. (2004) tulosten kanssa, jolloin tärkeintä on valvonta ja palautteen saaminen yleensä ei niinkään palautteen laatu.

Toinen tutkimuskysymys oli “Vaikuttaako harjoitusten aikainen valvonnan ja palautteen määrä ja laatu tutkittavien maksimivoiman ja maksimaalisen tehontuoton väliseen suhteeseen?” Hypoteesi oli, että maksimivoima ja tehontuotto kehittyisivät samassa suhteessa eri ryhmien välillä, sillä kyse oli ei harjoitelleista koehenkilöistä. Isometrinen maksimivoima kehittyi ryhmillä 15–26% ja dynaaminen maksimivoima 14–21%. Tehontuottoa kuvaavat muuttujat puolestaan kehittyivät seuraavasti: Liikenopeus alkuperäisellä 60% kuormalla kehittyi 4–15%, tehomuuttuja 40% kuormalla 12–21%, tehomuuttuja 60% kuormalla 5–15% ja tehomuuttuja 80% kuormalla -10% →+15%. Aivan samassa suhteessa maksimivoima ja tehontuotto eivät siis kehittyneet vaan tehontuoton kehitys oli pienempää kuin maksimivoiman. Ryhmistä tehontuotto jää maksimivoiman kehityksestä jälkeen eniten valvomattomalla ryhmällä, joka kehittyi isometrisessä maksimivoimassa 16% ja dynaamisessa 14%, mutta liikenopeudessa alkuperäisellä 60% kuormalla kehitystä tapahtui 4% ja tehomuuttujissa 40, 60 ja 80% kuormilla järjestyksessä 12%, 5% ja -10%. Ainakin osittain tehontuoton jääminen pienemmäksi kuin maksimivoiman johtuneen siitä, että tutkimuksen harjoittelujaksoa jouduttiin lyhentämään alkuperäisestä 16 viikosta lopulliseen 13 viikkoon ja juuri tällä viimeisellä jaksolla oli tarkoitus painottaa eniten nopeusvoimaominaisuuksien harjoittelemista. Osaltaan tehontuoton jäämistä jälkeen saattaa selittää myös koehenkilöiden suhteellisen alhaiset voimatasot, sillä räjähtävät nopeusvoimaominaisuudet näyttäisivät kehittyvän hieman paremmin suuremmat voimatasot omaavilla henkilöillä verrattuna pienempiä voimatasoja omaaviin henkilöihin (Cormie ym. 2010). Löydökset ovat osaltaan linjassa Andersenin & Aagardin (2010) tutkimuksen ja Cormien (2010) meta-analyysin kanssa, joissa todettiin maksimivoiman ja tehontuoton välillä olevan selkeä yhteys ja, että aloittelijoilla pelkkä voiman kasvattaminen lisää tehontuottoa merkittävästi. Näin tapahtui myös tässä tutkimuksessa. Hypoteesi kuitenkin kumoutui siltä osin, että maksimivoima ja tehontuotto kehittyivät eri tavalla sekä isometrisen että dynaamisen maksimivoiman kehittyessä tehontuotto-ominaisuuksia enemmän. Maksimivoimaominaisuudet myös alkoivat kehittyä huomattavasti varhaisemmassa vaiheessa kuin nopeusvoimaominaisuudet, sillä isometrinen

maksimivoima kasvoi valvotulla ja valvomattomalla ryhmällä ja dynaaminen maksimivoima valvotulla ryhmällä jo viikkojen 0 ja 4 välillä, mutta ensimmäiset tilastollisesti merkitsevät muutokset nopeusvoimasuorituskyvyssä havaittiin vasta viikolla 11.

Valvomisen ja palautteen merkitys näytti olevan tärkeämpää tehontuotto-ominaisuuksien kehittämisessä, sillä valvotut ryhmät kehittivät liikeno- ja tehomuuttujissa valvomaton ryhmää enemmän. Käytännössä siis valvoton ryhmä kehittyi maksimivoimassa tilastollisesti merkitsevästi, mutta ei yhdessäkään voimantuottonopeusmuuttujassa, kun taas valvotut ryhmät kehittivät sekä maksimivoimassa että nopeusvoimaominaisuuksissa. Voiman ja nopeusvoiman suhdetta kuvaamaan käytettiin dynaamisen maksimivoiman ja alkuperäisellä 60% kuormalla suoritettujen räjähtävien suoritusten liikeno- ja tehomuuttujien suhdetta. Tuloksiksi tästä suhdearvosta ($\text{DymaxViikko4-Viikko13} / \text{Liikeno- ja tehomuuttujien suhdetta}$) koko valvonnan ja palautteen osalta eroavan jakson osalta eli viikolta 4 viikolle 13 tuli valvomattomalle ryhmälle 4,4 ; valvotulle ryhmälle 1,1 ja optimoidulle 1,7. Voidaan siis todeta, että ainakin dynaamisen voiman ja dynaamisen tehontuoton osalta valvonnalla oli merkittävä rooli maksimivoiman ja tehontuoton väliseen suhteeseen siten, että tehontuotto jäi selvästi maksimivoimaa jälkeen valvomattomalla ryhmällä (maksimivoiman kehittyi suhteessa 4.4 x enemmän kuin tehontuotto), mutta pysyi lähes maksimivoiman tahdissa valvotulla ryhmällä (maksimivoima kehittyi vain 1.1 x tehontuoton verran) ja jäi jonkin verran jälkeen optimoidulla ryhmällä (maksimivoima kehittyi 1.7 x tehontuoton verran).

Voima-arvot kehittyivät jokseenkin samanlaisesti kaikilla ryhmillä, poikkeuksena optimoitu ryhmä, joka oli ainoa, jolla dynaaminen maksimivoima kehittyi tilastollisesti merkitsevästi vielä viikkojen 11 ja 13 välillä. Tämä voisi johtua optimoidun ryhmän optimaalisesta nopeusvoima- ja tehontuoton adaptaatiosta, sillä harjoittelun alkuvaiheessa voiman ja tehontuoton adaptaatiot menevät aika lailla ristiin ja ovat hyvin epäspesifisiä (Cormie ym. 2011). Näin ollen

optimoidun ryhmän muita tehokkaampi nopeusvoimaärsyke on saattanut johtaa myös parempaan kehitykseen dynaamisen maksimivoiman osalta. Myös yhdistetyt valvotut ryhmät kehittyivät samalla aikajaksolla valvomattoma ryhmää tilastollisesti paremmin, mikä voisi viitata samankaltaisiin adaptaatioihin (tehokkaampi nopeusvoimaärsyke) valvotun ryhmän osalta, mutta pelkästään verbaalisen kannustuksen ja motivoinnin kautta. Nopeusvoiman osalta puolestaan on hyvä huomioida, että optimoidun ryhmän harjoittelu perustui liikenopeuden optimointiin ja harjoituskuormat nopeusvoimaharjoittelussa painoittuivat 60% 1RM paikkeille, mikä selittänee optimoidun ryhmän kehitystä liikenopeusmuuttujissa sekä vanhalla 60% (Vold60%) että uudella (60%) kuormalla. Tämä myös vahvistaa aiempaa tutkimustietoa nopeusvoimaharjoittelun kuorma- ja liikenopeusspesifisyydestä (Moffroid ym. 1970, McBride ym. 2002).

Tämän tutkimuksen tulokset ovat nopeusvoiman osalta linjassa Enoksenin (2013) tutkimuksen kanssa, sillä valvotut ryhmät kehittyivät tilastollisesti merkitsevästi nopeusvoimaominaisuuksissa verrattuna valvomattomaan ryhmään. Lisäksi tämän tutkimuksen tulokset ovat linjassa Wise (2004) tutkimuksen kanssa siltä osin, että palautteen sisältö ei näytä vaikuttavan merkittävästi suorituskykyyn vaan positiivinen palaute ja pätevä palautteenantaja ovat suurimmassa roolissa. Tutkimuksen koehenkilöt kaikkien ryhmien osalta kehittyivät tilastollisesti merkitsevästi isometrisessä ja dynaamisessa maksimivoimassa mutta voimantuottonopeudesta kertovissa muuttujissa vain dynaamisissa suorituksessa ja vain valvottujen ryhmien osalta. Harjoittelu oli tutkimuksen koehenkilöillä dynaamista ja räjähtäviin suorituksiin käytetyistä kuormista suurin osa oli 50-70% 1RM:n välillä (jota päivitettiin aina välitestien uuden 1RM:n mukaan) ja eniten merkitseviä kehityksiä tehontuotossa tapahtui 60%:in kuormalla. Tehontuoton osalta tämän tutkimuksen tulokset vahvistavat aiempaa konsensusta harjoittelun spesifisyydestä niin liikemallille (Cormie 2007) liikenopeudelle (Moffroid 1970) kuin kuormallekin (Kaneko ym. 1983). Tämän tutkimuksen tulokset eivät olleet linjassa Couttsin (2004) tai Mazettin (2000)

tutkimusten kanssa maksimivoiman osalta, sillä maksimivoima ei järjestelmällisesti kehittynyt enemmän valvotuilla ryhmillä verrattuna valvomattomaan.

9.1 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tutkimuksen vahvuudet olivat laajassa määrässä suorituskykymuuttujia, joilla saatiin selville maksimivoiman ja voimantuottonopeuden muutoksia sekä isometrisessä että dynaamisessa suorituksessa. Käyttämällä useita eri kuormia tehomittauksissa saatiin myös tietoa tutkittavien absoluuttisen ja suhteellisen tehontuoton muutoksista sekä niin kutsutusta ”optimitehoalueesta”.

Tutkimuksen heikkoutena oli erimittaiset harjoitusjaksot suorituskykymittausten välissä. Mittaukset ajoittuivat viikoille 0, 4, 11 ja 13 eli tutkimus sisälsi käytännössä kolme eripituista harjoitusjaksoa, joista 4 ja 11 viikon välillä myös harjoittelun painopiste muuttui kertalleen. Tämä vaikeuttaa tulosten tulkintaa siltä osin, että on vaikea sanoa johtuivatko tehontuoton kehityksen enemmän maksimivoimaharjoittelusta vai nopeusvoimaharjoittelusta. Viimeinen nopeusvoimaan tähtäävä jakso jäi myös suunniteltua lyhyemmäksi, joten suunnitellulla tavalla voimantuottonopeuden kehittämiseen tarkoitettua harjoittelua ei pystytty suorittamaan, jolloin myös nopeusvoima-adaptaatiot saatoivat jäädä oletettua pienemmiksi. Toinen heikkous tutkimuksessa oli ilman GymCoach -sovellusta harjoitteleva ryhmä, sillä nyt kun GymCoach -sovellus oli käytössä kaikilla ryhmillä, niin ei saatu selville eroa valvomattoman, GymCoach -sovelluksen avulla suoritettua harjoittelun, ja tavallisen valvomattoman harjoittelun välillä. Toisaalta valvomattoman, GymCoach -sovelluksen avulla suoritettua harjoittelun eroavaisuudet ”tavalliseen” valvomattomaan harjoitteluun olivat aika vähäiset, sillä GymCoach -sovellus korvasi käytännössä vain paperisen harjoitusohjelman ja laski toistot/sarjat sekä laski palautuksen (mutta palautus oli ohitettavissa manuaalisesti).

9.2 Johtopäätökset ja käytännön sovellukset

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää aikaisemman tutkimustiedon tukena ja näin ollen voidaan antaa suosituksia valvotun voimaharjoittelun puolesta ainakin aikaisempaa voimaharjoittelutaustaa omaamattomille henkilöille. Varsinkin nopeusvoimaominaisuuden kannalta valvonnalla näittäisi olevan positiivisia vaikutuksia harjoitusvasteeseen. Valvonaan lisätyllä GymCoach palauttella ja tämän perusteella tehdyllä harjoitusohjelman optimoinnilla ei suuressa mittakaavassa näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella olevan lisähyötyä pelkkään valvontaan verrattuna, joskin harjoittelun adaptaatioita saatiin optimoinnilla ohjattua hieman eri suuntaan kuin valvonnalla (vrt. liikenopeus vs. teho).

Pelkästään GymCoach sovelluksen vaikutusta harjoitusvasteeseen on tämän tutkimuksen perusteella mahdotonta arvioida, sillä tässä tutkimuksessa kaikki ryhmät käyttivät harjoitusohjelman aikana kyseistä sovellusta. Aiempaan tutkimustietoon pohjaten voidaan kuitenkin spekuloida, että pelkkä GymCoach –älypuhelinsovelluksen käyttö ei johtaisi merkittävästi eriäviin tuloksiin ilman kyseistä sovellusta tehtyyn valvomattomaan voimaharjoitteluun verrattuna. Valvomattoman ryhmän kehitykset maksimivoimatasoissa koko harjoitusjakson aikana (+16 % isometrisessä maksimivoimassa ja +14 % dynaamisen jalkaprässin 1 RM) ovat suunnillen samalla tasolla kuin Couttsin (2004) +16 % kyykyn 3 RM, ja Mazettin (2000) +15% kyykyn 1 RM tutkimusten valvomattomilla ryhmillä ja hieman suuremmat kuin Enoksenin (2013) +6% jalkaprässin 1RM tutkimuksen valvomattomalla ryhmällä. Tässä on hyvä huomioida, että kyykky ja jalkaprässi eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, mutta molemmat kuvaavat lonkan ja polvien ojentajalihasten dynaamista voimantuottoa. Tämän tutkimuksen perusteella voitaisiin siis todeta, että GymCoah –sovelluksen käyttö ilman valvontaa ja/tai optimointia on lähinnä verrattavissa ”vanhanaikaiseen” paperiseen harjoitusohjelmaan.

Asiantuntevan valvojan ohjaamaa/valvomaan yhdistettyä voima- ja nopeusvoimaharjoittelua voidaan siis tämän tutkimuksen valossa suositella yksilöille, joilla ei ole aiempaa säännöllistä voimaharjoittelutaustaa, sillä se johtaa suurempaan kehitykseen nopeusvoimasuorituskyvyssä verrattuna valvomattomaan harjoitteluun. Suurempi kehitys selittynee valvojan kyvystä korjata mahdollisia tekniikkavirheitä, vahvistaa harjoittelumotivaatioita ja tarjota psykologista tukea (Baker 2001) sekä antaa verbaalista kannustusta ja / tai kannustavaa palautetta suoritusten aikana ja palautustauoilla (Wise ym. 2004, Staub ym. 2013). Aiemman tutkimustiedon valossa valvojien määrällä suhteessa urheilijoiden määrään on myös merkitystä, sillä vähemmän urheilijoita per valvoja johtaa suurempiin harjoitusadaptaatioihin (Gentil & Bottaro 2010). Ohjelman optimoiminen liikenopeuteen perustuvalla menetelmällä näyttäisi siirtävän nopeusvoimaharjoittelun adaptaatioiden painopistettä hieman enemmän liikenopeusmuuttujien suuntaan (ei kuitenkaan tilastollisesti merkitsevästi verrattuna valvottuun harjoitteluun), kun taas valvotussa harjoittelussa adaptaatioiden painopiste pysyy maksimaalisen tehontuoton (kuorma ja liikenopeuden kompromissi) puolella. Sitä, kumpaan suuntaan tehoharjoittelulla tulisi pyrkiä (maksimaaliseen suoritusnopeuteen vai maksimaaliseen tehontuottoon), riippuu tietenkin paljon kunkin urheilulajin vaatimuksista ja kuten tässäkin tutkielmassa on esitelty, niin molemmille harjoittelumuodoille löytyy paikkansa yleisvoima – lajivoima jatkumolta.

Näin ollen etenkin aikaisempaa voimaharjoittelutaustaa omaavien, mutta myös kokeneiden urheilijoiden harjoittelun tulisi olla valvottua liikunta-alan ammattilaisen tai koulutetun valmentajan toimesta. Valvojia tulisi olla riittävästi ryhmän kokoon nähden. Tutkimusten perusteella valvojia tulisi olla enemmän yksi viittä kuin yksi kahtakymmentäviittä urheilijaa kohden, jotta valmentajalla on realistinen mahdollisuus tarkkailla harjoituksen kannalta tärkeitä asioita kuten tekniikkaa, kuormia ja sarjapalautuksia sekä antaa verbaalista palautetta ja motivoida urheilijoita. Valvonta näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella olevan erityisen tärkeää nopeusvoimaominaisuuksien kehittymisen kannalta,

mutta aiemman tutkimustiedon valossa valvonta on tärkeää myös maksimivoiman kehittymisen kannalta.

10 LÄHTEET

- Aagaard, P., Andersen J. & Dyhre-Poulsen P. 2001. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J physiol* 2001: 534: 613—23.
- Adams, G. R., Harther, B. M., Baldwin K. M. & Dudley G. A. 1993. Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J. Appl. Physiol.* 74: 991-915, 1993.
- Andersen, J. L. & Aagard, P. 2010. Effects of strength training on muscle fiber types and size: consequences for athletes training for high-intensity sport. *Scand, J. Med Sci Sports* 2010: 20, 32-38.
- Baker, D. 2001. Science and practice of coaching a strength training program for novice and intermediate-level athletes. *Strength Cond. J.* 23:61—68
- Baratta, R., Solomonow, M., Zhou, B. H., Letson, D., Chuinard, R. D. & D'Ambrosia R. 1998. Muscle coactivation. The role of antagonist musculature in maintaining knee joint stability. *Am J Sports Med.* 03/1988, 16(2):113-22.
- Behm, D. G & Sale, D. G. 1993. Intended rather than actual movement velocity determines velocity specific training response. *J Appl Physiol* 1993; 74 (1); 359-68.
- Caiozzo. V. J., Haddad, F., Baker, M. J. & Baldwin, M. 1996. Influence of mechanical loading on myosin heavy-chain protein and mRNA isoform expression. *J. Appl. Physiol.* 80. 1503-1512.
- Cormie P., McCaulley G. O., Triplett T. and McBride J. M. 2007. Optimal loading for maximal power output during lower.body resistance exercises. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, volume 39, issue 2, 340-349.
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. 2011(a). Developing Maximal Neuromuscular Power Part 1– Training considerations for Improving Maximal Power Production. *Sports Med:* 41: 17-38.

- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. 2011(b). Developing Maximal Neuromuscular Power Part 2– Training considerations for Improving Maximal Power Production. *Sports Med*: 41: 125—146.
- Coutts, A. J., Murphy, A. J., Dascombe, B. J. & Aagard, P. 2004. Effect of direct supervision of a strength and power in young rugby league players. *Journal of strength and conditioning research* 18(2): 316—323
- Cramer R. M., Langberg H., Magnusson P. 2004. Changes in satellite cells in human skeletal muscle after single bout of high intensity exercise. *J physiol* 2004; 558: 333–40.
- Crewther B-, Cronin J. and Keogh J. 2006. Possible stimuli for strength and power adaptation. *Sports Med* 2006: 36 (1): 65—78.
- De Boer, M. D., Morse, C. I., Thom, J. M., de Haan A. & Narici M., V. 2007. Changes in antagonist muscles' coactivation in response to strength training in older women. *The journals of gerontology, Series A. Biological sciences and medical sciences*: 62(9):1022-7.
- Desmedt J. E. & Godaux E. 1977. Ballistic contractions in man: Characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J. Physiol.* (1977), 264, pp. 673—693.
- Enoka R. M. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Human kinetics, Yhdysvallat.
- Faulkner, J. A., Claflin, D. R., McCully, K. K. 1986. Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscle. *Kirjasto: Jones, N., McCartney & McComas, A. 1986. Human muscle power*. Human kinetics, Champaign, III. s. 81–90.
- Fleck S. J. & Kraemer J. W. 2004 edition. *Designing resistance training programs*. Human Kinetics.
- Folland & Williams 2007. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med* 2007: 36 (2): 145-168.
- Gentil, P. & Bottaro, M. 2010. Influence of supervision ration on muscle adaptations to resistance training in nontrained subjects. *J Strength Cond Res* 24(3):639-43.

- Haddad F., Anqi X. Q., Ming Z., McCue S. A. and Baldwin K., M. 1998. Effects of isometric training on skeletal myosin heavy chain expression. *J Appl Physiol* 84: 2036-2041, 1998.
- Haff G. G. and Nimphius S. 2012. Training principles for power. *Strength and conditioning journal*. Volume 34, number 6. National strength and conditioning association.
- Haff G. G., Whitley M. S. and Potteiger J. A. 2001. A Brief Review: Explosive exercise and sports performance. *Strength and conditioning journal*. Volume 23, number 3, pages 13-20. National strength and conditioning association.
- Harris G. R., Stone M. H., O'bryant H. S., Proulx C. M & Johnson R. L. 2000. Short-term performance effects of high power, high force or combined weight-training methods. *Journal of strength & conditioning research*. February 2000.
- Häkkinen K., Komi P.V. & Tesch P. A. 1981. Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand. J. Sports Sci.* 3 (2): 50-58, 1981.
- Häkkinen K. & Komi P. V. 1983. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc.* 1983;15(6):455-60.
- Häkkinen K., Newton R. U., Gordon S. E., McCormick M., Volek J. S., Nindl B. C., Gotshalk L. A., Campbell W. W., Evans W. J., Häkkinen A., Humphries B. J. & Kraemer W. J. 1998. Changes in muscle morphology, electromyographic activity and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1998; 53:B315-23
- Häkkinen K., Komi P.V., Alén M. 1985. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 1985 Dec;125(4):587-600.
- Israeterel, M. A., McBride, J. M., Nuzzo, J. L., Skinner, J. W. & Dayne, A. M. 2010. Kinetic and kinematic differences between squats performed with and without elastic bands. *J Strength Cond Res.* 24(1):190-4.

- Ivey, F. M., Tracy, B. L., Lemmer, J. T., NessAiver, M., Metter, E. J., Fozard, J. L. and Hurley B. F. 2000. Effect of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000; 55: B152–7.
- Kadi, F., Thornell, L. E. 2000. Cocomitant increases in myonuclear and satellite cell content in female trapezius muscle following strength training. *Histochem Cell Biol* 2000; 113: 99–103.
- Kaneko M., Fuchimoto T., Toji H., Suei K. 1983. *Scandinavian Journal of Sports Sciences* Dec 1983, volume 5, issue 2. p.50-56.
- Kawamori N. & Haff G. G. 2004. The optimal training loag for the development of muscular power. *Journal of strength and conditioning research*, 2004: 18(3), 675—684.
- Komi P. V. 2002 edition. *Strength and power in sport*. Blacwell Science.
- Kraemer W. J. & Häkkinen K. 2002. *Strength training for sport*. Blackwell science.
- Lamas L., Ugrinowitsch C., Rodacki A., Pereira G., MAttos E. C. T., Kohn A. F & Tricoli V. 2012. Effects of strength and power training on neuromuscular adaptations and jumping movement pattern and performance. *Journal of strength and conditioning research* 2012: 26 (12)/3335-3344.
- Landing B. H., Dixon L. G., Wells T. R. 1974. Studies on isolated human skeletal muscle fibers, including a proposed pattern of nuclear distribution and a concept of nuclear territories. *Human Pathology*, 1974 Jul;5(4):44-61.
- MacDougall, J. D., Geoffrey C. B., Sale, D. G. & Sutton J. R. 1980. Effect of strength training and immobilization on human muscle fibers. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 43(1):25–34.
- Mero, A., Nummela A., Keskinen K. & Häkkinen K.. 2007. *Urheiluvallmennus 2. painos*. Lahti: VK-kustannus.
- Milner-Brown H. S., Lee R. G. Synchronisation of human motor unts: Possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. Vol. 38, issue 3; March 1975; 245-254.

- Moffroid M. T. and Whipple R. H. 1970. Specificity of speed of exercise. *Physical Therapy* 50: 1692-1700.
- Moir G. L, Golli J. M., Davis S. E., Guers J. J., Wiltmer C. A. The effect of load on system and lower body joint kinetics during jumps squats. *Sports biomechanics*, 2012Nov;11(4):492-506.
- Nuzzo J. L., McBride J. M., Dayne A. M., Israeterel M. A., Dumke C. L., Triplett N. T. 2010. Testing the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects. *J Strength Cond Res*. 2010;24:1269.1276.
- Patten C., Karmen G. & Rowland D. 2001. Adaptations in maximal motor unit discharge rate to strength training in young and older adults. *Muscle Nerve* 2001: 24: 542-50.
- Pazin N., Predrag B., Bobana B., Nedeljkovic A. & Jaric S. Optimum loading for maximizing power output: the effect of training history. *Eur J Appl Physiol* (2011). 111:2123-2130.
- Row S. B., Knutzen K. M. & Skogsberg N. J. 2012. Regulating explosive resistance training intensity using the rating of perceived exertion. *J Strength Cond Res*. 2012 Mar;26(3):664–71.
- Roth, S. M., Ivey F. M., Martel, G. F., Lemmer, J. T., Hurlbut, D. E., Siegel, E. L., Metter, E. J., Fleg, J. L., Fozard J. L., Kostek, M. C., Wernic, D. M & Hurley, B. F. 2001. Muscle size responses to strength training in young and older men and women. *J Am Geriatr Soc* 2001; 49: 1428–33.
- Schoenfeld B. J. 2010. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24 (10): 2857–2872, 2010.
- Shoepe, T. C., Ramirez, D. A., Rovetti, R. J., Kohler, D. R. & Almstedt, H. C. 2011. The effects of 24 weeks of resistance training with simultaneous elastic and free weight loading on muscular performance of novice lifters. *J Hum Kinet* 29:93—106.
- Staub J. N, Kraemer W. J., Pandit A. L., Haug W. B., Comstock A. B., C., Dunn-Lewis C., Hooper D. R., Maresh C. M., Volek J. S. and Häkkinen K. 2013. Positive Effects of

- Augmented verbal feedback on power production in NCAA division I collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27(8)/2067-2072.
- Suzovic D., Markovic G., Pasic M., Jaric S. 2013. Optimum load in various vertical jumps support the maximum dynamic output hypothesis. *International journal of sports medicine*. Nov;34(11):1007-14.
- Talpey, S., Young, W. & Beseter, B. 2014. Effect of instruction on selected jump squat variables. *J Strength Cond Res*. 18(Epub ahead of print).
- Tillin N. A ja Folland J.P. 2015. Maximal and explosive strength training elicit distinct neuromuscular adaptations, specific to the training stimulus. *European journal of applied physiology*. 2014 Feb;114(2):365.74.
- Wallace, B. J., Winchester, J. B. & McGuigan, M. R. 2006. Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *J Strength Cond Res* 20(2):268—72
- 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* 1998: 513: 295—305.
- Wilks R. Motivation in novice powerlifters. 1994. Level 1 powerlifting coaching manual. R. Wilks. ed. Yarra S. Victoria, Australia: Powerlifting Australia.
- Williamson D. L., Gallagher P. M., Carrol C. C. 2001. Reduction in hybrid single muscle fiber proportions with resistance training in humans.
- 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 and conditioning research* 7 (1), 2—8.
- Wilmore J. H., Costill D. L., Kennedy W. L. 2008. *Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics*.
- Wise J. B., Posner A. E. and Walker G. I. 2004. Verbal messages strengthen bench press efficacy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(1), 26-29.