

**24 VIIKON KESTÄVYYSHARJOITTELUN JA YHDISTETYN
KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUS
JUOKSUN TALOUDELLISUUTEEN JA HERMO-
LIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN KESTÄVYYS-
HARJOITTEILLA MIEHILLÄ**

Pasi Pelttari

Pro Gradu

Valmennus- ja testausoppi

Syksy 2014

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaaja: Keijo Häkkinen

TIIVISTELMÄ

Peltari, Pasi 2014. 24 viikon kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutus juoksun taloudellisuuteen ja hermolihasjärjestelmän toimintaan kestävyys- ja voimaharjoittelulle miehillä. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. Valmennus- ja testausopin Pro Gradu -tutkielma 64 s.

Sekä kestävyys- että voimaharjoittelu ovat tärkeitä tekijöitä niin suorituskyvyn kuin terveydenkin kannalta. Näiden kahden yhdistäminen samaan harjoitukseen voi auttaa niin huippu-urheilijoita kuin kuntoilijoitakin säästämään aikaa, mutta saavuttamaan silti täyden hyödyn molemmista harjoitusmuodoista. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää parantaako yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu juoksun taloudellisuutta paremmin kuin pelkkä kestävyys- ja voimaharjoittelu 24 viikon harjoittelujakson aikana.

Tutkimukseen rekrytoituista 22–45 vuotiaista miehistä 27 suoritti kaikki mittaukset loppuun asti. Heistä 14 muodosti kestävyys- ja voimaharjoitteluryhmän (E) joka harjoitteli pelkkää kestävyys- ja voimaharjoitusta ja loput 13 koehenkilöä muodostivat yhdistetyn harjoittelun ryhmän (E+S), joka suoritti joka viikko kaksi yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoitusta. Koehenkilöt olivat kestävyys- ja voimaharjoittelulle, mutta he eivät kilpailleet missään urheilulajissa. Harjoitteluadaptaatioita mitattiin 24 viikon harjoittelujakson aikana. Kestävyyskuntoa ja juoksun taloudellisuutta mitattiin 200 metrin sisäradalla suoritetussa 6 x 1000m nousevatehoisessa juoksusuorituksessa. Isometriset testit suoritettiin bilateraalilla jalkaprässillä sekä unilateraalilla polven ojennuksella ja koukistuksella. Jalkojen ojentajien maksimaalinen bilateraalinen konsentrisen voima mitattiin puolestaan jalkaprässissä ja räjähtävä voimantuotto kevennyshypyillä. Oikean jalan vastus lateraalisen (VL), vastus medialiksen (VM) ja biceps femoriksen (BF) lihasaktiivisuutta mitattiin pinta-elektrodien (sEMG) avulla.

Molemmat ryhmät paransivat juoksusuorituskykyään väli- ja loppumittauksissa ($p < 0.005$). Syke laski molemmilla ryhmillä lähes kaikilla tasotestien vauhteilla väli- ja loppumittauksissa, mutta vain E ryhmän laktaatit laskivat tasotestin nopeimmilla vauhteilla. Myös ryhmän E laskennallinen vauhti 4 mmol/l laktaatilla lisääntyi sekä väli- ($p < 0.05$) että loppumittauksissa ($p < 0.01$). Ryhmien välinen kevennyshypyn hyppykorkeuden kehitys erosi välimittauksessa ($p < 0.05$) ja dynaaminen jalkaprässi väli- ja loppumittauksessa ($p < 0.05$) E+S ryhmän hyväksi. Isometrisissä mittauksissa E+S ryhmän lihasaktiivisuudet muuttuivat positiivisesti verrattuna E ryhmään, mutta voimatasoissa muutos oli E ryhmän alentunut jalkaprässitulokset loppumittauksissa.

Tutkimuksen päälöydöksenä oli, että voimaharjoittelun lisäämisestä kestävyys- ja voimaharjoitteluun ei ollut tässä tutkimuksessa hyötyä juoksun taloudellisuuden kannalta. Sen sijaan voimatasojen ylläpidon ja kehittämisen kannalta yhdistetty voima- ja kestävyys- ja voimaharjoittelu tuottaa parempia tuloksia kuin pelkkä kestävyys- ja voimaharjoittelu.

Avainsanat: Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu, juoksu, taloudellisuus, hermolihasjärjestelmän toiminta

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	4
2 JUOKSUN TALOUDELLISUUTEEN VAIKUTTAVAT FYSIOLOGISET, NEUROMUSKULAARISET JA ANTROPOMETRISET TEKIJÄT	6
2.1 Fysiologiset muuttujat	7
2.1.1 Sydän- ja verenkiertoelimistö	8
2.1.2 Ventilaatio ja laktaatti	9
2.1.3 Kehon lämpötila	10
2.2 Hermolihasjärjestelmän muuttujat	10
2.2.1 Hermolihasjärjestelmän toiminta ja vaikutus juoksun taloudellisuuteen	11
2.2.2 Hermolihasjärjestelmän toiminnan mittaaminen	12
2.3 Antropometriset, biomekaaniset ja ulkoiset tekijät	12
3 HARJOITTELUN VAIKUTUKSET JUOKSUN TALOUDELLISUUTEEN JA HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN	14
3.1 Kestävyysharjoittelu	15
3.2 Voimaharjoittelu	16
3.3 Yhdistetty harjoittelu	19
4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	24
4.1 Tutkimuksen tarkoitus	24
4.2 Tutkimusongelmat	24
4.3 Hypoteesit	25
5 TUTKIMUSMENETELMÄT	26
5.1 Koeasetelma	26
5.2 Koehenkilöt	27
5.3 Kestävyysmittaukset	28
5.4 Voimamittaukset	28
5.4.1 Isometrinen voima	29
5.4.2 Dynaaminen voima	31
5.5 EMG	32

5.6 Harjoittelu.....	33
5.6.1 Kestävyysharjoittelu	33
5.6.2 Voimaharjoittelu	35
5.7 Tilastollinen analyysi	37
6 TULOKSET	38
6.1 Kestävyys	38
6.2 Voima ja EMG	40
7 POHDINTA	45
7.1 Muutokset kestävyys suorituskyvyssä ja taloudellisuudessa	45
7.2 Muutokset voimassa ja lihasaktiivisuudessa	47
7.3 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	49
7.4 Yhteenveto ja käytännön sovellutukset.....	49
LÄHTEET	51
LIITTEET	61

1 JOHDANTO

Sekä kestävyys- että voimaharjoittelu ovat tärkeitä tekijöitä niin suorituskyvyn kuin terveydenkin kannalta. Näiden kahden yhdistäminen samaan harjoituksen voi auttaa niin huippu-urheilijoita kuin kuntoilijoitakin säästämään aikaa, mutta saavuttamaan silti täyden hyödyn molemmista harjoitusmuodoista.

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun on todettu parantavat lihasvoimaa, juoksun taloudellisuutta ja kestävyysjuoksun suorituskykyä. Tutkimuksissa juoksun taloudellisuus on parantunut yhdistetyllä harjoittelulla jopa 10 %. (Johnston ym. 1997; Paavolainen ym. 1999a; Millet ym. 2002.) Salen (1988) mukaan voimaharjoittelu aiheuttaa hermostollisia muutoksia, jolloin lihasten koordinaatiokyky parantuu ja aktivointi tehostuu vaikuttaen positiivisesti voimantuottoon. Lisäksi on mahdollista, että osa tyypin IIb lihassoluista muuttuu tyypin IIa lihassoluiksi, jotka ovat oksidatiivisempia ja lähempänä tyypin I lihassoluja. Lihasten hapellinen kapasiteetti voisi tätä kautta lisääntyä ja parantaa juoksun taloudellisuutta. (Staron ym. 1989.) Voimatasojen nousu voi myös vaikuttaa juoksun biomekaniikkaan positiivisesti, jolloin taloudellisuus paranee (Williams & Cavanagh 1987).

Useissa tutkimuksissa on myös esitetty, että yhdistetty harjoittelu voi heikentää harjoittelun aiheuttamia vasteita niin kestävyys- ja voimatasojen, taloudellisuudessa kuin voimapuolellakin (Bell ym. 2000; McCarthy ym. 2002; Hickson 1980; Wilson ym. 2012). Tutkimustulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia, eikä muutoksia juoksun suorituskyvyssä samassa harjoituksessa suoritettuna kestävyys- ja voimaosion (tässä nimenomaisessa järjestyksessä) johdosta ole käsitelty kuin muutamissa tutkimuksissa (Ferketich ym. 1998; McCarthy ym. 1995; McCarthy ym. 2002; Leveritt ym. 2003; Chtara ym. 2005), puhumattakaan juoksun taloudellisuuden muutosten tutkimisesta.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää parantaako yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu juoksun taloudellisuutta paremmin kuin pelkkä kestävyysharjoittelu 24 viikon harjoittelujakson aikana. Hermolihasjärjestelmän

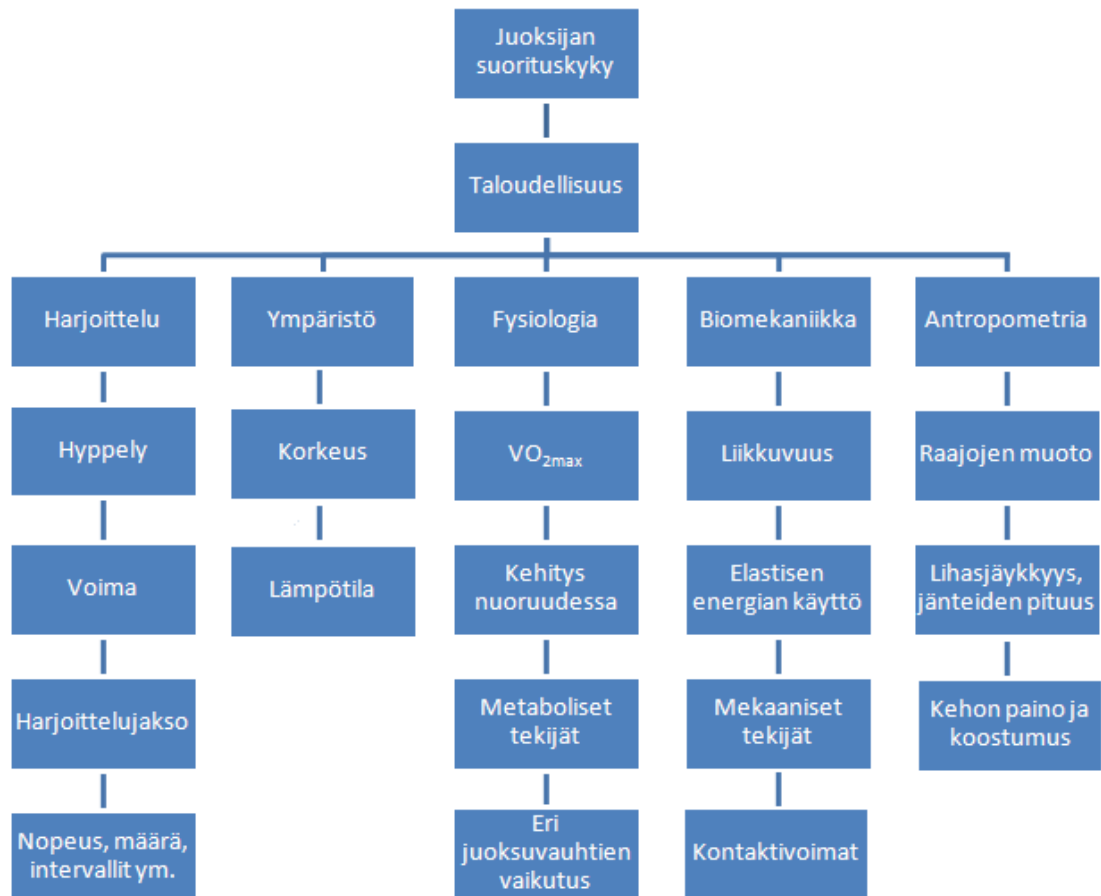
toimintaa mittaamalla pyrittiin selvittämään tekijöitä mahdollisten taloudellisuuden muutosten takana.

2 JUOKSUN TALOUDELLISUUTEEN VAIKUTTAVAT FYSIOLOGISET, NEUROMUSKULAARISET JA ANTROPOMETRISET TEKIJÄT

On tunnustettu yleisesti, että mitä alhaisempi hapenkulutus submaksimaalisella kuormalla (huolimatta maksimaalisesta hapenottokyvystä) sitä parempi. Yksilöiden energiankulutuksen erot samalla submaksimaalisella kuormalla, esimerkiksi juoksussa, ovat huomattavia. Tehdyn työn vertaaminen eri yksilöiden välillä ei olekaan kannattavaa, sillä toinen yksilö voi tehdä saman työmäärän vähemmällä energiankulutuksella. Toisin sanoen, hyvä suorituskky kestävyyslajeissa on tiiviisti yhteydessä energiankulutukseen joka on eri asia kuin tehty työmäärä. Tästä syystä taloudellisuus on muodostunut kriteeriksi tehokkaalle suorituskyyvylle. Taloudellisuus ilmaistaan submaksimaalisena hapenkulutuksena henkilön painokiloa kohti joka tarvitaan annetun tehtävän suorittamiseen. (Cavanagh & Kram 1984.)

Juoksun taloudellisuuden mittaaminen suoritetaan useimmiten juoksumatolla laboratorio-oloissa. Juoksumatolla suoritettulla mittauksella on helpompi saada luotettavia tuloksia kuin kenttäolosuhteissa harjoitusten tai kilpailuiden yhteydessä. (Morgan ym. 1989.) Juoksumatolla ja radalla saadut tulokset korreloivat kuitenkin hyvin keskenään. McMicken & Daniels (1976) totesivat maksimaalisen hapenottokyyvyn korreloivan ($r=0.95$ ja $r=0.91$) juoksumatolla ja radalla tehtyjen mittausten kesken eri nopeuksilla. Heidän mukaansa juoksumattotuloksia voidaan verrata radalla tuulettomissa olosuhteissa ja nopeuksilla 180–260 m/min suoritettuihin mittauksiin.

Lukuisat fysiologiset ja neuromuskulaariset tekijät vaikuttavat juoksun taloudellisuuteen. Näitä ovat mm. lihasmetabolian muutokset, elastisen energian käyttö ja hyödyntäminen sekä parantunut mekaniikka, joka vähentää jarrutusvoimaan käytettävää energiaa ja vertikaalista liikettä. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat muuttujat on koottu kuvaan 1.



KUVA 1. Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät. (Mukailtu Saunders 2004.)

2.1 Fysiologiset muuttujat

Mikäli harjoittelun tarkoituksena on parantaa juoksun taloudellisuutta, tulisi fysiologisista muuttujista keskittyä sykkeeseen, ventilaatioon ja laktaattiin. Tällä tavoin energiantarvetta saadaan vähennettyä ja taloudellisuutta parannettua. (Thomas ym. 1995.) Thomasin ym. (1999) tutkimuksessa tasaisella 80–85 % VO_{2max} intensiteetillä juostulla viiden kilometrin matkalla juoksun taloudellisuus laski merkittävästi ventilaation, kehon lämpötilan, laktaatin ja sykkeen noustessa. Harjoittelulla voidaan vaikuttaa fysiologisiin muuttujiin ja sitä kautta hapenkulutukseen (Saunders ym. 2004). Esimerkiksi intervalliharjoittelu voi olla hyödyllistä sykkeen, ventilaation ja laktaatin laskemiseksi kovilla juoksunopeuksilla. (Thomas ym. 1995).

2.1.1 Sydän- ja verenkiertoelimistö

Kuormituksen aikana hapen tarve kasvaa samassa suhteessa intensiteettiin ja sydän joutuu työskentelemään tehokkaammin kudosten hapensaannin turvaamiseksi (McArdle ym. 1996, 298). Kudosten hapensaantiin vaikuttaa sydämen minuuttitulavuus, hemoglobiinin määrä, sekä kudosten kyky ottaa happi käyttöön. Kestävyysharjoittelun seurauksena punasolujen lukumäärä sekä plasman volyyymi lisääntyvät, jolloin kokonaisverimäärä kasvaa. Myös hapen irtoaminen hemoglobiinista tehostuu. (Åstrand & Rohdahl 1986, 450–452.)

Pitkäkestoisen submaksimaalisen kuormituksen aikana syke nousee vaikka minuuttitulavuus pysyy lähes muuttumattomana. Tämä johtuu sydämen iskutilavuuden alentumisesta. (Fritzsche ym. 1999). Harjoittelun seurauksena sydämen minuuttitulavuus submaksimaalisella intensiteetillä laskee (Ekblom ym. 1968; McArdle ym. 1978). Tämän mahdollistaa sydämen koon kasvu, joka lisää sydämen iskutilavuutta, sekä hapen tehostunut kuljetus aktiivisiin lihaksiin, jolloin pienempikin happimäärä riittää. (Ekblom ym. 1968.) Sydämen minuuttitulavuuden kasvattaminen lisää selvästi hapenkuljetuskapasiteettia. Tällä taas on suuri vaikutus aerobisen metabolian kapasiteettiin. (McArdle ym. 1996, 304.) Sydämen minuuttitulavuuden onkin todistettu olevan lineaarisessa yhteydessä maksimaaliseen hapenottookykyyn (Lewis ym. 1983).

Myös lihasmassa vaikuttaa sykkeeseen. Maksimaalinen hapenottookyky, vain käsiä vaativassa suorituksessa, on aina noin 20-30 % alhaisempi kuin vain jalkoja käytettäessä (Miles ym. 1989). Samalla myös syke jää paljon alhaisemmaksi (Vokac ym. 1975). Tämä johtuu käsien pienemmästä lihasmassasta suhteessa jalkoihin (Miles ym. 1986). Hapenoton saaminen maksimitasolle edellyttääkin suurten lihasryhmien käyttöä lähelle uupumustilaa (Green & Patla, 1992). Hillin ym. (1924) mukaan maksimaalinen hapenottookyky määräytyy verenkierron nopeuden, veren happikapasiteetin ja valtimoiden sekä laskimoiden happisaturaation perusteella. Noakesin (1998) mukaan maksimaaliseen hapenottookykyyn vaikuttaa merkittävästi myös hermolihasjärjestelmän kapasiteetti ja voimantuotto. Hermolihasjärjestelmän toimintaongelmat saattavat estää saatavilla olevan hapen tehokkaan hyödyntämisen (Green & Patla, 1992).

2.1.2 Ventilaatio ja laktaatti

Ventilaatio kasvaa samaa tahtia kuormituksen lisääntymisen kanssa ja suorassa suhteessa kehon energiantarpeeseen. Ensin lisääntyy hengitystilavuus ja kovassa kuormituksessa myös hengitysfrekvenssi. (McArdle ym. 1996, 253). Thomasin ym. (1999) tutkimuksen mukaan ventilaation kasvu juoksukilpailun aikana korreloi ($r = 0,64$) laskeneen taloudellisuuden kanssa. Tästä voidaan päätellä, että suurempi hapen tarve on yhteydessä kasvaneeseen ventilaatioon (Saunders ym. 2004). Aerobisen kapasiteetin kasvu lisää hapen tarvetta ja hiilidioksidin tuottoa, jolloin luonnollisesti tarvitaan myös suurempaa ventilaatiota (McArdle ym. 1996, 258). Harjoittelu ei vaikuta keuhkokojen kokonaiskapasiteettiin, mutta parantaa hengitysfrekvenssiä. Lisäksi diffuusiokapasiteetin ja keuhkorakkuloiden kaasujenvaihdon on todettu parantuvan harjoittelun myötä, jolloin hapenkuljetus tehostuu. (Saltin 1969.) Maksimaalisessa rasituksessa keuhkojen ventilaatiokyky ei muodostu suoritusta rajoittavaksi tekijäksi (Åstrand & Rohdahl 1986, 455).

Ventilaatioon käytetään energiaa noin 4 % kevyen kuormituksen kokonaishapenkulutuksesta, mutta äärimmäisessä rasituksessa noin 8-11 %. Hengityselinten työ eli hengityslihasten energiantarve korreloikin hapenkulutuksen kanssa. (Coast ym. 1993). Absoluuttisilla VO_2 -tasoilla urheilijoiden ventilaatio on harjoittelemattomia alhaisempi. Submaksimaalisilla kuormilla urheilijoiden laktaatintuotto on alhaisempaa ja veren pH korkeampi kuin harjoittelemattomilla. Tästä johtuen veren bikarbonaattipuskurijärjestelmä pysyy vähemmän kuormitettuna ja poistettavan hiilidioksidin määrä pienempänä, jolloin minuuttiventilaatio pysyy alhaisempana. (Keskinen ym. 2007, 56.) Kestävyysharjoittelu voi myös parantaa hengityslihasten toimintaa. Aerobisten entsyymien lisääntyminen sekä hengityslihasten parantunut oksidaatiokapasiteetti saattavat olla tämän ilmiön taustalla. Harjoittelu voi johtaa myös hengityslihasten voimistumiseen. Nämä tekijät yhdessä laskevat hengityslihasten laktaattitasoja ja voivat täten olla yhteydessä taloudellisuuteen. (McArdle ym. 1996, 226.)

2.1.3 Kehon lämpötila

Kehon lämpötila nousee kuormituksen aikana, jolloin elimistö pyrkii hillitsemään lämpötilan nousua lisäämällä verenkiertoa, ventilaatiota ja hikoilua, jolloin myös hapenkulutus lisääntyy (MacDougall ym. 1974). Maksimaalisessa suorituksessa kehon lämpötilan nousu johtuu osittain nestehukasta. Maksimisykkeeseen ja hapenkulutukseen lämpötilan nousu (ja nestehukka) ei kuitenkaan suoranaisesti vaikuta. (Saltin 1964). On kuitenkin tutkimuksia joiden mukaan korkeampi kehon lämpötila tietyllä nopeudella kasvattaa VO_2 :a (Saunders ym. 2004). Thomasin ym. (1999) tutkimuksessa koehenkilöt suorittivat 5 kilometrin simuloidun juoksukilpailu juoksumatolla 80–85 %:n intensiteetillä maksimaalisesta hapenottokyvystä. Juoksun taloudellisuus laski selvästi, kun taas ventilaatio, syke, kehon lämpötila sekä laktaatti nousivat juoksun aikana huomattavasti. Thomasin ym. (1995) mukaan juoksun taloudellisuuden parantamiseksi, harjoittelun tulisi tähdätä muiden fysiologisten muuttujien lisäksi myös lämmönsäätelyn parantamiseen.

2.2 Hermolihasjärjestelmän muuttujat

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun on todettu parantavat lihasvoimaa, juoksun taloudellisuutta ja kestävyysjuoksun suorituskykyä ilman vaikutusta maksimaaliseen hapenottokykyyn (Johnston ym. 1997; Paavolainen ym. 1999a). Tämän perusteella voidaan olettaa myös neuromuskulaaristen muuttujien vaikuttavan juoksun suorituskykyyn. Väitettä tukee Paavolaisen ym. (1999b) tutkimus, jonka mukaan 10 km juoksun suorituskyky on yhteydessä käytettävien lihasten esiaktivaatioon mm. lyhempiin kontaktiaikoihin. Hermolihasjärjestelmän toimintaan voidaan vaikuttaa harjoittelulla, jolloin muun muassa myofibrillien poikittaissiltasyklin aktivoitumiseen ja motoristen yksiköiden syttymiseen, sekä voimantuottoon päästään vaikuttamaan (Paavolainen ym. 1999b; Green & Patla 1991).

2.2.1 Hermolihasjärjestelmän toiminta ja vaikutus juoksun taloudellisuuteen

Hermosto voidaan jakaa kahteen suureen kokonaisuuteen: Keskushermostoon kuuluvat selkäydin sekä aivot ja ääreishermostoon selkäydinhermot ja autonomisen hermoston hermot. Keskushermostosta lähtevät toimintakäskyt välitetään lihaksille ääreishermoston avulla motorisia hermoja pitkin. Ääreishermoston reseptoreista viestit tuodaan keskushermostoon sensorisia hermoja pitkin. (McArdle ym. 1996, 339–343.) Lihasten supistumiskäsky lähtee aivoista, josta se kuljetetaan sähköisesti hermoratoja pitkin selkäyttimeen. Selkäytimestä supistumiskäsky etenee α -motoneuroneja pitkin lihakseen aiheuttaen lihaksen supistumisen. (Enoka 1994, 136) Ääreishermoston sensoriset hermot tuovat keskushermostolle tietoa mm. lihaksen voimatasoista, pituudesta ja pituuden muutoksista. Tämän järjestelyn avulla lihaksen supistumista voidaan tehostaa tai vähentää tarpeen vaatiessa. (McArdle ym. 1996, 351.)

Yhtä hermosolua ja sen hermottamia lihassoluja kutsutaan motoriseksi yksiköksi. Suurta voimantuottoa vaativissa lihaksissa motoriset yksiköt hermottavat lukuisia lihassoluja, kun taas tarkkuutta vaativa hienomotoriikka edellyttää vain muutamaa lihassolua motorista yksikköä kohti. (Feinstein ym. 1955.) Motoriset yksiköt voidaan jakaa nopeisiin (IIa ja IIb) ja hitaisiin (I). Kestävyysuorituksessa, kuten juoksussa, käytössä on pääasiassa hitaat motoriset yksiköt johtuen niiden hyvästä väsymyksen sietokyvystä ja oksidatiivisesta kapasiteetista. Hitaiden motoristen yksiköiden voimantuotto on hidasta ja pientä verrattuna nopeisiin motorisiin yksiköihin. Motoristen yksiköiden rekrytoinnissa suuret (hitaat) motoriset yksiköt otetaan ensin käyttöön ja tämän jälkeen pienet (nopeat) motoriset yksiköt. Suuria voimatasoja vaativissa tehtävissä rekrytoidaan enemmän nopeita motorisia yksiköitä, jolloin maksimaalinen voimantuotto on mahdollista saavuttaa. (Freund 1983.) Kestävyttä vaativissa submaksimaalisissa suorituksissa osa motorisista yksiköistä työskentelee, toisten levätessä. Tämä mahdollistaa suorituksen jatkamisen pitkään ilman väsymystä. Mikäli esim. juoksuvauhti kasvaa, rekrytoidaan lisää motorisia yksiköitä ja lisätään jo käytössä olevien motoristen yksiköiden syttymistiheyttä. Maksimaalista voimaa vaativissa suorituksissa suuri määrä motorisia yksiköitä rekrytoidaan samanaikaisesti. Säätelemällä hitaiden ja nopeiden motoristen yksiköiden käyttöastetta ja

syttymistiheyttä, saadaan tuotettua sopiva määrä voimaa. (McArdle ym. 1996, 350–353.)

2.2.2 Hermolihasjärjestelmän toiminnan mittaaminen

Hermostollisia muutoksia voidaan mitata elektromyografian (EMG) avulla. Tämä tapahtuu analysoimalla esimerkiksi maksimaalisen lihassupistuksen aikaista EMG-aktiivisuutta (Häkkinen 1994). Maksimivoimaan taas vaikuttaa keskushermostosta tulevan aktivaatio lisäksi lihaksen poikkipinta-ala (Moritani & DeVries 1979). Hypertrofisia muutoksia voidaan mitata esim. lihasbiopsian, ultraäänen, magneettikuvan tai tietokonetomografian avulla (Häkkinen 1994). Isometrisessä supistuksessa voidaan mitata lihaksen voima-aika -riippuvuus. Voima-aika -käyrä kertoo lihaksen maksimivoiman lisäksi lihaksen voimantuottonopeuden. Voimantuottonopeuteen vaikuttavat motoristen yksiköiden rekrytointinopeus ja laatu (hidas vai nopea). (Moritani & DeVries 1979; Häkkinen & Kauhanen 1989.)

2.3 Antropometriset, biomekaaniset ja ulkoiset tekijät

Juokseminen edellyttää lihasten voimantuoton siirtämistä monimutkaisten liikeketjujen kautta useiden nivelten liikkeeksi. Taidolla ja oikealla ajoituksella on suuri rooli näissä liikeketjuissa. (Anderson 1996.) Biomekaanisia ja antropometrisia muuttujia jotka vaikuttavat juoksun taloudellisuuteen, ovat muun muassa: Juoksutekniikka, kontaktivoimat, liikkuvuus ja raajojen pituudet (Taulukko 1). (Anderson 1996; Kyröläinen ym. 2001.)

TAULUKKO 1. Neuromuskulaariset ja biomekaaniset ominaisuudet taloudellisemmilla juoksijoilla (Saunders ym. 2004; Midgley ym. 2007; Kyröläinen ym. 2001; Heise & Martin 2001).

Tekijä	Tekijän kuvaus taloudellisemmilla juoksijoilla
Pituus	Miehillä keskiarvossa tai hieman sen alle Naisilla keskiarvoa suurempi
Kehon muoto	Ekto- tai mesomorfinen kehon koostumus
Kehon rasva	Alhainen rasvaprosentti
Jalkojen muoto	Massa keskittynyt lähemmäksi lonkkaa
Lantio	Kapea
Jalkaterä	Pienempi kuin keskiarvo
Kengät	Kevyet, mutta hyvin pehmustetut
Askelpituus	Vapaasti valittavissa omien tottumusten mukaan
Kinematiikka	Kehon massakeskipisteen pieni vertikaaliliike Jyrkemmät polvikulmat koukistus- ja ojennusvaiheessa Pienempi liikerata, mutta suurempi kulmanopeus ponnistusvaiheen plantaarifleksiossa Pienempi käsien liike Olkapäiden nopeampi liike poikittaistasossa
Kinetiikka	Alhaiset kontaktivoimat
Kontaktivoimat	Pieni pystysuuntainen impulssi Lihasten esiakiivisuus ennen kontaktia
Elastinen energia	Elastisen energian tehokas käyttö
Juoksupinta	Keskitasen myötäilevyys alustan mukaan

3 HARJOITTELUN VAIKUTUKSET JUOKSUN TALOUDELLISUUTEEN JA HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN

Vaikka on selvää, että taloudellisuus on harjoitelleilla parempi kuin vähemmän harjoitelleilla, on tutkimustietoa harjoittelun vaikutuksista juoksun taloudellisuuteen melko vähän ja tulokset ovat ristiriitaisia. Osassa tutkimuksista juoksun taloudellisuus on parantunut harjoittelujakson jälkeen kun taas osassa parannusta ei ole tapahtunut. (Saunders ym. 2004.) Tärkeä tekijä tutkittaessa harjoittelun vaikutuksia juoksun taloudellisuuteen onkin kuntotaso (Krahenbuhl ym. 1989).

Kestävyysharjoittelun, kuten useiden muidenkin harjoitusmuotojen on todettu parantavan juoksun taloudellisuutta. Useat tutkimukset on kuitenkin toteutettu harjoittelemattomilla tai vain vähän harjoitelleilla, jolloin kunnon paraneminen on luonnollista. Paljon harjoittelevilla, joiden juoksun taloudellisuus on vuosien saatossa kohonnut korkealle tasolle, juoksun taloudellisuuden parantaminen on paljon vaikeampaa. (Saunders ym. 2004.)

Useat tutkijat ovat tulleet siihen tulokseen, että voimaharjoittelu parantaa sekä neuromuskulaarista suorituskykyä että lajispesifistä taloudellisuutta (Paavolainen ym. 1999a, Støren ym. 2008). Parantunut hermolihasjärjestelmän suorituskyky pitää sisällään mm. lihasten tahdonalaisen aktivaation lisääntymisen, joka johtaa voiman ja tehon parantumiseen. Lisäksi hapenkulutus submaksimaalisilla vauhdeilla laskee, eli taloudellisuus paranee. (Taipale ym. 2010). Voimaharjoittelun muodoista maksimaalisen ja hypertrofisen voimaharjoittelun, sekä hyppelyharjoittelun ja yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun on todettu parantavan juoksun taloudellisuutta ja/tai neuromuskulaarista suorituskykyä (Paavolainen ym. 1999a; Mikkola ym. 2011; Turner ym. 2003.).

3.1 Kestävyysharjoittelu

Kestävyysharjoittelun yhtenä tavoitteena on hapenottokyvyn lisääminen, jolloin kestävyysasuoritus paranee. Maksimaalisen hapenottokyvyn paraneminen laskee myös tietyllä absoluuttisella submaksimaalisella tasolla hapenkulutusta ja sykettä, jolloin siis myös taloudellisuus kehittyy. (Wilmore ym. 2001). Pitkä ja hidas kestävyysasuorittelu voi parantaa taloudellisuutta myös tehostamalla hermolihasjärjestelmän toimintaa (Pollock 1977). Kestävyysharjoittelun vaikutuksesta luurankolihasien mitokondrioiden toiminta tehostuu. Luurankolihasien kasvanut hengityskapasiteetti mahdollistaa hapen käytön vähenemisen yhtä mitokondriota kohden tasaisella submaksimaalisella juoksuvauhdilla. Nämä muutokset parantavat juoksun taloudellisuutta ja hidastavat lihasten glykokeenin käyttöä työskentelevissä lihaksissa. (Holloszy ym. 1977.)

Vuosien harjoittelu korreloi merkittävästi ($r=0.62$) juoksun taloudellisuuden kanssa hyvin harjoitelleilla kestävyysjuoksijoilla (Mayhew 1977). Näyttäisikin siltä, että vuosien aikana kertyneet juoksukilometrit vaikuttavat positiivisesti juoksun taloudellisuuteen, eikä harjoittelun volyyymi sinällään (Midgley ym. 2007). Tämä voi johtua lihasten pitkäaikaisesta adaptoitumisesta ja mekaanisen hyötysuhteen parantumisesta (Nelson & Gregor 1976). Mikäli juostut kilometrit olisi tärkein juoksun taloudellisuuden määrittäjä, vanhimpien juoksijoiden tulisi olla taloudellisimpia. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa, sillä 20–60 -vuotiailla juoksun taloudellisuuden on todettu korreloivan negatiivisesti iän kanssa. Tämän on ehdotettu johtuvan elastisen energian käytön vähenemisestä iän myötä. (Pate ym. 1992)

Kestävyysharjoittelutapojenkin välillä on eroja, sillä pitkän matkan juoksijat ovat taloudellisempia kuin keskimatkan juoksijat (Pollock 1977). Danielsin & Danielsin (1992) mukaan 800:n ja 1500 metrin juoksijat olivat maratonjuoksijoita taloudellisempia yli 19 km/h nopeuksilla. Hitaammilla nopeuksilla puolestaan maratonjuoksijat olivat taloudellisempia. Jonesin ja Carterin (2000) mukaan juoksija onkin taloudellisin sillä nopeudella, millä hän yleensä harjoittelee. Toisaalta, useissa tutkimuksissa eri harjoitusintensiteeteillä ei ole ollut vaikutusta juoksun taloudellisuuteen (Morgan ym. 1989).

Franchin ym. (1998) tutkimuksessa 36 hieman harjoitellutta miesjuoksijaa ($VO_{2max} \sim 55 \text{ ml/kg/min}$) jaettiin kolmeen eri ryhmään jotka harjoittelivat kolme kertaa viikossa kuuden viikon ajan eri ohjelmilla. Yksi ryhmä harjoitteli yhtäjaksoista juoksua (20–30 min; 15 km/h; 94 % VO_{2max} :sta), toinen ryhmä pitkiä intervaleja (4-6 x 4 min, palautus 3 min; 16,6 km/h; 106 % VO_{2max} :sta) ja kolmas lyhyitä intervaleja (30–40 x 15 s, palautus 15 s; 20,4 km/h; 132 % VO_{2max} :sta). Yhtäjaksoinen juoksu ja pitkät intervallit paransivat juoksun taloudellisuutta 3 % ja lyhyet intervallit vain 0,9 %. Todella korkeaintensiteettinen harjoittelu, ei siis sovellu juoksun taloudellisuuden parantamiseen. Tämä voi johtua juoksutekniikan heikkenemisestä suurilla nopeuksilla tai kyyvyttömyydestä säilyttää suuri harjoitusvolyymi kovan intensiteetin johdosta. Myös Billatin ym. (1999) mukaan maltillinen intervalliharjoittelu parantaa juoksun taloudellisuutta. Neljän viikon ajan kerran viikossa suoritettu intervalliharjoitus paransi juoksun taloudellisuutta merkittävästi enemmän kuin kolme kertaa viikossa suoritettu intervalliharjoitus.

3.2 Voimaharjoittelu

Voimaharjoittelu aiheuttaa lihaksissa neuraalista ja hypertrofista adaptaatiota, mikä johtaa voimatasojen kasvuun (Moritani & DeVries 1979). Voimaharjoittelun lyhyen ja pitkän aikavälin harjoitusvasteet hermo-lihasjärjestelmään ovat erilaisia. Myös voiman eri lajien (esim. hypertrofinen ja maksimivoima) harjoitusvasteet ovat keskenään erilaisia. (Häkkinen ym. 1988; Moritani & DeVries 1979; Mikkola ym. 2011.)

Follandin ja Williamsin (2007) mukaan neuraaliset adaptaatiot aiheutuvat liikkeiden oppimisesta ja lihaskoordinaation parantumisesta, joka johtaa lihassolujen parempaan rekrytointiin ja aktivaatioon harjoitetussa liikkeessä. Väitettä tukevat tutkimukset joissa dynaaminen voima on kasvanut selvästi enemmän kuin isometrinen voima (Dons ym. 1979; Rutherford & Jones 1986). Tätä on selitetty juuri liikkeiden oppimisella (Folland & Williams 2007). Osassa tutkimuksista pelkät mielikuvaharjoitteet ovat parantaneet voimantuottoa. Tämän on selitetty johtuvan keskushermoston adaptoitumisesta. Esimerkiksi Zijdwindin ym. (2003) tutkimuksessa 7 viikon plantaarifleksion (jalkaterän ja varpaiden taivutus alaspäin) mielikuvaharjoittelu paransi voimantuottoa

36 %, kun kevytintensiteettisellä harjoittelulla parannus oli 13 % ja kontrolliryhmällä 14 %. Toisaalta Herbert ym. (1998) yrittivät samaa kyynärvarren koukistuksessa, jolloin mielikuvaharjoittelusta ei ollut apua. On mahdollista että kyynärvarren koukistajien aktivaatio on jo ennen harjoittelua ollut hyvällä tasolla, jolloin niillä on vähemmän kapasiteettia hermostopuolen adaptaatiolle (Folland & Williams). Lisäksi osassa tutkimuksista vain toista jalkaa harjoittamalla myös toisen jalan voimantuotto on parantunut (Zhou 2000). Tämän on perusteltu johtuvan harjoittamattoman jalan staattisesta jännittämisestä toista jalkaa aktivoitaessa (Young ym. 1983). Harjoittamattoman jalan EMG-aktiivisuus on tosin ollut vain 15 % tahdonalaisesta maksimaalisesta lihasupistuksesta (Hortobágyi ym. 1999). Kaikissa tutkimuksissa parannusta harjoittamattomassa jalassa ei kuitenkaan ole tapahtunut (Davies ym. 1988).

Useissa tutkimuksissa pinta-EMG:llä mitattu agonistilihasten EMG on kasvanut voimaharjoittelun seurauksena. Suurin parannus on tapahtunut ensimmäisen 3-4 viikon aikana. Tämän on pohdittu johtuvan neuraalisen aktivaation lisääntymisestä agonistilihaksissa. (Moritani & DeVries 1979; Häkkinen ym. 2003; Aagaard ym. 2002; Folland & Williams 2007.) Neuraalisen aktiivisuuden kasvu pitää sisällään motoristen yksiköiden tehostuneen rekrytoinnin, syttymistiheyden kasvun sekä motoristen yksiköiden lähettämien aktiopotentiaalien synkronisaation parantumisen. (Folland & Williams 2007). Van Cutsemin ym. (1998) tutkimuksessa nopeusvoimatyypinen dorsifleksioharjoitus viidesti viikossa 12 viikon ajan johti motoristen yksiköiden rekrytoinnin nopeampaan aloittamiseen, dublettien lisääntymiseen ja syttymistiheyden kasvuun. Myös motoristen yksiköiden synkronisaation on todettu harjoittelun myötä parantuneen (Semmler & Nordstrom 1998), mutta ei ole tarkkaa tietoa miten tämä parantaa voimantuottoa (Sale 1988). Kaikissa tutkimuksissa muutoksia EMG:ssä voimaharjoittelun seurauksena ei ole löytynyt. Pinta-EMG:llä toteutettujen mittausten erot voivat johtua useista virhelähteistä, joita pinta-EMG:n käyttö pitää sisällään. Pinta-EMG:tä käytettäessä elektrodien sijoittaminen iholle, ihon ja ihonalaisen kudoksen aiheuttama impedanssi sekä lihaksen rakennemuutokset, vaikuttavat kaikki erityisesti pitkittäistutkimuksen luotettavuuteen. (Folland & Williams 2007.)

Edellä mainittujen adaptaatioiden lisäksi myös koaktivaatio, eli antagonistilihaksen aktivoituminen agonistin supistuessa, on muuttunut harjoittelun vaikutuksesta. Carolan ja Cafarellin (1992) kahdeksan viikon voimaharjoittelututkimuksessa kaksipäisen

reisilihaksen koaktivaatio laski 14,7 %:sta 11,5 %:iin kun polven ojentajat tekivät maksimaalista isometristä työtä. Samaan aikaan polvenojentajalihasten voima kasvoi 32,8 %. Tutkijat päättelivätkin koaktivaation laskun olevan yhteydessä voimantuoton kasvuun. Rutherfordin ja Jonesin (1986) mukaan koaktivaation lasku on yhteydessä liikkeiden taloudellisempaan suoritustekniikkaan.

Hermoston lisäksi voimaharjoittelu voi vaikuttaa suoraan lihaksen rakenteeseen. Näitä lihaksen rakenteellisia muutoksia ovat mm. myofibrillien sekä aktiinin ja myosiinin rakenteelliset muutokset sekä verisuonien ja mitokondrioiden lisääntyminen. Näillä muutoksilla on lihasten kokoa kasvattava vaikutus, mitä aiheuttaa sekä hypertrofia, että hyperplasia. (Marks 1996.) Voimaharjoittelun ensimmäisinä viikkoina muutokset voimatasoissa tapahtuvat lähinnä hermoston toiminnan tehostumisen takia ja lihaksissa tapahtuvat muutokset ovat yhteydessä voimatasojen kasvuun vasta voimaharjoittelun myöhemmässä vaiheessa (Moritani & DeVries 1979).

Vaikka voimaharjoittelun tarkoituksena on yleensä lisätä lihasvoimaa, on sen havaittu parantavan suorituskestävyyttä submaksimaalisessa suorituksessa. Marcinikin ym. (1999) tutkimuksessa voimaharjoittelu koostui 8-20 toistomaksimin sarjoista. Se paransi ojentajien maksimivoimaa 20 %:lla ja koukistajien maksimivoimaa 52 %:lla. Pyöräilyaika 75 %:n tasolla VO_{2peak} :sta parani 33 %. Myös laktaattikynnys nousi, mikä voisi selittää kestävyysuorituksen paranemisen, sillä hapenkulutuksessa ei havaittu muutoksia. Størenin ym. (2008) tutkimuksessa 8 viikon maksimivoimaharjoittelun todettiin parantavan juoksun taloudellisuutta 5 %:lla. Myös kyykkytulos parani ja 33 %:lla, voimantuotonopeus 26 %:lla. Kehon paino ja maksimaalinen hapenotto kyky pysyivät samalla muuttumattomina.

Midgley ym. (2007) mukaan perinteinen voimaharjoittelu ja hyppelyharjoittelu parantavat merkittävästi juoksun taloudellisuutta. Tämä voi olla seurausta parantuneista voimatasoista, motoristen yksiköiden rekrytoinnin tehostumisesta sekä jänteiden jäykkyyden lisääntymisestä ja lihasten venymis-lyhenemissyklin tehostumisesta (Midgley ym. 2007; Foster & Lucia 2007). Tutkimuksia pitkäkestoisen voimaharjoittelun vaikutuksista juoksun taloudellisuuteen ei kuitenkaan ole. On hyvin mahdollista että paino lisääntyy, jolloin suorituskyky voi jopa laskea. (Midgley ym. 2007.)

3.3 Yhdistetty harjoittelu

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun on todettu parantavat lihasvoimaa, juoksun taloudellisuutta ja kestävyysjuoksun suorituskykyä ilman vaikutusta maksimaaliseen hapenottokykyyn. Tutkimuksissa juoksun taloudellisuus on parantunut yhdistetyllä harjoittelulla jopa 10 %. (Johnston ym. 1997; Paavolainen ym. 1999a; Millet ym. 2002.) Salen (1988) mukaan voimaharjoittelu aiheuttaa hermostollisia muutoksia, jolloin lihasten koordinaatiokyky parantuu ja aktivointi tehostuu vaikuttaen positiivisesti voimantuottoon. Lisäksi on mahdollista, että osa tyypin IIb lihassoluista muuttuu tyypin IIa lihassoluiksi jotka ovat oksidatiivisempia ja lähempänä tyypin I lihassoluja. Lihasten hapellinen kapasiteetti voisi tätä kautta lisääntyä ja parantaa juoksun taloudellisuutta. (Staron ym. 1989.) Voimatasojen nousu voi myös vaikuttaa juoksun biomekaniikkaan positiivisesti jolloin taloudellisuus paranee (Williams & Cavanagh 1987).

Maksimivoimaharjoittelu. Hicksonin ym. (1988) tutkimuksessa kestävyysharjoittelun lisäksi suoritettu maksimivoimaharjoittelu kolme kertaa viikossa kymmenen viikon ajan paransi kestävyysuorituskykyä jo harjoitteleilla koehenkilöillä huomattavasti. Lyhytaikainen kestävyysuorituskyky (4-8 minuuttia) parani pyöräillessä 11 % ja juostessa 13 %. Pitkäaikainen suorituskyky pyöräillessä parani 20 % (71 min -> 85 min) maksimaalisen hapenottokyvyn pysyessä muuttumattomana. Myös jalkojen maksimaalinen voima kehittyi 30 %:lla, mutta reiden ympäröimä ja lihassolujakauma pysyivät muuttumattomina. Tutkijoiden mukaan lyhytaikaisen kestävyysuorituskyvyn paraneminen johtui energiantuotto- ja entsyymikapasiteetin kasvusta. Lisäksi he epäilivät hitaiden lihassolujen käytön absoluuttisilla kuormilla lisääntyneen ja nopeiden lihassolujen käytön vastaavasti vähentyneen. Tämä johtaisi energiankulutuksen laskuun ja glykogeenivarastojen säästymiseen, jolloin väsymys viivästyisi ja suorituskyky paranisi. Myös Milletin ym. (2002) tutkimuksessa saatiin positiivisia tuloksia maksimivoimaharjoittelun yhdistämisellä kestävyysharjoitteluun. Neljäntoista viikon ajan kaksi kertaa viikossa suoritettu alaraajoihin keskittynyt voimaharjoittelu yli 90 % painoilla yhden toiston maksimista paransi juoksun taloudellisuutta verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun. Yhdistetyn harjoittelun seurauksena hyppyteho pysyi muuttumattomana, kun taas pelkän kestävyysharjoittelun johdosta hyppyteho laski

merkitsevästi. Hyppytehon ja juoksun taloudellisuuden todettiin korreloivan keskenään.

Nopeusvoimaharjoittelu. Paavolaisen ym. (1991; 1999a) tutkimuksissa kestävyysarjoittelu yhdistettiin nopeusvoimaharjoitteluun. Kestävyysjuoksijoiden 9 viikon mittaisen harjoitusjakson ja maastohiihtäjien 6 viikon harjoittelujakson jälkeen tehdyissä testeissä huomattiin maksimaalisen hapenottokyvyn ja aerobisen tehon olevan muuttumaton. Samaan aikaan hiihtäjien hyppykorkeus kasvoi ja juoksijoiden viiden kilometrin juoksuajat paranivat. Tutkijat päättelivät hermolihasjärjestelmän ominaisuuksien kehittyneen ja tätä kautta lihastyö oli tehokkaampaa ja taloudellisempaa. Kilpapyöräilijöillä tehdyssä tutkimuksessa (Bastiaans ym. 2001) yhdistetty kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelu paransi maksimaalista työkuormaa, aerobista suorituskykyä sekä taloudellisuutta yhtäläillä kuin pelkkä kestävyysarjoittelu. Lyhytkestoinen suorituskyky sen sijaan parani vain yhdistetyllä ryhmällä.

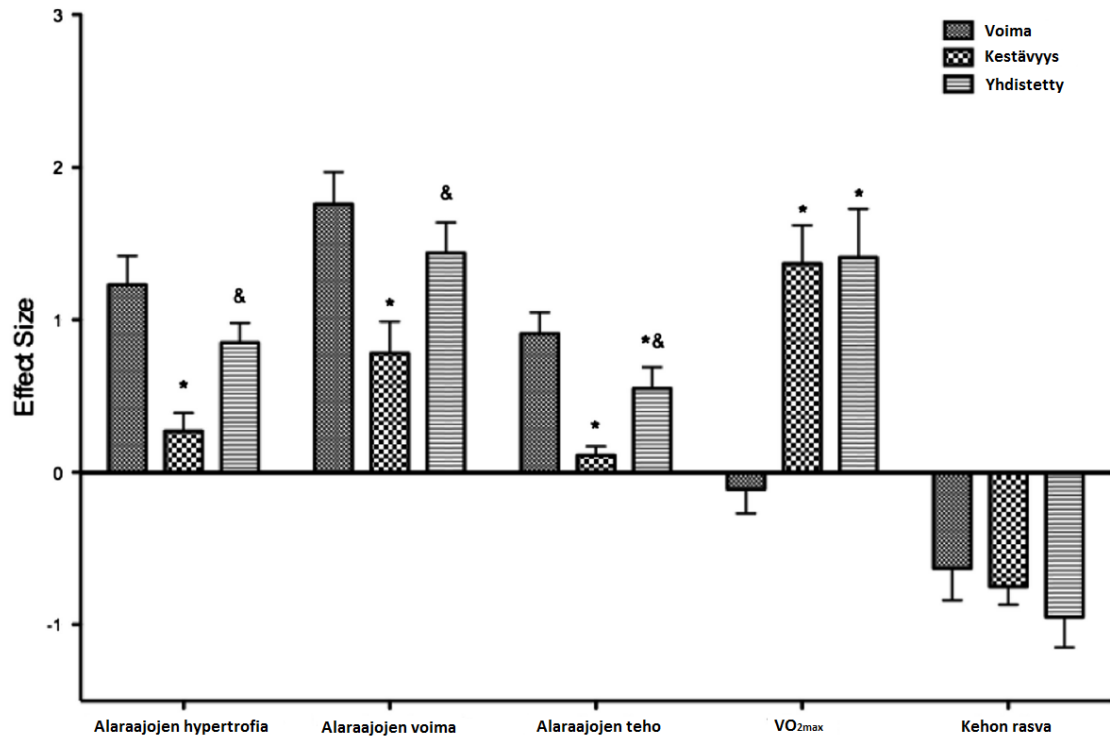
Plyometrinen harjoittelu. Spurrs ym. (2003) saivat Paavolaisen ym. (1991) ja Bastiaansin ym. (2001) kanssa samansuuntaisia tuloksia käyttämällä plyometristä harjoittelua (nopeusvoimatyypinen hyppeharjoittelu). Kuuden viikon yhdistetyn harjoittelun seurauksena kolmen kilometrin juoksu aika parani ja juoksun taloudellisuus koheni harjoitelleilla miesjuoksijoilla. Maksimaalinen hapenottokyky sen sijaan pysyi muuttumattomana. Tutkijat päättelivät lihasten ja jänteiden rakennemuutosten aiheuttaneen pienemmän energiankulutuksen.

Monipuolinen voimaharjoittelu. Johnstonin ym. (1997) tutkimuksessa 12 naisjuoksijasta kuusi suoritti kestävyysarjoittelun lisäksi voimaharjoittelua 10 viikon ajan ja toiset kuusi suorittivat vain kestävyysarjoittelua. Koehenkilöt juoksivat 4-5 kertaa viikossa ja lisäksi yhdistetty ryhmä suoritti kolme voimaharjoitusta viikossa. Voimaharjoitukset pitivät sisällään 14 erilaista jalkojen, keskivartalon ja käsien harjoitetta. Sarjoja tehtiin 2-3 liikettä kohden ja toistoja suoritettiin 6-20 kappaletta, siten että tukiharjoitteiden toistomäärät olivat suurempia. Yhdistetyn ryhmän alaraajojen voimatasot kasvoivat 33,8 % ja yläraajojen 24,4 %. Juoksun taloudellisuus parani merkittävästi yhdistetyllä ryhmällä, mutta ei laisinkaan kestävyysryhmällä. Kehon koostumus pysyi muuttumattomana molemmilla ryhmillä. Syynä taloudellisuuden paranemiseen voivat olla muutokset motoristen yksiköiden rekrytoinnissa ja nopeiden lihassolujen koon

kasvussa, jolloin motoristen yksiköiden aktivaatiota voidaan vähentää ja näin säästää energiaa (Moritani & DeVries 1979; Sale 1988).

Kaikissa tutkimuksissa yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu ei ole parantanut taloudellisuutta tai maksimaalista suorituskykyä. Esimerkiksi Ferrautin ym. (2010) tutkimuksessa satunnaisesti harjoitelleet koehenkilöt (miehiä ja naisia) suorittivat 8 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelujakson. Kontrolliryhmä (n=11) ja koeryhmä (n=11) suorittivat kestävyysharjoittelua noin 250 minuuttia viikossa jonka lisäksi koeryhmä suoritti kaksi 60 minuutin voimaharjoitusta viikossa. Toinen voimaharjoituksista koostui jalkojen lihasryhmiä kuormittavista sarjoista (4 x 3-5 toistoa, palautus 3 min), joiden tarkoituksena oli keskittyä hermostopuolen kehittämiseen ja juoksun taloudellisuuden parantamiseen. Toinen voimaharjoitus koostui keskivartalon lihaksistoa kuormittavista kestovoimatyypisistä sarjoista (3 x 20–25 toistoa, palautus 90 s). Kummankaan ryhmän suorituskyky maksimaalisessa nousujohteisessa mattotestissä ei parantunut. Submaksimaalisilla juoksuopeuksilla hapenkulutus ei muuttunut ja vauhti submaksimaalisilla laktaattitasoilla pysyi muuttumattomana molemmilla ryhmillä. Myöskään askelpituus tai askelfrekvenssi ei muuttunut. Voimaominaisuuksista yhdistetyn ryhmän polven ojennuksen voima parani 4,6 N/kg:sta 6,2 N/kg:iin. Tutkijat pohtivat taloudellisuuden parantumattomuuden johtuvan lyhyestä harjoitusjaksosta ja pienestä koehenkilömäärästä.

Joidenkin tutkimusten mukaan yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu saattaa heikentää pelkästä voima- tai kestävyysharjoittelusta aiheutuvia adaptaatioita (kuva 3) (Bell ym. 2000; McCarthy ym. 2002; Hickson 1980; Wilson ym. 2012.) Erityisesti yhdistetyn harjoittelun on todettu heikentävän voimaharjoittelusta saatavia hyötyä (kuva 2) (Wilson ym. 2012), mutta Nelsonin ym. (1990) mukaan yhdistetty harjoittelu voi heikentää myös kestävyysominaisuuksia. Tutkijoiden mukaan 11 viikon yhdistetyn harjoittelu jälkeen kestävyysharjoittelun adaptaatiot alkoivat laskea. Ensimmäisen 11 viikon ajan sekä yhdistetyllä harjoittelulla, että pelkällä kestävyysharjoittelulla maksimihapenotto parani yhtä paljon. Tutkimus kesti yhteensä 20 viikkoa ja viimeisellä puoliskolla yhdistetyn ryhmän maksimihapenottokyky ei enää parantunut.



KUVA 2. Keskiarvoistetut korrelaatioiden tieteelliset vaikuuttavuudet (effect size) voimaharjoittelun, kestävyysharjoittelun ja yhdistetyn harjoittelun seurauksena alaraajojen hypertrofiaalle, alaraajojen voimalle, alaraajojen teholle, maksimaaliselle hapenottokyvyille (VO₂max) ja kehon rasvan määrälle. * = Eroaa tilastollisesti merkitsevästi (p<0.05) voimaharjoittelusta. & = Eroaa tilastollisesti merkitsevästi (p<0.05) kestävyysharjoittelusta. (Mukaiiltu Wilson ym. 2012.)

Karavirran ym. (2011) mukaan yksilölliset erot yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksista kestävyysominaisuuksiin (VO₂max: -8 % - +42 %) ja voimaominaisuuksiin (maksimivoima: -12 % - +87 %) ovat todella suuria. Yhdistetyn harjoittelun heikompien voima- ja kestävyysadaptaatioiden on ehdotettu johtuvan ylikuormituksesta, jolloin molempien harjoitusten adaptaatiot häiritsevän toisiaan (Leveritt ym. 1999). Tämän on oletettu olevan ongelmana etenkin pitkien harjoitusten, kovan intensiteetin ja kovan harjoittelufrekvenssin johdosta. Lisäksi erityisesti lihasvaurioita aiheuttavan harjoittelu voi vähentää harjoitusadaptaatioita. (Halsen & Jeukendrup 2004.) Karavirta (2011) puolestaan totesi lihasten hypertrofian olleen pienempää yhdistetyllä harjoittelulla verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun.

Salen ym. (1990a) mukaan voiman kasvu on suurempaa kuin yhdistetty harjoittelu toteutetaan eri päivinä. Eri päivinä suoritettu harjoittelu paransi jalkojen ojentajien

maksimivoimaa 25 %, kun sanana päivänä suoritettu harjoittelu paransi maksimivoimaa vain 13 %. Karavirran (2011) tutkimuksessa voimaharjoittelu suoritettiin eri päivinä kuin kestävyysharjoittelu. Collins & Snow (1993) taas ovat todenneet suoritusjärjestyksen saman päivän sisällä olevan merkityksetön voiman kehittymisen kannalta ja Schumannin ym. (2013) mukaan neuromuskulaarisen suorituskyvyn palautumisen kannalta.

4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

4.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tämä tutkimus oli osa laajempaa väitöskirjaa, jonka tavoitteena oli selvittää yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun akuutteja vasteita sekä kroonisia adaptaatioita. Yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla tarkoitetaan tässä työssä samassa harjoituksessa peräkkäin tapahtuvaa kestävyys- ja voimaharjoittelua. Tämän tutkimuksen tarkastelukohteena olivat juoksun taloudellisuuteen liittyvien neuromuskulaaristen muuttujien kehitys kestävyysharjoitelleilla verrattuna yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoitteluohjelmaa noudattaneisiin. Tavoitteena oli selvittää parantaako yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu juoksun taloudellisuutta paremmin kuin pelkkä kestävyysharjoittelu 24 viikon harjoittelujakson aikana. Neuromuskulaarisilla muuttujilla pyrittiin selvittämään tekijöitä mahdollisten taloudellisuuden muutosten takana.

4.2 Tutkimusongelmat

1. Onko samassa harjoitteessa suoritettavasta yhdistetystä kestävyys- ja voimaharjoittelusta hyötyä juoksun taloudellisuuden kannalta verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun?
2. Onko kestävyysharjoitteluryhmän ja yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoitteluryhmän hermolihasjärjestelmän toiminnan muutoksissa eroja, jotka voisivat selittää mahdollisia muutoksia juoksun taloudellisuuden takana?

4.3 Hypoteesit

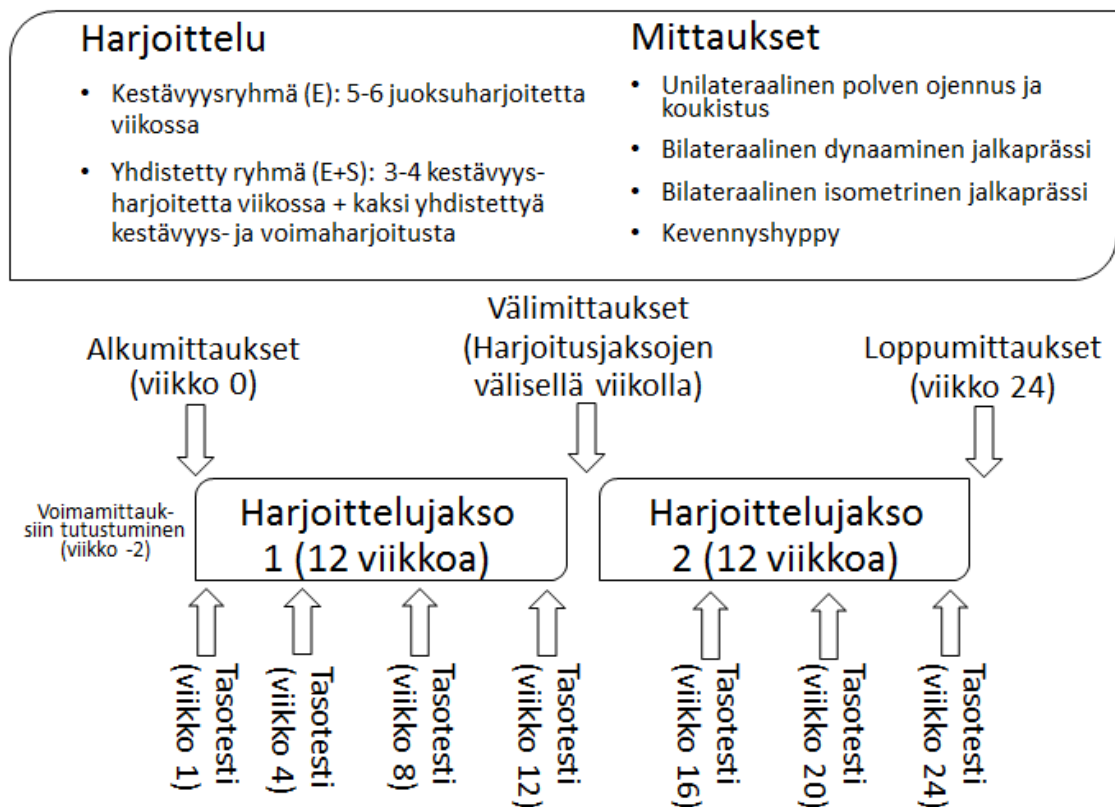
1. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun on todettu parantavat lihasvoimaa, juoksun taloudellisuutta ja kestävyysjuoksun suorituskykyä. Tutkimuksissa juoksun taloudellisuus on parantunut yhdistetyllä harjoittelulla jopa 10 %. (Johnston ym. 1997; Paavolainen ym. 1999a; Millet ym. 2002.)

2. Syynä taloudellisuuden paranemiseen voivat olla muutokset motoristen yksiköiden rekrytoinnissa ja nopeiden lihassolujen koon kasvussa, jolloin motoristen yksiköiden aktivaatiota voidaan vähentää ja näin säästää energiaa (Moritani & DeVries 1979; Sale 1988).

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Koeasetelma

Harjoitteluadaptaatioita mitattiin 24 viikon harjoittelujakson aikana. Tutkimus alkoi vuoden 2011 syksyllä ja kesti vuoden 2013 kevääseen. Kestävyysryhmän mittaukset suoritettiin vuosina 2012/2013 ja yhdistetyn ryhmän mittaukset suoritettiin vuosina 2011–2013. Valmistavalla jaksolla (viikko -2) koehenkilöt tutustuivat mittauksiin ja niiden suoritustekniikkaan. Alkumittaukset suoritettiin tutkimuksen alussa (viikko 0), välimittaukset 12 viikon harjoittelun jälkeen (viikko 12) ja loppumittaukset 24 viikon harjoittelun jälkeen (viikko 24) täysin identtisillä testimenetelmillä. Juoksuradalla tehty 6 x 1000 metrin testijuoksu suoritettiin muista testeistä poiketen neljän viikon välein (viikot 1, 4, 8, 12, 16, 20 ja 24). Koeasetelma on havainnollistettua kuvassa 3. Kaikki testit suoritettiin identtisillä koehenkilökohtaisilla laiteasetuksilla, aina samaan aikaan päivästä ja samojen testaajien toimesta.



KUVA 3. Tutkimusasetelmaa havainnollistava kuva.

5.2 Koehenkilöt

Tutkimukseen rekrytoitiin yhteensä 37 miestä, joista 27 suoritti kaikki mittaukset loppuun asti (Taulukko 2). Koehenkilöitä jäi pois tutkimuksesta sairastelun, loukkaantumisten ja henkilökohtaisten syiden takia. Koehenkilöitä haettiin harjoittelutaustan perusteella ja heidät jaettiin ryhmiin seuraavasti: Neljätoista heistä muodosti kestävyysharjoitteluryhmän (E) ja loput 13 koehenkilöä muodostivat yhdistetyn harjoittelun ryhmän (E+S). Koehenkilöt olivat kestävyysharjoittelijoita, mutta he eivät kilpailleet missään urheilulajissa. Heidän ikänsä vaihteli 22 ja 45 ikävuoden välillä.

TAULUKKO 2. Koehenkilöiden ikä ja antropometriset keskiarvot ryhmittäin.

	n	Ikä (v)	Pituus (m)	Paino (kg)	BMI (kg/m ²)
E	14	34,4 ± 6,8	1,80 ± 0,07	77,6 ± 8,7	23,9 ± 2,4
E+S	13	31,9 ± 6,4	1,79 ± 0,03	79,5 ± 5,5	24,8 ± 1,8

Koehenkilöt rekrytoitiin mainoksilla sähköpostitse sekä lehti-ilmoituksilla eikä heillä saanut olla mitään akuuttia sairautta tai loukkaantumista. Koehenkilöiden terveydentila arvioitiin lääkärin toimesta ennen tutkimuksen alkua ja hyvä terveydentila oli ehtona tutkimukseen osallistumiselle. Poisrajaamiseen vaikutti erityisesti heikentynyt glukoosinsietokyky, metabolinen oireyhtymä sekä hengitys-, verenkiertoelimistön tai lihaksistollinen sairaus joka voi vaikeuttaa osallistumista pitkäkestoiseen fyysiseen rasitukseen.

Kaikki tässä tutkimuksessa käytettävät metodit on hyväksytty Jyväskylän Yliopiston eettisen toimikunnan toimesta. Kaikille koehenkilöille on kerrottu ennen tutkimuksen aloittamista, sekä suullisesti että kirjallisesti, tutkimuksen tarkoitus, tutkimuksen toteutus, käytettävät mittaukset sekä mahdolliset riskit. Kaikki koehenkilöt ovat allekirjoittaneet suostumuslomakkeen tutkimukseen osallistumisestaan. Koehenkilöiden henkilökohtaisia tietoja sekä kaikkea dataa josta selviää koehenkilön henkilöllisyys, käsiteltiin varovaisuutta noudattaen ja koehenkilöiden yksityisyyttä suojellen. Henkilökohtaisia tietoja ei käytetä ilman koehenkilön suostumusta.

5.3 Kestävyyssmittaukset

Kestävyysskuntoa ja juoksun taloudellisuutta mitattiin 200 metrin sisäradalla suoritettussa 6 x 1000m nousevatehoisessa juoksusuorituksessa. Ensimmäisen kilometrin tavoiteaika oli kuusi minuuttia ja seuraavilla kuormilla aina 30 sekuntia vähemmän. Viimeinen kuorma oli maksimaalinen, mutta mahdollisimman tasaisella vauhdilla suoritettu. Palautus juoksujen välissä oli minuutti. Tasotestin juoksi samanaikaisesti 1-6 henkilöä kerrallaan.

Syke tallennettiin sykemittarilla (RS800CX, Polar Inc., Kempele Suomi) koko suorituksen ajalta. Sykkeen tallennusväli oli yksi sekunti ja sykkeet analysoitiin (Polar Precision Performance 4.0, Polar Inc., Kempele Suomi) keskiarvoistamalla jokaisen tuhannen metrin viimeinen minuutti. Koehenkilöitä ohjeistettiin pitämään tasainen vauhti ja heille annettiin väliaikoja jokaisella kierroksella.

Verinäytteet otettiin sormenpästä ennen testiä ja jokaisen tuhannen metrin vedon jälkeen. Sormenpää puhdistettiin puhdistusaineella ennen näytteenottoa ja ensimmäiset veritipat pyyhittiin pois. Veri kerättiin kapillaareihin koulutettujen mittaajien toimesta ja siitä analysoitiin laktaatti Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen Biose C-line glukoosi- ja laktaattianalysointilaitteella (EKF Diagnostics, Cardiff, Englanti). Näytteiden analysointi suoritettiin heti juoksutestien päätyttyä.

Koehenkilöille laskettiin 6x1000m juoksusuorituksesta uudet vauhdin ja sykkeen muuttajat 4 mmol/l laktaatille. Sykettä 4 mmol/l laktaatilla kuvataan termillä $HR_{4\text{mmol/l}}$ (lyöntiä minuutissa) ja vauhtia vastaavasti $S_{4\text{mmol/l}}$ (sekuntia per kilometri).

5.4 Voimamittaukset

Koehenkilöt saivat tutustua mittausmenetelmiin ja mittalaitteisiin testejä edeltäneellä viikolla. Tutustumiskerralla laitteet säädettiin ruumiinrakenteen perusteella jokaiselle koehenkilölle yksilöllisesti. Polvikulmat mitattiin manuaalisesti goniometrillä trochanter majorin ja lateraalisen malleoluksen kautta. Kaikki säädöt tallennettiin sekä paperille että tietokoneelle, jotta varmistettiin säätöjen pysyminen muuttumattomina kaikkien

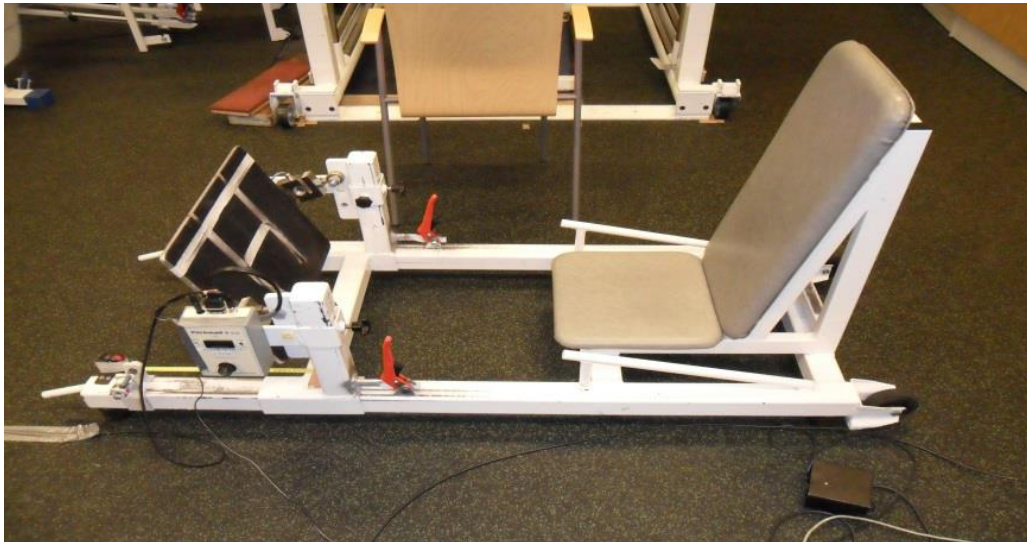
mittausten ajan. Säättöjen jälkeen koehenkilöt saivat harjoitella kaikkia testejä useita kertoja, jonka aikana heille neuvottiin oikea suoritustekniikka.

Kaikki alla esitetyt mittaukset suoritettiin viikoilla 0, 12 ja 24 aina samassa järjestyksessä. Kaikilla testikerroilla koehenkilöt saivat lämmitellä huolellisesti ja heitä muistutettiin oikeasta suoritustekniikasta. Mittausten aikana koehenkilöitä kannustettiin suullisesti.

5.4.1 Isometrinen voima

Isometriset testit suoritettiin bilateraalilla jalkaprässillä, unilateraalilla polven ojennuksella ja unilateraalilla polven koukistuksella. Lonkkakulma oli kaikissa mittauksissa 110 astetta ja polvikulma 107 astetta. Koehenkilöt suorittivat vähintään kolme maksimaalista suoritusta, joiden välissä oli yhden minuutin palautus. Mikäli kolmas suoritus poikkesi edellisestä suorituksesta yli 5 %, suoritettiin vielä yksi ylimääräinen mittaus. Mittausten maksimimäärä oli viisi. Suoritukset mitattiin Newtonneissa (N) ja vain paras tulos otettiin huomioon jatkokäsittelyssä. Kaikki maksimaaliset isometriset mittaukset välitettiin reaaliajassa konvertteriin (Micro 1401, Cambridge Electronic Design, UK), joka muutti signaalit analogisesta digitaalseksi. Signaali kuljetettiin konvertterista Windows käyttöiseen tietokoneeseen ja tallennettiin Signal 2.16 ohjelmalla (Cambridge Electronic Design, UK). Voimasignaalien näytteenottotaajuus oli 2000 Hz ja alle 20 Hz taajuudet suodatettiin.

Jalkojen ojentajien maksimaalinen bilateraalinen isometrinen voimantuotto (MVC_{LP}) mitattiin istuvassa asennossa elektromekaanisella jalkaprässillä (kuva 4). Koehenkilöt ohjeistettiin työntämään jaloillaan mahdollisimman nopeasti ja pitämään yllä maksimaalista puristusta 3-4 sekuntia. Voimakäyrät analysoitiin tutkimusta varten ohjelmoidulla komentosarjalla.



KUVA 4. Bilateraalin isometrisen jalkaprässi, jota käytettiin tutkimuksessa (suunniteltu ja valmistettu Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksella, Suomi).

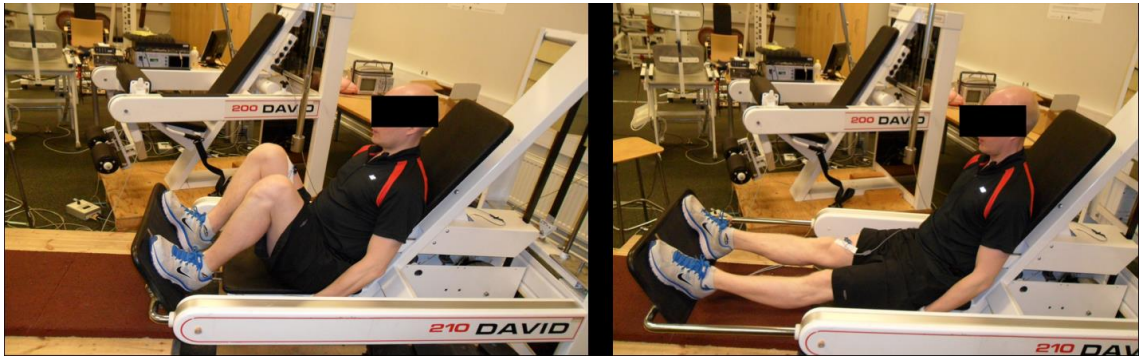
Maksimaalinen unilateraalinen isometrinen oikean polven ojennus (MVC_{KE}) ja koukistus (MVC_{KF}) mitattiin David 200 laitteen muokatulla versiolla (kuva 5). Jotta lonkkakulma pysyi oikeana, koehenkilöt käyttivät lantion kohdalla turvavyötä. Polvikulman varmistamiseksi reisien ylitse kulki pehmustettu kiinnike. Isometrisessä polven ojennuksessa nilkan kohdalla oli sen muotoja mukaileva pehmike, ja jalka oli kiinnitetty tähän akillesjänteen takaa kulkevalla joustamattomalla narulla. Mittaustilanteessa koehenkilöitä ohjeistettiin pyrkimään suoristamaan oikeaa jalkaansa maksimaalisesti. Vasen jalka oli koko ajan suorana. Isometrisessä polven koukistuksessa pehmike oli sijoitettu akillesjänteen alaosaan. Mittaustilanteessa koehenkilöitä ohjeistettiin pyrkimään koukistamaan oikeaa jalkaansa maksimaalisesti siten, että kantapäätä yritetään saada kohti pakaroita. Myös tässä mittauksessa vasen jalka oli koko ajan suorassa. Maksimivoima piti yrittää saavuttaa molemmissa mittauksissa niin nopeasti kuin mahdollista ja sitä tuli ylläpitää 3-4 sekuntia. Suoritukset mitattiin Newtonneissa (N) ja vain paras tulos otettiin huomioon jatkokäsittelyssä. Voimakäyrät analysoitiin tutkimusta varten ohjelmoidulla komentosarjalla.



KUVA 5. David 200 polven ojennus ja koukistus -laitetta (David Health Solutions Ltd, Helsinki, Finland) oli muokattu tutkimusta varten isometriseksi Jyväskylän yliopiston toimesta (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Suomi).

5.4.2 Dynaaminen voima

Jalkaprässi. Jalkojen ojentajien maksimaalinen bilateraalinen konsentrisen voima mitattiin David 210 jalkaprässillä (kuva 6). Liike aloitettiin istuvasta asennosta jolloin polvikulma oli $60^\circ \pm 2^\circ$. Ennen maksimisuoritusta koehenkilöt suorittivat kolme lämmittelysarjaa nousevalla kuormalla (1 x 5 x 70–75 % arvioidusta maksimista, 1 x 3 x 80–85 % arvioidusta maksimista ja 1 x 2 x 90–95 % arvioidusta maksimista). Mittaajien käskystä koehenkilöt suorittivat jalkojen ojennuksen (polvikulma 180° ja lonkkakulma 110°) laitteen vastusta vastaan. Liikkeen tuli olla jatkuva ja selän piti pysyä koko liikkeen ajan kiinni selkänojassa. Jokaisen onnistuneen maksimitoiston jälkeen vastusta lisättiin kunnes maksimitulos saavutettiin 1,25 kg tarkkuudella. Maksimisuoritusten enimmäismäärä oli rajoitettu viiteen yritykseen. Jokaisen lämmittely- ja maksimitoiston välissä oli 1 minuutin palautus.



KUVA 6. Vasemmassa kuvassa dynaamisen jalkaprässin (David Health Solutions Ltd, Helsinki, Finland) aloitusasento ja oikeassa kuvassa liikkeen lopetusasento.

Kevennyshyppy. Kevennyshyppy suoritettiin voimalevyn (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Suomi) päällä. Alkuasennossa oltiin seisten ja kädet lanteilla. Tästä asennosta kevennettiin nopeasti noin 90 asteen polvikulmaan, josta välitön ja maksimaalinen ponnistus suoraan ylöspäin. Kädet pysyivät lanteilla ja selkä suorana. Alastulo suoritettiin päkiöille polvet suorina. Koehenkilöt suorittivat vähintään kolme maksimaalista suoritusta, joiden välissä oli yhden minuutin palautus. Mikäli kolmas suoritus poikkesi edellisestä suorituksesta yli 5 %, suoritettiin vielä yksi ylimääräinen mittaus. Mittausten maksimimäärä oli viisi. Hyppykorkeus laskettiin impulssista.

5.5 EMG

Oikean jalan vastus lateraliksien (VL), vastus medialiksien (VM) ja biceps femoriksien (BF) lihasaktiivisuutta mitattiin pintaelektrodien (sEMG) avulla. BF kuvasi hamstring-lihasten toimintaa ja VL sekä VM nelipäisen reisilihaksen toimintaa. Elektrodien oikeat paikat merkittiin valmistavissa mittauksissa musteella SENIAM:n (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assesment of Muscles) ohjeiden mukaisesti (Hermens ym. 1999, 25–54). Elektrodit asetettiin lihassäikeiden oletetun pennaatiokulman suuntaisesti siten, että tatuointipiste jäi elektrodien väliin. Näin varmistettiin elektrodien kiinnittäminen samoihin paikkoihin ja samansuuntaisesti kaikissa mittauksissa.

EMG-dataa kerättiin kaikista voimamittauksista. Mittauksista saatu EMG-signaali vahvistettiin tuhatkertaiseksi ja näytteenottotaajuutena käytettiin 3000 Hz. Signaalit

ohjattiin kannettavaan lähettimeen (Telemyo 2400R, Noraxon, Scottsdale, AZ, USA), jota koehenkilöt pitivät lanteillaan. Lähettimestä signaalit ohjattiin AD-konvertterin (Micro 1401, Cambridge Electronic Design, UK) kautta tietokoneelle. EMG-signaalien analysointi suoritettiin tutkimusta varten ohjelmoidulla komentosarjalla, jonka jälkeen signaalit muunnettiin integroiduksi EMG:ksi (iEMG). Maksimaalinen iEMG ($\mu\text{V}\times\text{s}$) määritettiin 500–1500 ms aikavälille lihassupistuksen alkamisesta.

5.6 Harjoittelu

5.6.1 Kestävyysharjoittelu

Harjoittelu oli jaettu neljän viikon jaksoihin, joita kertyi tutkimuksen aikana kuusi kappaletta. Jokaisen jakson viimeinen viikko oli palautusviikko, jolloin harjoituksia kertyi vähemmän. Palauttavilla viikoilla harjoituksia oli 3-4 per viikko ja muilla viikoilla 5-6. Muilla kuin palauttavilla viikoilla sai tehdä lisäksi yhden kevyen omatoimisen harjoituksen, mikäli halusi. Harjoittelu suoritettiin noudattaen sykealueita, jotka oli määritetty prosentteina maksimisykkeestä. Maksimisyke oli mitattu maksimaalisessa kestävyyskuormituksessa juoksumatolla viikolla 0. Ryhmien välisissä harjoittelumääriä tai juoksumatalla kilometreissä ei ollut tilastollisia eroja. Molempien ryhmien kestävyysharjoittelu on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Viikoittainen harjoittelu pitää sisällään keskiarvon kaikesta harjoittelusta tunteina per viikko. Kokonaisharjoittelu sisältää kaiken harjoittelun tunteina. Viikoittainen juoksu pitää sisällään keskiarvon juostuista kilometreistä per viikko. Kokonaisjuoksu kuvaa tutkimuksen aikana juostuja kilometrejä yhteensä. Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.

	n	Viikoittainen harjoittelu (h)	Kokonaisharjoittelu (h)	Viikoittainen juoksu (km)	Kokonaisjuoksu (km)
E	14	4,9 ± 0,2	116,5 ± 4,5	36,6 ± 5,6	879,5 ± 133,3
E+S	13	4,7 ± 0,5	111,8 ± 10,8	33,5 ± 7,9	804,0 ± 189,3

Nousevatehoinen kestävyysharjoitus. Jokaisella harjoitusviikoilla (lukuun ottamatta palauttavia viikkoja) suoritettiin kaksi nousevatehoista juoksuharjoitusta. Näiden harjoitusten pituus vaihteli 30 ja 45 minuutin välillä ja ne sisälsivät neljä eripituista

porrasta erilaisilla sykealueilla. Ensimmäinen ja viimeinen porras olivat verryttelyä varten ja niillä syke ei saanut nousta yli 65 prosenttia maksimisykkeestä ($\%HR_{max}$). Nämä portaat kestivät 10–15 minuuttia viikosta riippuen. Toinen porras suoritettiin 80 % teholla maksimisykkeestä ja se oli viikosta riippuen pituudeltaan 5–10 minuuttia. Myös kolmas porras oli pituudeltaan 5-10 minuuttia, mutta se suoritettiin 85 % teholla maksimisykkeestä. Palautusviikoilla suoritettiin vain yksi em. harjoitus. Toinen harjoituksista korvattiin radalla tehdyllä tasotestillä (katso kappale 7.3).

Pitkä harjoitus. Jokaisella viikolla (paitsi viikolla 24) suoritettiin viikosta riippuen 70–125 minuuttinen pitkä harjoitus. Harjoitus suoritettiin useimmiten juosten, mutta sen sai suorittaa myös pyöräillen tai hiihtäen. Harjoituksen intensiteetti oli 60–65 $\%HR_{max}$, mutta pyöräillessä alle 60 $\%HR_{max}$.

Kevyt harjoitus. Jokaisella viikolla suoritettiin yksi kevyt harjoitus. Harjoituksen intensiteetti oli 60–65 $\%HR_{max}$ ja kesto viikosta riippuen 35–40 min.

Viiden minuutin intervallit. Viikoilla 1-20 (palautusviikkoja lukuun ottamatta) suoritettiin 4-5 x 5 min intervallit. Vetojen välissä oli 3 minuutin palautus. Intervallien intensiteetti oli 80–85 $\%HR_{max}$ ja palautuksessa sykkeen tuli laskea alle 65 $\%HR_{max}$. Viikoilla 21–23 vetojen määrä lisääntyi siten, että tehtiin 3 x 2 x 5 minuutin intervallit. Sarjojen välissä pidettiin kuuden minuutin palautus. Ennen vetoja ja niiden jälkeen suoritettiin kevyt (syke alle 65 $\%HR_{max}$) 7-10 minuutin verryttely.

800 m ja 400 m intervallit. Viikoilla 13, 14, 17, 18, 22, 23 ja 24 suoritettiin lyhemmät 800 ja 400 metrin intervallit. Vetojen intensiteetti oli 85 % tasotestin parhaan tuhannen metrin ajan perusteella arvioiduista 800 metrin ja 400 metrin ajoista. Molempien matkojen vetoja tehtiin viikosta riippuen 4-6 kappaletta ja vetojen välissä oli kahden minuutin palautus, jolloin sykkeen tuli laskea alle 65 $\%HR_{max}$. Ennen vetoja ja niiden jälkeen suoritettiin kevyt (syke alle 65 $\%HR_{max}$) 8-10 minuutin verryttely.

Vapaaehtoinen harjoitus. Juosten tai hiihtäen suoritettu vapaaehtoinen harjoitus piti tehdä sykealueella 65–75 $\%HR_{max}$ ja pyöräillen tehtynä alle 70 $\%HR_{max}$. Harjoituksen kesto oli 35–40 minuuttia ja se suoritettiin vain viikoilla 1-12 (lukuun ottamatta palauttavia viikkoja).

Ennen nousevatehoista harjoitetta oli pidettävä lepopäivä tai suoritettava kevyt harjoitus. Muuten koehenkilöt saivat jaksottaa harjoittelunsa viikon sisällä, kuten parhaaksi näkivät. Nousevatehoinen harjoitus suoritettiin aina samalla 1,75 km lenkillä. Muut harjoitukset sai suorittaa itse valitsemassaan maastossa.

5.6.2 Voimaharjoittelu

Voimaharjoittelua suoritti vain E+S ryhmä. Voimaharjoituksia oli kaksi joka viikolla ja ne suoritettiin välittömästi nousevatehoisen juoksusuorituksen jälkeen. Voimaharjoittelu oli jaettu neljän viikon jaksoihin siten, että kestovoimasta edettiin hiljalleen aina maksimivoimaan asti. Voimaharjoituksissa käytetyt liikkeet sekä toistomäärät vaihtelivat harjoitusjaksoittain. Kaikki voimaharjoituksissa käytetyt liikkeet on koottu taulukkoon 4 ja tarkat ohjelmat on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 4. Voimaharjoituksissa käytetyt liikkeet.

• Jalkaprässi	• Pudotushyppy räjähtävästi
• Penkille nousu	• Loikat räjähtävästi
• Polven koukistus (koneessa)	• Askelkyykky
• Päkiöille nousu	• Yliveto
• Vatsarutistus (HUR-laitteessa)	• Aitahyppy räjähtävästi
• Selän ojennus	• Aitahyppy pudotushypyllä räjähtävä
• Jännehyppy	• Aitadrillit räjähtävästi
• Kyykkyhyppy	• Polvennostojuoksu
• Hauiskääntö	• kuminauhavastuksella
• Pystypunnerrus	• Rinnalta työntö kuntopallolla
• Takareidet (koneessa)	• Pään yli eteen heitto kuntopallolla

Viikot 1–4. Ensimmäisellä neljällä viikolla kehitettiin kestovoimaa ja luotiin valmiuksia painoilla tapahtuvaa harjoittelua varten. Laitteissa tehtävissä liikkeissä käytettiin hyvin kevyitä lisäpainoja. Kaikissa harjoitteissa suoritustahti oli rauhallinen ja palautus oli sekä sarjojen että liikkeiden välissä 1-2 min. Ensimmäisten viikkojen voimaharjoittelu sisälsi kymmenen harjoitetta, mutta vain kahdeksaa näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa.

Viikot 5–8. Toisella jaksolla keskityttiin hypertrofiseen ja räjähtävään voimaharjoitteluun. Harjoitus sisälsi kymmenen liikettä, mutta vain seitsemää näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Räjähtävän voiman liikkeet tuli suorittaa mahdollisimman terävästi ja aina harjoituksen alkupuolella. Palautukset olivat liikkeestä riippuen 90–180 sekuntia.

Viikot 9–12. Kolmannella jaksolla keskityttiin maksimivoimaan ja räjähtävään voimaan. Ennen maksimaalisia liikkeitä tuli aina suorittaa verryttelysarja (5–8 x 60–70 %_{IRM}). Räjähtävän voiman liikkeet tuli suorittaa mahdollisimman terävästi ja aina harjoituksen alkupuolella. Harjoitus sisälsi kymmenen liikettä, mutta vain seitsemää näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Palautukset olivat liikkeestä riippuen 90–180 sekuntia.

Viikot 13–14. Neljännen jakson kaksi ensimmäistä viikkoa tehtiin ainoastaan kestovoimaa. Liikkeitä oli kahdeksan ja ne suoritettiin kaikissa harjoituksissa. Suoritustempo oli rauhallinen ja palautus liikkeiden välissä yksi minuutti.

Viikot 15–16. Neljännen jakson kaksi jälkimmäistä viikkoa keskityttiin maksimivoimaan. Harjoitus sisälsi yhdeksän liikettä, mutta vain kahdeksaa näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Suoritustempo oli rauhallinen ja palautus liikkeiden välissä 2-3 minuuttia. Ennen jalkaprässiä, takareisiä ja pystypunnerrusta suoritettiin verryttelysarjana 8 x 65 %_{IRM}.

Viikot 17–20. Viidennellä jaksolla keskityttiin maksimivoimaan ja räjähtävään voimaan. Ennen maksimaalisia liikkeitä tuli aina suorittaa verryttelysarja. Räjähtävän voiman liikkeet tuli suorittaa mahdollisimman terävästi ja aina harjoituksen alkupuolella. Harjoitus sisälsi 12 liikettä, mutta vain 7–8 näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Palautukset olivat 120–180 sekuntia.

Viikot 21–24. Viimeisellä jaksolla keskityttiin maksimivoimaan ja räjähtävään voimaan. Jakso piti sisällään seitsemän harjoitusta. Ennen maksimaalisia liikkeitä tuli aina suorittaa verryttelysarja. Räjähtävän voiman liikkeet tuli suorittaa mahdollisimman terävästi ja aina harjoituksen alkupuolella. Harjoitus sisälsi 14 liikettä, mutta vain 6–8 näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Palautukset olivat 120–180 sekuntia.

5.7 Tilastollinen analyysi

Tulokset analysoitiin Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) -ohjelmalla ja kuvaajat piirrettiin Microsoft PowerPoint 2013 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) -ohjelmalla. Kaikki tulokset on esitetty muodossa: Keskiarvo \pm keskihajonta. Keskiarvot ja keskihajonnat on laskettu Excelillä. Kaikki vaativimmat tilastolliset analyysit suoritettiin SPSS 18.0 (SPSS Inc., US) -ohjelmalla. Ryhmien sisäinen vertailu suoritettiin absoluuttisilla tuloksilla ja ryhmien välinen vertailu suhteellisilla muutoksilla viikkojen 0, 12 ja 24 välillä. Ryhmien väliin vertailuun käytettiin normaalisti jakautuneilla tuloksilla varianssianalyysiä (ANOVA) ja normaalisti jakautumattomilla Mann-Whitneyn testiä. Ryhmien sisäiseen vertailuun käytettiin normaalisti jakautuneilla tuloksilla lineaarisen mallin toistomittausta Bonferroni-korjauksella ja normaalisti jakautumattomilla Friedmanin kaksisuuntaista varianssianalyysiä. Tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä kun $*p < 0.05$, $**p < 0.01$ tai $***p < 0.001$.

6 TULOKSET

6.1 Kestävyys

Suorituskyky. Alkumittausten tasotestin (6x1000m) nopeimman tuhannen metrin aika ei eronnut ryhmien (E ja E+S) välillä tilastollisesti merkitsevästi. Molemmat ryhmät paransivat juoksuaikaa sekä väli- (E -8.3 % ± 5.1 p<0.05, E+S -6.7 % ± 3.3, p<0.001), että loppumittauksissa (E -12.9 % ± 4.7 p<0.001, E+S -8.9 % ± 5.2 p<0.01) verrattuna alkumittauksiin (taulukko 5). Ryhmien väliset juoksuajan suhteelliset parannukset eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

TAULUKKO 5. Nopeimman tuhannen metrin juoksuajan keskiarvo sekunteina (± keskihajonta) molemmilla ryhmillä. Tilastolliset erot ryhmien sisällä verrattuna alkumittaukseen (viikko 0) = *p<0.05, **p<0.01 ja ***p<0.001.

	Viikko 0 (s)	Viikko 12 (s)	Viikko 24 (s)
E	227.6 ± 17.7	208.4 ± 17.7*	197.7 ± 12.4***
E+S	217.2 ± 23.5	202.4 ± 21.8***	196.8 ± 13.6**

Taloudellisuus. Alkumittausten tasotestin (6x1000m) sykkeet eri vauhdeilla eivät eronneet ryhmien (E ja E+S) välillä tilastollisesti merkitsevästi. Molempien ryhmien syke oli sekä väli-, että loppumittauksissa lähes jokaisella vauhdilla tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi kuin alkumittauksissa (taulukko 6). Ryhmien väliset sykkeen suhteelliset muutokset alku- ja loppumittausten välillä eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

TAULUKKO 6. Molempien ryhmien tasotestien keskimääräinen syke (lyöntiä minuutissa \pm keskihajonta) eri vauhdeilla alku-, väli- ja loppumittauksissa. Tilastolliset erot ryhmien sisällä verrattuna alkumittaukseen = * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ ja *** $p < 0.001$.

E/S (min)	Viikko 0 (bpm)	Viikko 12 (bpm)	Viikko 24 (bpm)
E 6.00	147 \pm 14	143 \pm 12	139 \pm 12
E 5.30	158 \pm 13	153 \pm 12**	149 \pm 13**
E 5.00	168 \pm 12	162 \pm 10**	158 \pm 11**
E 4.30	178 \pm 11	171 \pm 12*	168 \pm 10**
E 4.00	187 \pm 9	180 \pm 9**	178 \pm 8***
E+S 6.00	138 \pm 10	134 \pm 10*	135 \pm 9
E+S 5.30	150 \pm 12	144 \pm 9*	147 \pm 11
E+S 5.00	161 \pm 12	154 \pm 10*	155 \pm 10**
E+S 4.30	173 \pm 11	166 \pm 10**	166 \pm 10*
E+S 4.00	183 \pm 9	177 \pm 8**	175 \pm 8**

Alkumittausten tasotestin (6x1000m) laktaatit eri vauhdeilla eivät eronneet ryhmien (E ja E+S) välillä tilastollisesti merkitsevästi. Ryhmän E laktaatti oli sekä väli-, että loppumittauksissa nopeimmilla vauhdeilla tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi kuin alkumittauksissa (taulukko 7). Ryhmän E+S laktaatti ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi väli- tai loppumittauksissa verrattuna alkumittauksiin. Ryhmien väliset laktaatin suhteelliset muutokset erosivat ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevästi neljän minuutin kilometrivauhdilla alku- ja välimittausten välillä (E -23.9 % \pm 21.6 vs. E+S -2.5 % \pm 27.4, $p < 0.05$). Muissa suhteellisissa muutoksissa ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

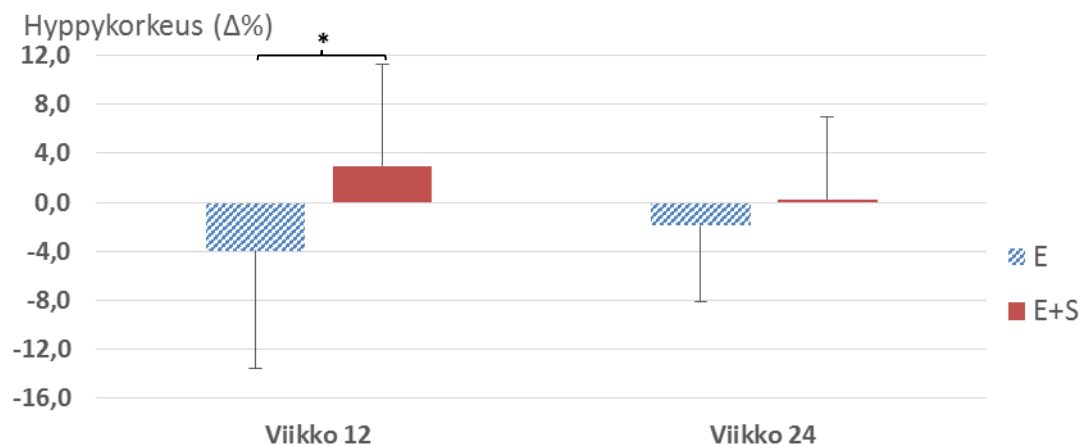
TAULUKKO 7. Molempien ryhmien tasotestien keskimääräinen veren laktaatti eri vauhdeilla (\pm keskihajonta). Tilastolliset erot ryhmien sisällä verrattuna alkumittaukseen (viikko 0) = * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ ja *** $p < 0.001$. Tilastolliset erot ryhmien välillä verrattuna alkumittaukseen (viikko 0) = † $p < 0.05$.

E/S (min)	Viikko 0 (mmol/l)	Viikko 12 (mmol/l)	Viikko 24 (mmol/l)
E 6.00	2,0 \pm 0,6	1,6 \pm 0,6	1,8 \pm 0,6
E 5.30	2,1 \pm 0,7	1,7 \pm 0,7	1,9 \pm 0,7
E 5.00	3,0 \pm 1,1	2,1 \pm 1,0*	2,4 \pm 0,9
E 4.30	4,9 \pm 1,7	3,6 \pm 1,7*	3,4 \pm 1,9**
E 4.00	8,5 \pm 2,8	6,2 \pm 2,6***†	5,6 \pm 2,7**
E+S 6.00	1,8 \pm 0,8	1,8 \pm 0,6	1,7 \pm 0,8
E+S 5.30	2,0 \pm 1,0	1,8 \pm 0,7	1,7 \pm 0,7
E+S 5.00	2,5 \pm 1,4	2,3 \pm 1,0	2,2 \pm 0,9
E+S 4.30	4,0 \pm 2,2	3,3 \pm 1,3	3,1 \pm 1,4
E+S 4.00	6,7 \pm 3,0	6,1 \pm 2,4†	5,3 \pm 2,5

Alkumittauksissa tasotestin laskennallinen kilometri-aika (sekuntia / km) 4 mmol/l laktaatilla ($S_{4\text{mmol/l}}$) ei eronnut ryhmien (E ja E+S) välillä tilastollisesti merkitsevästi. Ryhmän E $S_{4\text{mmol/l}}$ oli sekä välimittauksissa ($-6.1 \% \pm 6.7$, $p < 0.05$), että loppumittauksissa ($-7.8 \% \pm 7.5$, $p < 0.01$) nopeampi kuin alkumittauksissa. Ryhmällä E+S $S_{4\text{mmol/l}}$ ei muuttunut kummassakaan mittauspisteessä verrattuna alkumittauksiin. Muiden mittauspisteiden välillä tai suhteellisissa muutoksissa ryhmien välillä ei $S_{4\text{mmol/l}}$:ssä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

6.2 Voima ja EMG

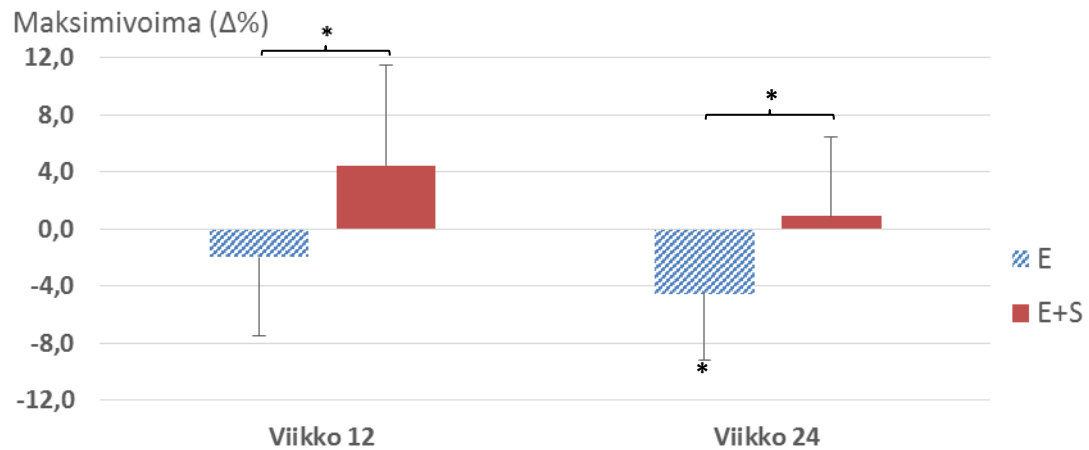
Kevennyshyppy. Alkumittauksissa kevennyshypyn hyppykorkeus ei eronnut ryhmien (E ja E+S) välillä tilastollisesti merkitsevästi. Kevennyshypyn suhteellisissa muutoksissa ryhmät erosivat toisistaan välimittauksissa ($p < 0.05$), sillä ryhmä E+S paransi hyppykorkeutta alkumittauksiin verrattuna $3.0 \% \pm 8.3$, kun taas E:n hyppykorkeus heikkeni $4.0 \% \pm 6.7$ (kuva 7). Kummankaan ryhmän kevennyshypyn hyppykorkeus ei kuitenkaan muuttunut tilastollisesti merkitsevästi koko 24 viikon aikana.



KUVA 7. Kevennyshypyn hyppykorkeuden suhteelliset muutokset viikoilla 12 ja 24 verrattuna viikkoon 0. Tilastollinen ero ryhmien välillä verrattuna viikkoon 0 = }* $p < 0.05$.

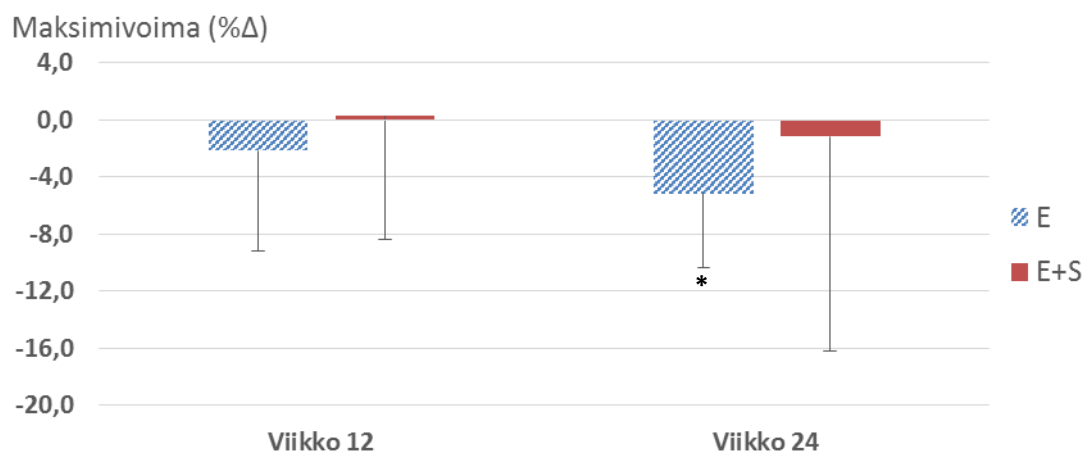
Dynaaminen jalkaprässi. Alkumittauksissa dynaamisen jalkaprässin maksimitulos ei eronnut ryhmien (E ja E+S) välillä tilastollisesti merkitsevästi. Ryhmä E heikensi loppumittauksen maksimaalista dynaamista jalkaprässitulosta verrattuna alkumittauksiin ($-4.5 \pm 4.7 \%$, $p < 0.05$), kun taas ryhmän E+S tuloksissa ei tapahtunut tilastollisesti merkittävää muutosta. Suhteelliset muutokset alkumittauksiin verrattuna erosivat

ryhmien välillä sekä väli- (E $-2,0 \% \pm 5,5$ vs. E+S $4,5 \% \pm 7,0$, $p < 0,05$) että loppumittausten (E $-4,5 \pm 4,7$ vs. E+S $0,89 \pm 5,5$, $p > 0,05$) osalta tilastollisesti merkitsevästi (kuva 8).



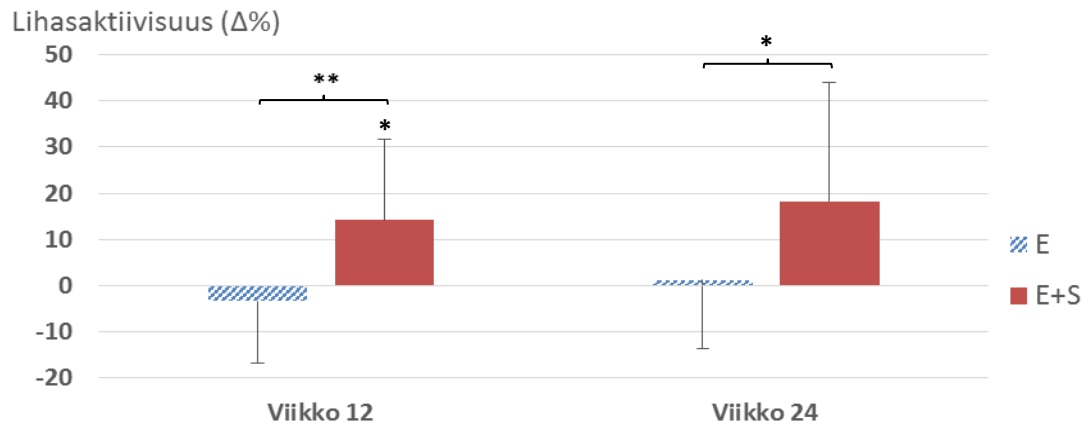
KUVA 8. Dynaamisen jalkaprässin maksimivoiman suhteelliset muutokset viikoilla 12 ja 24 verrattuna viikkoon 0. Tilastollinen ero ryhmän sisällä verrattuna viikkoon 0 = * $p < 0,05$. Tilastollinen ero ryhmien välillä verrattuna viikkoon 0 = }* $p < 0,05$.

Isometrinen jalkaprässi. Alkumittauksissa isometrisen jalkaprässin maksimitulos ei eronnut ryhmien (E ja E+S) välillä tilastollisesti merkitsevästi. Ryhmä E heikensi loppumittausten maksimaalista isometristä jalkaprässitulosta verrattuna alkumittauksiin ($-5,2 \% \pm 5,2$, $p < 0,01$), kun taas ryhmän E+S tuloksissa ei tapahtunut tilastollisesti merkittävää muutosta (kuva 9). Muiden mittauspisteiden välillä tai suhteellisissa muutoksissa ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.



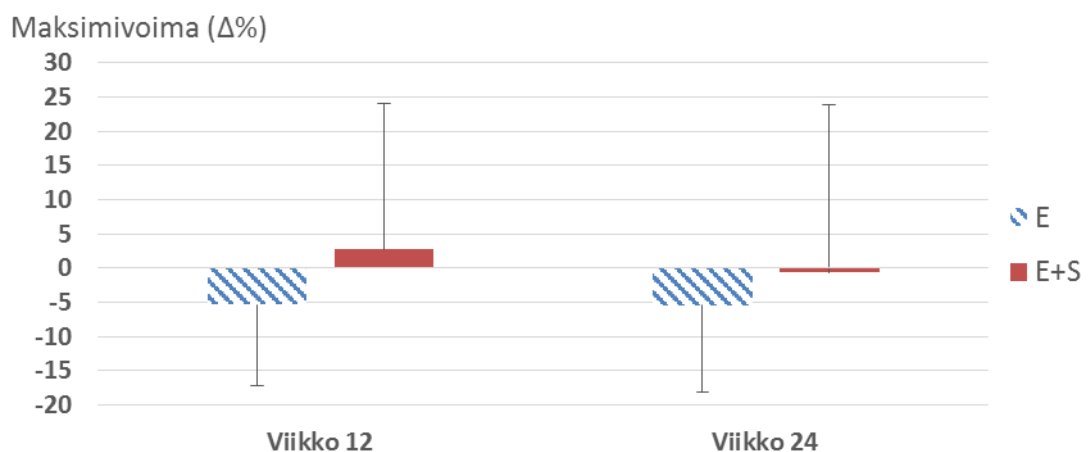
KUVA 9. Isometrisen jalkaprässin maksimivoiman suhteelliset muutokset viikoilla 12 ja 24 verrattuna viikkoon 0. Tilastollinen ero ryhmän sisällä verrattuna viikkoon 0 = ** $p < 0,01$.

Ryhmä E+S vastus medialiksen lihasaktiivisuus oli lisääntynyt välimittauksissa verrattuna alkumittauksiin ($15.6 \% \pm 20.5$, $p < 0.05$). Ryhmien sisällä ei ollut muita tilastollisesti merkitseviä eroja. Vastus lateraliksen ja vastus medialiksen lihasaktiivisuuden suhteellisista muutoksista laskettu keskiarvo erosi ryhmien välillä sekä välimittauksissa (E $-3.4 \% \pm 13.4$, E+S $14.2 \% \pm 17.6$, $p < 0.01$), että loppumittauksissa (E $1.3 \% \pm 15.0$, E+S $18.3 \% \pm 25.6$, $p < 0.05$) verrattuna alkumittauksiin (kuva 10).



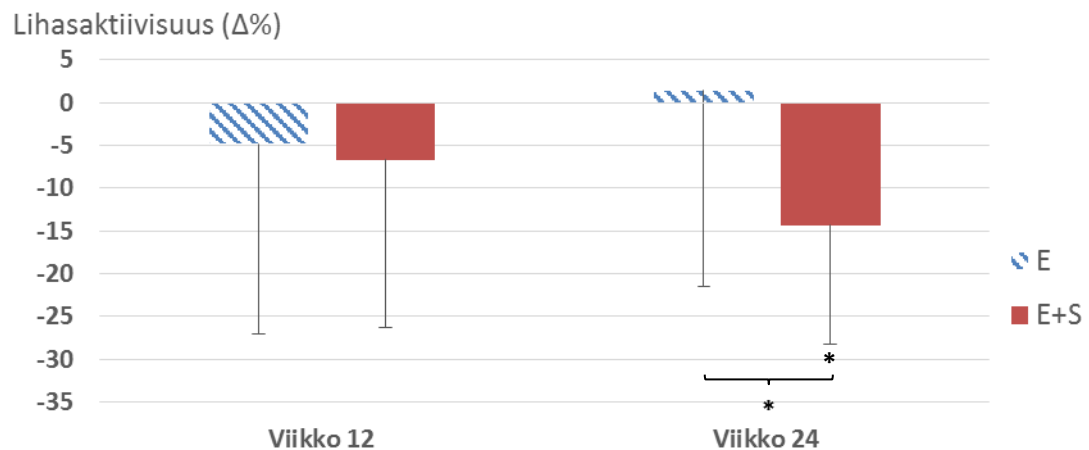
KUVA 10. Nelipäisen reisilihaksen lihasaktiivisuuden suhteelliset muutokset isometrisessä jalkaprässissä viikoilla 12 ja 24 verrattuna viikkoon 0. Tilastollinen ero ryhmän sisällä verrattuna viikkoon 0 = * $p < 0.05$. Tilastollinen ero ryhmien välillä verrattuna viikkoon 0 = }* $p < 0.05$, }** $p < 0.01$

Polven koukistus. Polven koukistuksen isometrinen maksimivoima ei eronnut ryhmien (E ja E+S) välillä tilastollisesti merkitsevästi missään mittauspisteessä suhteellisesti tai absoluuttisesti tarkasteltuna (kuva 11).



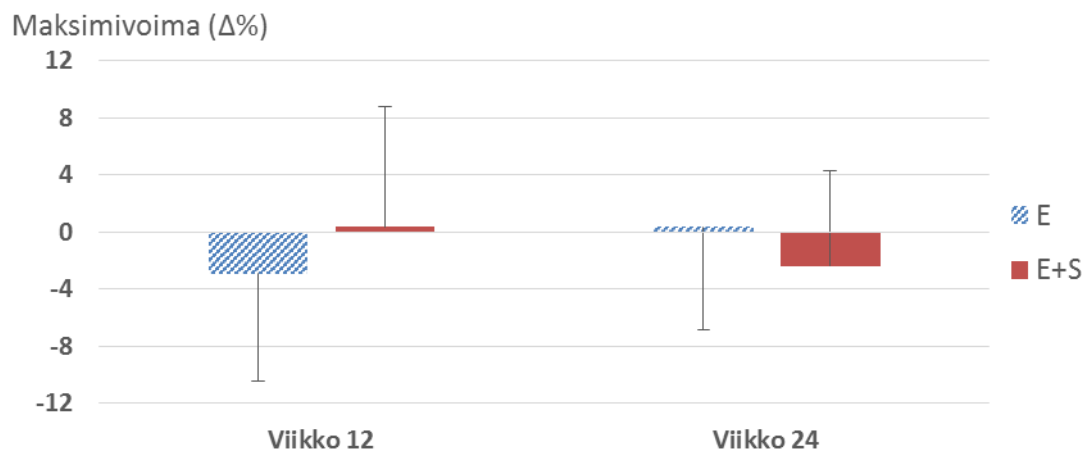
KUVA 11. Isometrisen polven koukistuksen maksimivoiman suhteelliset muutokset viikoilla 12 ja 24 verrattuna viikkoon 0.

Ryhmä E+S vastus medialiksen lihasaktiivisuus oli vähentynyt loppumittauksissa verrattuna alkumittauksiin ($-14.3 \% \pm 13.9$, $p < 0.05$). Ryhmien sisällä ei ollut muita tilastollisesti merkitseviä eroja. Vastus medialiksen lihasaktiivisuuden suhteellinen muutos alku- ja loppumittausten välillä erosi ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevästi (E $1.4 \% \pm 12.8$, E+S $-14.3 \% \pm 13.9$, $p < 0.05$). Muissa suhteellisissa muutoksissa ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja (kuva 12).



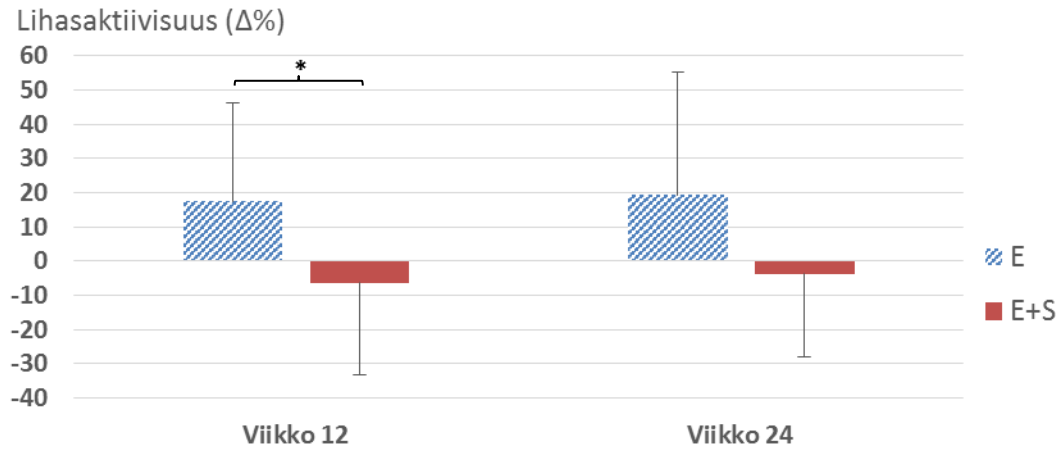
KUVA 12. Vastus medialiksen lihasaktiivisuuden suhteelliset muutokset isometrisessä polven koukistuksessa viikoilla 12 ja 24 verrattuna viikkoon 0. Tilastollinen ero ryhmän sisällä verrattuna viikkoon 0 = * $p < 0.05$ ja ryhmien välillä verrattuna viikkoon 0 = }* $p < 0.05$.

Polven ojennus. Alkumittauksissa polven ojennuksen isometrinen maksimivoima erosi ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevästi (E $774,3 \text{ N} \pm 65,0$ vs. E+S $888,2 \text{ N} \pm 185,7$, $p < 0.05$). Muissa mittauspisteissä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja suhteellisesti tai absoluuttisesti tarkasteltuna (kuva 13).



KUVA 13. Isometrisen polven ojennuksen maksimivoiman suhteelliset muutokset viikoilla 12 ja 24 verrattuna viikkoon 0.

Lihaskäivisuuksissa tai biceps femoriksen koaktivaatiossa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien sisällä. Biceps femoriksen lihaskäivisyyden suhteellinen muutos alku- ja välimittausten välillä erosi ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevästi (E 17.5 % ± 28.8, E+S -6.3 % ± 26.8, $p < 0.05$). Muissa suhteellisissa muutoksissa ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja (kuva 14).



KUVA 14. Biceps femoriksen lihaskäivisyyden suhteelliset muutokset isometrisessä polven ojennuksessa viikoilla 12 ja 24 verrattuna viikkoon 0. Tilastollinen ero ryhmien välillä verrattuna viikkoon 0 = }* $p < 0.05$.

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää parantaako yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu juoksun taloudellisuutta paremmin kuin pelkkä kestävyysharjoittelu 24 viikon harjoittelujakson aikana. Tutkimuksen päälöydöksenä oli, että voimaharjoittelun lisäämisestä kestävyysharjoitteluun ei tässä tutkimuksessa ollut hyötyä juoksun taloudellisuuden kannalta. Sen sijaan voimatasojen ylläpidon ja kehittämisen kannalta yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu tuottaa parempia tuloksia kuin pelkkä kestävyysharjoittelu. Voimatasojen erot johtuivat todennäköisesti E+S ryhmän lisääntyneestä lihasaktiivisuudesta agonisteissa ja vastaavasti vähentyneestä lihasaktiivisuudesta antagonisteissa verrattuna E ryhmään.

Tutkimustulosten perusteella suositellaan yhdistetyn harjoittelun voima- ja kestävyysosion jakamista omaan harjoituskertoihinsa. Mikäli harjoitukset on suoritettava samalla kerralla, tulisi harjoitusten intensiteetti ja volyyymi harkita tarkoin. Kovatehoinen ja määrällinen juoksuharjoittelu yhdessä kuormittavan voimaharjoittelun kanssa voi pitkällä aikavälillä jopa haitata juoksun taloudellisuuden parantumista.

7.1 Muutokset kestävyys- ja voimatasoissa ja taloudellisuudessa

Molemmat ryhmät paransivat suorituskykyään 6 x 1000 metrin juoksupätkässä sekä alkua että loppumittauksissa. Ryhmien välisissä suhteellisissa muutoksissa ei ollut eroja. Vaikka joidenkin tutkimusten mukaan yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu voi heikentää kestävyysominaisuuksia (Nelsonin ym. 1990), ei tässä tutkimuksessa havaittu haittavaikutuksia kestävyys- ja voimatasoissa. Parantuneen suorituskyvyn taustalla on todennäköisesti parantunut maksimaalinen hapenottokyky. Hapenottokyvyn ja sydämen iskutilavuuden on todettu parantuvan juuri kovan intervalliharjoittelun seurauksena (Helgerud ym. 2007; Daussin ym. 2008).

Taloudellisuuden osalta molempien ryhmien syke oli lähes kaikilla vauheilla sekä väliettä loppumittauksissa alhaisempi kuin alkumittauksissa. Suhteellisissa muutoksissa ryhmien välillä ei ollut eroja alkua ja loppumittauksien välillä. Sen sijaan laktaatti eri vauheilla muuttui vain E ryhmällä. Kestävyys- ja voimaharjoitteluiden laktaatti oli nopeampien

vetojen (4 min ja 4.30 min) osalta sekä väli- että loppumittauksissa alhaisempi kuin alkumittauksissa. Myös kestävyysryhmän laskennallinen vauhti 4 mmol/l laktaatilla lisääntyi sekä väli- että loppumittauksissa verrattuna alkumittauksiin, kun taas E+S ryhmällä laskennallinen vauhti 4 mmol/l laktaatilla pysyi muuttumattomana. Ryhmällä E joko laktaatin tuotto laski tai käyttö lisääntyi, jolloin vauhti 4 mmol/l laktaatilla pääsi kasvamaan. Ryhmällä E+S tapahtui taas juuri päinvastoin. Monissa tutkimuksissa yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu on tuottanut hyviä tuloksia, kunhan harjoittelumäärä, intensiteetti ja harjoitusten pituudet ovat kohtuullisia (McCarthy ym. 2002; Häkkinen ym. 2003; Leveritt ym. 1999; Izquierdo ym. 2005). Sen sijaan pitkäkestoisen yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoittelun suurella volyyymilla ja intensiteetillä on todettu häiritsevän aerobisen kapasiteetin kehitystä (Glowacki ym. 2004; Nelson ym. 1990). Voimaharjoittelu voi mahdollisesti vähentää kapillarisaatiota (MacDougall ym. 1979), jolloin laktaatin tuotto lisääntyy vauhdin pysyessä samana.

Peräkkäin suoritettu kestävyys- ja voimaharjoittelu on haitannut suorituskyvyn kehitystä useissa tutkimuksissa (Nelson ym. 1990; Dolezal & Potteiger 1998) ja tätä kehittymisen heikentymistä on kutsuttu ”interference effectiksi” (Hickson 1980). Tämän ilmiön on päätelty johtuvan useista seikoista:

- Yhdistetty harjoittelu hidastaa palautumista (Leveritt & Abernethy 1999). Mikäli palautumista ei tule riittävästi voi tämä johtaa helposti ylikuntoon. (Leveritt ym. 1999.)
- Ensin suoritettu kestävyys harjoitus voi vaikuttaa negatiivisesti voimaharjoituksessa käytettäviin painoihin, jolloin harjoituksen laatu heikkenee. (Leveritt ym. 1999.)
- Lihastason adaptaatiot kestävyys- ja voimaharjoitteluun ovat erilaiset jolloin toinen harjoitusmuoto voi häiritä toisen kehitystä. (Leveritt ym. 1999.)

Kaikki edellä mainitut tekijät yhdessä voivat vaikuttaa negatiivisesti pitkän aikavälin kehitykseen (Craig ym. 1991). Tässä tutkimuksessa käytetty nousevatehoinen juoksu harjoitus ennen voimaharjoitusta on voinut olla liian kovatehoinen, jolloin voimaharjoituksen laatu on heikentynyt ja palautumisaika harjoituksesta on pidentynyt. Pitkällä aikavälillä tämä on voinut johtaa lievään ylikuntoon osalla koehenkilöistä.

7.2 Muutokset voimassa ja lihasaktiivisuudessa

Räjähävää voimantuottoa kuvaava kevennyshypyn hyppykorkeus muuttui ainoastaan ryhmien välillä suhteellisesti tarkasteltuna. E+S ryhmä paransi välimittauksissa hyppykorkeutta verrattuna alkumittauksiin 3 %, E:n hyppykorkeuden laskiessa 4 %. Tulos on linjassa aiempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan nuorten aikuisten kohtuullinen yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu ei heikennä voimatasojen kasvua (Sale ym. 1990b; McCarthy ym. 2002; Häkkinen ym. 2003). Nopean voimantuoton on todettu olevan tärkeä tekijä taloudellisuuden kannalta (Nummela ym. 2007) ja hyppykorkeuden on todettu korreloivan juoksun suorituskyvyn kanssa (Hudgins ym. 2012). Räjähävän voimantuoton kasvu voikin olla selittävä tekijä E+S ryhmän sykkeen laskulle välimittauksissa verrattuna alkumittauksiin laskennallisella 4 mmol/l laktaatilla.

Loppumittauksissa ryhmien välisissä suhteellisissa muutoksissa ei puolestaan ollut eroja. Tämä voi johtua lisääntyneestä harjoittelumäärästä, joka häiritsi räjähtävän voimantuoton kehittymistä (Leveritt ym. 1999). Vaikka kehitystä voiman muilla osa-alueilla tapahtuisikin, yhdistetty harjoittelu estää yleensä erityisesti räjähtävän voimantuoton kehittymistä (Hennessey & Watson 1994; Häkkinen ym. 2003). Tutkimuksen toisen harjoittelujakson kahdeksan viimeistä viikkoa suoritettiin maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelua samanaikaisesti. Tämän lisäksi kovatehoisia juoksuharjoituksia oli 2-4 kappaletta viikossa. Sekä intensiteetti että harjoittelufrekvenssi olivat siis samanaikaisesti koholla. Harjoitteluadaptaatioiden laskun onkin oletettu olevan ongelmana etenkin pitkien harjoitusten, kovan intensiteetin ja kovan harjoittelufrekvenssin johdosta (Halson & Jeukendrup 2004). Lisäksi raskas kuormitus on voinut johtaa lihassolujen mikrovaurioihin, sillä voimaharjoittelussa käytettiin paljon myös eksentrisiä liikkeitä (Fridén & Lieber 1992; Gibala ym. 1995). Erityisesti lihasvaurioita aiheuttavan yhdistetty harjoittelu voi vähentää harjoitusadaptaatioita (Halson & Jeukendrup 2004).

Dynaamisen jalkaprässin maksimivoiman suhteellinen kehitys alkumittauksiin verrattuna erosi ryhmien välillä sekä väli- että alkumittauksissa. Välimittauksissa E+S ryhmä paransi maksimitulostaan 4 % alkumittauksiin verrattuna, mutta loppumittauksissa ero alkumittauksiin ei ollut enää tilastollisesti merkittävä.

Aikaisempia tutkimustulosten valossa nämä löydökset olivat erittäin odotettuja. Pelkällä kestävyysharjoittelulla voimatasot laskevat tai pysyvät muuttumattomina (McCarthy ym. 1995), kun taas yhdistetty harjoittelu nostaa alkuun voimatasoja, mutta voi pidemmän päälle jopa alentaa maksimivoimaa (Hickson ym. 1980). Harjoitusmäärien ja intensiteetin kasvaessa kohti tutkimuksen loppua onkin mahdollista että kovaintensiteettinen kestävyysharjoittelu on jo alkanut haittaamaan voiman kehitystä. Dohertyn & Sporerin (2000) kehittämän mallin mukaan juuri metabolisesti vaativa voimaharjoittelu yhdessä korkeaintensiteettisen kestävyysintervalliharjoittelun haittaa voiman kehitystä.

Isometrisessä voimassa ainoa ero ryhmien sisällä tai välillä oli E ryhmän heikentynyt isometrisen jalkaprässin maksimitulos alkumittauksiin verrattuna. Lihaskäyttösuuruuksien osalta E+S ryhmän lihaskäyttösuuruus kasvoi agonistin osalta isometrisessä jalkaprässissä ja vähentyi antagonistin osalta isometrisessä polvenkoukistuksessa, kun taas E ryhmällä antagonistin lihaskäyttösuuruus kasvoi isometrisessä polven ojennuksessa. E+S ryhmän positiivisista muutoksista huolimatta, lihaskäyttösuuruden muutokset eivät näkyneet maksimivoimatuloksissa, sillä ryhmän isometriset voimatulokset eivät muuttuneet 24 viikon aikana laisinkaan. Yleensä dynaaminen voima kasvaakin isometristä voimaa enemmän (Dons ym. 1979; Rutherford & Jones 1986), sillä neuraaliset adaptaatiot aiheutuvat liikkeen oppimisesta ja lihaskoordinaation parantumisesta, joka johtaa lihassolujen parempaan rekrytointiin ja aktivaatioon harjoitetussa liikkeessä (Folland & Williams 2007). Tämän tutkimuksen voimaharjoitteluohjelma ei pitänyt sisällään lainkaan isometristä voimaharjoittelua 24 viikon tutkimusjakson aikana, joten tulokset olivat odotettuja. iEMG:n kasvu johtuu joko motoristen yksiköiden määrän tai koon kasvusta, syttymistiheyden kasvusta tai synkronisoinnin parantumisesta ja johtaa usein voiman kasvuun (Higbie ym. 1996). Aina iEMG:n muutokset eivät kuitenkaan korreloi voiman muutosten kanssa (Häkkinen ym. 2003; Häkkinen ym. 1985; Jones 1987), kuten tässä tutkimuksessa kävi. Yhtenä selityksenä tälle voi olla mittausmenetelmänä käytetty pinta-EMG. Eveytovichin ym. (2001) mukaan mahdollisen lihassolujen hypertrofian johdosta lihassolujen paikka voi hieman muuttua, jolloin myös EMG signaali muuttuu.

7.3 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Mittausten vakiointi oli suoritettu erittäin huolellisesti ja mittaukset tehtiin aina samaan aikaan päivästä. Lisäksi mittauksia oli suorittamassa aina sama henkilöstö. Nämä asiat varmasti lisäsivät mittausten luotettavuutta. Sen sijaan hengityskaasuanalysaattorin tekninen vika vähensi juoksumatolla suoritettujen mittausten luotettavuutta siinä määrin, että nämä tulokset jouduttiin jättämään pois tästä tutkimuksesta. Juoksun taloudellisuutta ja suorituskykyä jouduttiin näin arvioimaan ainoastaan tasotestin perusteella. Vaikka pelkkää sykettä ja laktaattia mittaamalla päästäänkin luotettaviin tuloksiin, ei mittaustuloksissa päästä samaan tarkkuuteen kuin hengityskaasuja käyttämällä olisi päästy.

Tiukkojen hakukriteerien takia koehenkilöryhmä oli melko homogeeninen. Tästä huolimatta eroja harjoitustaustoista ja juoksutottumuksista löytyi huomattavasti. Tämän johdosta juoksumäärä oli osalle koehenkilöistä totuttua suurempi, joka voi osaltaan olla syynä muutamisiin loukkaantumisiin. Lisäksi, melko rauhallinen aloitustahti oli hyväksi vähemmän harjoitelleille, mutta enemmän ja kovempaa harjoitelleilla alkutahti oli ehkä liian helppo, jolloin haluttuja adaptaatioita ei saavutettu. Tämä siitäkin huolimatta, että koehenkilöiden oli mahdollista tehdä yksi ylimääräinen lenkki viikossa omien halujensa mukaisesti. Vastaavasti tutkimuksen loppupuolen harjoittelu oli todella intensiivistä, jolloin palautusaikaa jäi vähän ja vähemmän harjoitelleiden kohdalla ylikuormittumisen vaara oli olemassa. Tämä korostui etenkin yhdistetyllä ryhmällä, jolle kertyi voimaharjoittelun takia enemmän harjoitustunteja kuin kestävyysryhmälle.

7.4 Yhteenveto ja käytännön sovellutukset

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta 24 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun olevan hyödyllistä voimatasojen kannalta, mutta juoksun taloudellisuuden kehitystä yhdistetty harjoittelu voi jopa haitata. Pitkällä aikavälillä on kuitenkin mahdollista, että pelkkää kestävyysharjoittelua suoritettaessa voimatasojen lasku alkaa vaikuttaa myös juoksun taloudellisuuteen, joten ylläpitävää voimaharjoittelua on hyvä pitää mukana harjoitusohjelmassa. Tutkimustulosten

perusteella suositellaan yhdistetyn harjoittelun kestävyys- ja voimaosion jakamista omiin harjoituskertoihinsa. Tämä voi olla harjoitusadaptaatioiden kannalta tehokkaampi ratkaisu kuin samassa harjoituksessa suoritettu yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu. Mikäli harjoitukset on suoritettava samalla kerralla, tulisi harjoitusten intensiteetti ja volyyymi harkita tarkoin. Ennen voimaharjoitusta olisi hyvä tehdä vain kevyt kestävyysharjoitus, jotta voimaharjoituksen laatu säilyy hyvänä. Lisäksi tulee huomioida riittävä palautuminen, sillä yhdistetty harjoitus vaatii yksittäistä harjoitusta pidemmän palautumisajan.

Tulevissa tutkimuksissa olisi hyvä ottaa paremmin huomioon koehenkilöiden tasoerot alkumittauksissa ja muokata harjoitusohjelma kaikille yksilölliseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että vähemmän juosseet tekisivät osan harjoittelusta esim. pyöräillen ja että harjoitusintensiteettiä voitaisiin muuttaa henkilökohtaisesti. Näin saataisiin maksimoitua harjoitusadaptaatiot ja samalla mahdolliset muutokset juoksun taloudellisuudessa saataisiin paremmin esille. Tutkimuksen raportoinnin ja ryhmien välisten erojen kannalta tämän tyyllisen tutkimusasetelman luominen on kuitenkin erittäin haastavaa. Lisäksi ennen voimaharjoitusta voisi olla parempi tehdä todella kevyt juoksuharjoite, eikä nousevatehoista kuormittavaa juoksua kuten tässä tutkimusasetelmassa.

Tässä tutkimuksessa paneuduttiin vain yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aiheuttamiin muutoksiin tässä nimenomaisessa järjestyksessä. Schumannin ym. (2013) mukaan yhdistetyn harjoittelun voima- ja kestävyysosion suoritusjärjestyksellä on väliä, sillä palautuminen on nopeampaa kun voimaharjoittelu suoritetaan ennen kestävyysharjoittelua verrattuna toisinpäin suoritettuun harjoitteluun. Voimaharjoittelun suorittaminen ennen kestävyysharjoittelua voisi täten tarjota parempia voimapuolen harjoitusadaptaatioita ja tätä kautta parannusta myös juoksun taloudellisuuteen.

LÄHTEET

- Aagaard, P., Simonse, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. 2002. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 93: 1318-1326.
- Anderson, T. 1996. Biomechanics and running economy. *Sports Medicine*. 22(2): 76-89.
- Bastiaans, J., van Diemen, A., B., J., P., Veneberg, T. & Jeukendrup, A., E. 2001. The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*. 86, 79-84.
- Bell, G., J., Syrotuik, D., Martin, T., P., Burnham, R. & Quinney, H., A. 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology*. 81: 418-427.
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G. & Koralsztein, J. P. 1999. Interval training at VO_2 max: Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and science in sports and exercise*. 31(1): 156-163.
- Carolan, B. & Cafarelli, E. 1992. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 73(3): 911-917.
- Cavanagh, P. R. & Kram, R. 1984. The efficiency of human movement – a statement of the problem. *Medicine and science in sports and exercise*. 17(3): 304-308.
- Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G. P. & Amri, M. 2005. Effects of Intra-Session Concurrent Endurance and Strength Training Sequence on Aerobic Performance and Capacity. *Br J Sports Med*. 39: 555-560.
- Coast, J. R., Rasmussen, S. A., Krause, K. M., O’Kroy, J. A., Loy, R. A. & Rhodes, J. 1993. Ventilatory work and oxygen consumption during exercise and hyperventilation. *J Appl Physiol*. 74(2):793-798.
- Collins, M. A. & Snow, T. K. 1993. Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training? *Journal of Sports Sciences*. 11(6): 485-491.

- Craig, B. W., Lucas, J., Pohlman, R. & Stelling, H. 1991. The effects of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *J Appl Sport Sci Res* 5: 198–203.
- Daniels, J. & Daniels N. 1992. Running economy of elite male and elite female runners. *Med Sci Sports Exerc.* 24 (4): 483-9.
- Daussin, F.N., Zoll, J., Dufour, S.P., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Mettauer, B., Piquard, F., Geny, B. & Richard, R. 2008. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American Journal of Physiology* 295 (1), R264-72.
- Davies, J., Parker, D. F., Rutherford, O. M. & Jones, D. A. 1988. Changes in strength and cross sectional area of the elbow flexors as a result of isometric strength training. *Eur J Appl Physiol.* 57(6): 667-670.
- Doherty, D. & Sporer, B. 2000. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Medicine* 30(6): 385-394.
- Dolezal, B. A. & Potteiger, J. A. 1998. Concurrent Resistance and Endurance Training Influence Basal Metabolic Rate in Nondiets Individuals. *J Appl Physiol* 85: 695-700.
- Dons, B., Bollerup, K., Bonde-Petersen, F. & Hancke, S. 1979. Effect of weight lifting exercise related to muscle-fiber composition and muscle cross-sectional area in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 40(2): 95-106.
- Ekblom, B., Astrand, P. O., Saltin, B., Stenberg, J. & Wallström, B. 1968. Effect of training on circulatory response to exercise. *Journal of Appl Physiol.* 24(4): 518–528.
- Enoka, R. M. 1994. *Neuromechanical basis of kinesiology*, 2nd ed. Champaign, Human Kinetics Pub.
- Eveytovich, T.K., Housh, D.J., Johnson, G.O., Smith, D.B., & Ebersole, K.T. 2001. The effect of Concentric Isokenetic strength training of the Quadriceps Femoris on EMG and muscle strength in the trained and untrained limb. *J. strength & conditioning Research*, 15(4), 439-445.
- Feinstein, B., Lindegård, B., Nyman, E. & Wohlfart, G. 1955. Morphological studies of motor units in normal human muscles. *Acta Anatomica (Basel).* 23(2): 127-142.

- Ferketich, A., Kirby, T. E. & Always, S. E. 1998. Cardiovascular and Muscular Adaptations to Combined Endurance and Strength Training in Elderly Women, *Acta Physiol Scand.* 164: 259-267.
- Ferrauti, A., Bergermann, M & Fernandez-Fernandez, J. 2010. Effects of a concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 24(10): 2770-2778.
- Folland, J. P. & Williams, A. G. 2007. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine.* 37: 145-168.
- Foster, C. & Lucia, A. 2007. Running economy – The forgotten factor in elite performance. *Sports Med.* 37: 316-319.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M.S. & Pedersen, P.K. 1998. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc.* 30(8): 1250-1256.
- Fridén, J. & Lieber, R. L. 1992. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med Sci Sports Exerc.* 24(5):521-530.
- Freund, H. J. 1983. Motor unit and muscle activity in voluntary motor control. *Physiological Reviews.* 63(2): 387-436.
- Fritzsche, R.G., Switzer, T.W., Hodgkinson, B.J. & Coyle, E.F. 1999. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *J Appl Physiol* 86(3): 799-805.
- Gibala, M. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M., A, Stauber, W. T. & Elorriaga, A. 1995. Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *J Appl Physiol.* 78(2): 702-708.
- Glowacki, S.P., Martin, S.E., Maurer, A., Baek, W., Green, J.S. & Crouse, S.F. 2004. Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36, 2119-2127.
- Green, H., J. & Patla, A., E. 1992. Maximal aerobic power: neuromuscular and metabolic considerations. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 24(1): 38-46.
- Halson, S. L. & Jeukendrup, A. E. 2004. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine.* 34: 967–981.

- Heise, G. D. & Martin, P. E. 2001. Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics? *Eur J Appl Physiol.* 84 (5): 438-42.
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjørth, N., Bach, R. & Hoff, J. 2007. Aerobic highintensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(4): 665-671.
- Hennessey & Watson 1994. The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 8: 12-9.
- Herbert, R. D., Dean, C. & Gandevia, S. C. 1998. Effects of real and imagined training on voluntary muscle activation during maximal isometric contractions. *Acta Physiol Scand.* 163(4): 361-368.
- Hermens, H., J., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug, C. & Hägg, G. 1999. European Recommendations for Surface Electromyography, results of the SENIAM project. Roessingh Research and Development, Hollanti.
- Hickson, R., C. 1980 Interference of Strength Development by Simultaneously Training for Strength and Endurance. *Eur J Appl Physiol* 45:255–263.
- Hickson. R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T. & Foster, C. 1988. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol.* 65: 2285–2290.
- Higbie, E.J., K.J. Cureton, G.L. Warren, and B.M. Prior. 1996. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol* 81: 2173–2181.
- Hill, A., V., Long, C., N., H. & Lupton, H. 1924. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen -parts VII-VIII. *Proceeding of the Royal Society B.* 97(682): 155-176.
- Hortobágyi, T., Scott, K., Lambert, J., Hamilton G. & Tracy, J. 1999. Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor Control.* 3: 205-219.
- Holloszy, J. O., Rennie, M. J., Hickson, R. C., Conlee R. K. & Hagberg, J. M. 1977. Physiological consequences of the biochemical adaptations to endurance exercise. *Ann NY Acad Sci.* 301: 440-50.

- Hudgins, B., Scharfenberg, J., Triplett, N. T. & McBride, J. M. 2012 Relationship between Jumping Ability and Running Performance in Events of Varying Distance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27(3): 563-567.
- Häkkinen, K., M. Alen, and P. V. Komi. 1985. Changes in isometric force- and relaxation-time characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 125: 573-585.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H. & Komi, P. 1988. Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *European Journal of Sport Sciences.* 3:50-58.
- Häkkinen, K. & Kauhanen H. 1989. Daily changes in neural activation, force-time and relaxation time characteristics in athletes during very intense training for one week. *Electromyography and clinical neurophysiology.* 29: 243-249.
- Häkkinen, K. 1994. Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Critical Reviews in Physical and rehabilitation Medicine.* 6(3): 161-198.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology.* 89: 42-52.
- Izquierdo M, Häkkinen K, Ibanez J, Kraemer W. J. & Gorostiaga E. M. 2005. Effects of Combined Resistance and Cardiovascular Training on Strength, Power, Muscle Cross-Sectional Area, and Endurance Markers in Middle Aged Med. *Eur J Appl Physiol.* 94: 70-75.
- Johnston, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R. & Vroman, N. B. 1997. Strength training in female distance runners: impact on running economy. *J Strength Cond Res.* 11(4): 224-229.
- Jones, D. A., and O. M. Rutherford. 1987. Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *J. Physiol. Lond.* 391: 1-11
- Jones, A. M. & Carter, H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.* 29: 373-386.

- Karavirta, L., Häkkinen, K., Kauhanen, A., Arijä-Blázquez, A., Sillanpää, E., Rinkinen, N. & Häkkinen, A. 2011. Cardiorespiratory, Neuromuscular and Cardiac Autonomic Adaptations to Combined Endurance and Strength Training in Aging Men and Women. *Medicine and science in sports and exercise*. 43(3): 484-490.
- Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen M. 2007. *Kuntotestauksen käsikirja*. Tammerprint Oy, Tampere.
- Krahenbuhl, G. S., Morgan, D. W. & Pangrazi, R. P. 1989. Longitudinal changes in distance-running performance of young males. *Int J Sports Med*. 10(2): 92-6.
- Kyröläinen, H., Belli, A. & Komi, P.V. 2001. Biomechanical factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc* 33(8): 1330-1337.
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K., & Logan, P. A. 1999. Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Medicine*. 28: 413–427.
- Leveritt, M. & Abernethy, P. J. 1999. Acute effects of high-intensity endurance exercise on subsequent resistance activity. *J Strength Cond Res* 13: 47–51.
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K., & Logan, P. A. 2003. Concurrent strength and endurance training: The Influence of Dependent Variable Selection. *J Strength Cond Res*. 17: 503-508.
- Lewis, S. F., Taylor, W. F., Graham, R. M., Pettinger, W. A., Schutte, J. E. Blomqvist, C. G. 1983. Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative work load. *J Appl Physiol*. 54(5):1314-1323.
- MacDougall, J.D., Reddan, W.G., Layton, C.R. & Dempsey, J.A. 1974. Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy exercise. *J Appl Physiol* 36(5): 538-544.
- MacDougall, J.D., Sale, D.G., Moroz, J.R., Elder, E.C.B., Sutton, J.R. & Howald, H. 1979. Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports* 11 (2), 164-166.
- Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson. P. & Hurley, B. F.1999. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 23(6): 739-743.
- Marks, R. 1996. Effects of strength training on the structural and functional properties of human muscle: a review. *Sports Medicine and Training Rehabilitation*. 7: 49-60.

- Mayhew, J. L. 1977. Oxygen cost and energy expenditure of running in trained runners. *Br J Sports Med.* 11: 116-121.
- McArdle, W. D., Margel, J. R., Delio, D. J., Toner, M. & Chase, J. M. 1978. Specificity of run training on VO₂ max and heart rate changes during running and swimming. *Medicine % Science in Sports.* 10(1):16-20.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 1996. *Exercise physiology (fourth edition).* Williams & Wilkins, USA.
- McCarthy, J., P., Agre, J., C., Graf. B., K., Pozniak, M., A. & Vailas, A., C. 1995. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 27 (3), 429-436.
- McCarthy, J. P., Pozniak, M. A. & Agre, J. C. 2002. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and exercise.* 34(3): 511-519.
- McMicken, D. F. & Daniels, J. T. 1976. Aerobic requirements and maximum aerobic power in treadmill and track running. *Med Sci Sports.* 8 (1): 14-17.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R. & Jones, A. M. 2007. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance. *Sports Med.* 37(10): 857-880.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K., Nummela, A. 2011. Effects of strength training regimens on performance in recreational endurance runners. *J Sports Sci.* 29(13): 1359–1371.
- Miles, D. S., Cox, M. H. & Bomze, J. P. 1989. Cardiovascular responses to upper body exercise in normals and cardiac patients. *Med Sci Sports Exerc.* 21(5): 126-131.
- Millet, G.P., Jaouen, B., Borrani, F. & Candau, R. 2002. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Med Sci Sports. Exerc.* 34(8): 1351-1359.
- Morgan, D.W., Martin, P.E. & Krahenbuhl, G.S. 1989. Factors affecting running economy. *Sports Med* 7: 310-330.
- Moritani, T. & DeVries, H. A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med.* 58: 115-130.
- Nelson, R. C. & Gregor, R. J. 1976. Biomechanics of distance running: a longitudinal study. *Res Q.* 47: 417-428.

- Nelson, A. G., Arnall, D. A., Loy, S. F., Silvester, L. J. & Conlee, R. K. 1990. Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Physical therapy*. 70(5): 287-294.
- Noakes, T., D. 1998. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints: a rebuttal. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30(9): 1381-1398.
- Nummela, A., Alberts, M., Rijntjes, R., Luhtanen, P. & Rusko, H. .2007. Reliability and validity of the maximal anaerobic running test. *International Journal of Sports Medicine* 17(2): 97-102.
- Paavolainen, L. M., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999a. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*. 86(5): 1527-1533.
- Paavolainen, L., Nummela, A. & Rusko, H. 1999b. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31(1): 124-130.
- Pate, R. R., Macera, C. A., Bailey, S. P., Bartoli, W. P. & Powell, K. E. 1992. Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Med Sci Sports Exerc* 24: 1128-33.
- Pollock, M. L. 1977. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: cardiorespiratory aspects. *Ann NY Acad Sci*. 301: 310-22.
- Rutherford, O. M. & Jones, D. A. 1986. The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol*. 55(1): 100-5.
- Sale, D. G. 1988. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*. 20(5): 135-145.
- Sale, D. G., Jacobs, I., MacDougall, J. D. & Garner, S. 1990a. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2(3): 348-356.
- Sale, D. G., Mac Dougall, J. D., Jacobs, I. & Gartner S. 1990b. Interaction between Concurrent Strength and Endurance Training. *J Appl Physiol* 68: 260-270.
- Saltin, B. 1964. Aerobic and anaerobic work capacity after dehydration. *J Appl Physiol* 19(6): 1114-1118.
- Saltin, B. 1969. Physiological effects of physiological conditioning. *Medicine and Sciencein Sports*. 1(1): 50-56.

- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D. & Hawley, J. A. 2004. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports med.* 34(7): 465-485.
- Schumann, M., Eklund, D., Taipale, R. S., Nyman, K., Kraemer, W. J., Häkkinen, A., Izquierdo, M., & Häkkinen, K. 2013. Acute neuromuscular and endocrine responses and recovery to single-session combined endurance and strength loadings: "Order effect" in untrained young men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27(2): 421-433.
- Semmler, J. G. & Nordstrom, M. A. 1988. Motor unit discharge and force tremor in skill- and strength-trained individuals. *Exp Brain Res.* 119: 27-38.
- Spurrs, R., W., Murphy, A., J. & Watsford, M., L. 2003. The effects of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology.* 89: 1-7.
- Staron, R. S., Malicky, E. S., Leonardi, M. J., Falkel, J. E., Hagerman, F. C. & Dudley G. A. 1989. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *European journal of applied physiology and occupational physiology.* 60(1): 71-79.
- Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M. & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 40: 1089-1094.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., Gitonga, D., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2010. Strength training in endurance runners. *Int J Sports Med.* 31(7): 468-476.
- Thomas, D. Q., Fernhall, B., Blanpied, P. & Stillwell, K. 1995. Changes in running economy and mechanics during a submaximal 5-km run. *J Str & Cond Res.* 9(3): 170-175.
- Thomas, D. Q., Fernhall, B. & Grant, H. 1999. Changes in running economy during a 5km run in trained men and women runners. *J Strength Cond Res.* 13(2): 162-7.
- Turner, A. M., Owings, M. & Schwane, J. A. 2003. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res.* 17(1): 60-67.
- Van Cutsem, M., Duchateau, J. & Hainaut, K. 1998. Changes in single motor unit behavior contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol.* 513: 295-305.

- Vokac, Z., Bell, H., Bautz-Holter, E & Rodahl, K. 1975. Oxygen uptake/heart rate relationship on leg and arm exercise, sitting and standing. *J Appl Physiol.* 39(1): 54-59.
- Williams, K. R. & Cavanagh, P. R. 1987. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *J Appl Physiol.* 63(3): 1236-45.
- Wilmore, J.H., Stanforth, P.H., Gagnon, J., Rice, T., Mandel, S., Leon, A.S., Rao, D.C., Skinner, J.S. & Bouchard, C. 2001. Cardiac output and stroke volume changes with endurance training: The HERITAGE Family Study. *Med Sci Sports Exerc* 33(1): 99-106.
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P. & Anderson, J. C. 2012. Concurrent Training: A Meta-Analysis Examining Interference of Aerobic and Resistance Exercises. *J Strength Cond Res.* 26(8): 2293-2307.
- Young, A., Stokes, M., Round, J. M. & Edwards, R. H. 1983. The effect of high resistance training on the strength and cross-sectional area of the human quadriceps. *Eur J Clin Invest.* 13(5): 411-417.
- Zhou, S. 2000. Chronic neural adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. *Exerc Sport Sci Rev.* 28: 177-184.
- Zijdewind, I., Toering, S. T., Bessem, B., Van Der Laan, O., Diercks, R. L. 2003. Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. *Muscle Nerve.* 28(2): 168-73.
- Åstrand, p. O. & Rodahl, K. 1986. Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise, 3rd ed. New York. McGraw-Hill Book Company.

LITTEET

Liite 1. Voimaharjoittelun viikko-ohjelmat.

Viikot 1–4. Ensimmäisellä neljällä viikolla kehitettiin kestovoimaa. Laitteissa tehtävissä liikkeissä käytettiin hyvin kevyitä lisäpainoja. Kaikissa harjoitteissa suoritustahti oli rauhallinen ja palautus oli sekä sarjojen että liikkeiden välissä 1-2 min. Voimaharjoitus sisälsi kymmenen liikettä, mutta vain kahdeksaa näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa.

- Jalkaprässi: 2–3 sarjaa x 20–25 toistoa x 40–50 % maksimista (%_{1RM}).
- Penkille nousu: 2–3 x 10–15 toistoa.
- Polven koukistus (koneessa): 2–3 x 20–25 x 40–50 %_{1RM}.
- Päkiöille nousut: 2 x 20–30 x 0–20 kg.
- Vatsarutistus (HUR-laitteessa): 2–3 x 15–25 toistoa.
- Selän ojennus: 2–3 x 15–25 toistoa.
- Jännehyppy (kahdessa harjoituksessa kahdeksasta, ²/₈): 2–3 x 10–15 toistoa.
- Kyykkyhyppy (⁶/₈ harjoituksesta): 2–3 x 10–15 toistoa.
- Hauiskäntö (⁴/₈ harjoituksesta): 2 x 20–25 x 40–50 %_{1RM}.
- Pystypunnerrus (⁴/₈ harjoituksesta): 2 x 20–25 x 40–50 %_{1RM}.

Viikot 5–8. Toisella jaksolla keskityttiin hypertrofiseen ja räjähtävään voimaan. Harjoitus sisälsi kymmenen liikettä, mutta vain seitsemää näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Räjähtävän voiman liikkeet tuli suorittaa mahdollisimman terävästi ja aina harjoituksen alkupuolella. Palautukset olivat 90–180 sekuntia.

- Jalkaprässi: 2–3 x 8–12 x 60–80 %_{1RM}.
- Penkille nousu räjähtävällä hypyllä (⁶/₈ harjoituksesta): 2–3 x 5–7 toistoa.
- Takareidet (koneessa): 2–3 x 8–12 x 60–80 %_{1RM}.
- Päkiöille nousut (²/₈ harjoituksesta): 2 x 5–6 x 20–30 %_{1RM}.
- Vatsarutistus (HUR-laitteessa): 2–3 x 10–12 x 1,25–5 kg.
- Selän ojennus: 2–3 x 10–12 x 2,5–7,5 kg.
- Pudotushyppy räjähtävästi (²/₈ harjoituksesta): 2 x 10–12 toistoa.
- Kyykkyhyppy räjähtävästi (⁶/₈ harjoituksesta): 2–3 x 8–12 x 20 kg.
- Hauiskäntö (⁴/₈ harjoituksesta): 2 x 8–12 x 60–80 %_{1RM}.
- Pystypunnerrus (⁴/₈ harjoituksesta): 2 x 8–12 x 60–80 %_{1RM}.

Viikot 9–12. Kolmannella jaksolla keskityttiin maksimivoimaan ja räjähtävään voimaan. Ennen maksimaalisia liikkeitä tuli aina suorittaa verryttelysarja (5–8 x 60–70 %_{IRM}). Räjähtävän voiman liikkeet tuli suorittaa mahdollisimman terävästi ja aina harjoituksen alkupuolella. Harjoitus sisälsi kymmenen liikettä, mutta vain seitsemää näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Palautukset olivat liikkeestä riippuen 90–180 sekuntia.

- Jalkaprässi maksimivoimana ($\frac{5}{8}$ harjoituksesta): 2–3 x 4–5 x 80–85 %_{IRM}.
- Jalkaprässi räjähtävänä ($\frac{3}{8}$ harjoituksesta): 3–4 x 8–10 x 40–50 %_{IRM}.
- Penkille nousu hypyllä räjähtävänä: 2–3 x 4–8 toistoa.
- Takareidet maksimivoimana (koneessa): 2–3 x 4–5 x 75–85 %_{IRM}.
- Vatsarutistus (maassa): 2–3 x 12–16 x 1,25–5 kg.
- Selän ojennus: 2–3 x 12–16 x 2,5–7,5 kg.
- Pudotushyppy räjähtävästi ($\frac{6}{8}$ harjoituksesta): 2–3 x 8–14 toistoa.
- Loikat räjähtävästi ($\frac{2}{8}$ harjoituksesta): 2–3 x 16–20 toistoa.
- Hauiskäntö ($\frac{4}{8}$ harjoituksesta): 2 x 12–14 x 60–75 %_{IRM}.
- Pystypunnerrus ($\frac{4}{8}$ harjoituksesta): 2 x 10–14 x 60–75 %_{IRM}.

Viikot 13–14. Neljännen jakson kaksi ensimmäistä viikkoa tehtiin ainoastaan kestovoimaa. Liikkeitä oli kahdeksan ja ne suoritettiin kaikissa harjoituksissa. Suoritustempo oli rauhallinen ja palautus liikkeiden välissä yksi minuutti.

- Jalkaprässi: 2–3 x 20–25 x 40–45 %_{IRM}.
- Askelkyykky: 2–3 x 10–15 x 0–12,5 kg.
- Takareidet (koneessa): 2–3 x 20–25 x 40–50 %_{IRM}.
- Vatsarutistus (HUR-laitteessa): 3 x 15–25 toistoa.
- Selän ojennus (HUR-laitteessa): 3 x 15–25 x 2,5–7,5 kg.
- Kyykkyhyppy: 2–3 x 10–15 x 0–12,5 kg.
- Hauiskäntö: 2 x 20–25 x 40–50 %_{IRM}.
- Päkiöille nousu: 2–3 x 15–25 x 0–12,5 kg.

Viikot 15–16. Neljännen jakson kaksi jälkimmäistä viikkoa keskityttiin maksimivoimaan. Harjoitus sisälsi yhdeksän liikettä, mutta vain kahdeksaa näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Suoritustempo oli rauhallinen ja palautus liikkeiden välissä 2-3 minuuttia. Ennen jalkaprässiä, takareisiä ja pystypunnerrusta suoritettiin verryttelysarjana 8 x 65 %_{1RM}.

- Jalkaprässi: 2–3 x 5–6 x 75–80 %_{1RM}.
- Penkille nousu: 2–3 x 7–10 x 0–12,5 kg.
- Takareidet (koneessa): 2–3 x 5–6 x 75–80 %_{1RM}.
- Vatsarutistus (HUR-laitteessa): 2–3 x 12–15 x 1,25–2,5 kg.
- Selän ojennus (HUR-laitteessa): 2–3 x 12–15 x 2,5–5 kg.
- Kyykkyhyppy: 2–3 x 8–10 x 12,5 kg.
- Pystypunnerrus (²/₄ harjoituksesta): 2–3 x 6 x 75 %_{1RM}.
- Hauiskääntö (²/₄ harjoituksesta): 2–3 x 25 x 40 %_{1RM}.
- Päkiöille nousu: 2–3 x 15–20 x 12,5–17,5 kg.

Viikot 17–20. Jaksolla keskityttiin maksimivoimaan ja räjähtävään voimaan. Ennen maksimaalisia liikkeitä tuli aina suorittaa verryttelysarja. Räjähtävän voiman liikkeet tuli suorittaa mahdollisimman terävästi ja aina harjoituksen alkupuolella. Harjoitus sisälsi 12 liikettä, mutta vain 7–8 näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Palautukset olivat 120–180 sekuntia.

- Jalkaprässi maksimivoimana (⁴/₈ harjoituksesta): 2–4 x 3–4 x 80–85 %_{1RM}.
- Jalkaprässi räjähtävänä (⁴/₈ harjoituksesta): 2–4 x 8–10 x 40–50 %_{1RM}.
- Penkille nousu hypyllä räjähtävänä (⁴/₈ harjoituksesta): 2–4 x 6–14 x 12,5 kg.
- Penkille nousu maksimaalisena (⁴/₈ harjoituksesta): 2–4 x 6–7 x 15–25 kg.
- Takareidet maksimivoimana (koneessa): 2–4 x 5–6 x 75–80 %_{1RM}.
- Vatsarutistus (HUR-laitteessa) (⁴/₈ harjoituksesta): 2–3 x 12–15 x 1,25–2,5 kg.
- Vatsarutistus (vartalon kierto laitteessa) (⁴/₈ harjoituksesta): 2–3 x 12–15 x 65–75 %_{1RM}.
- Selän ojennus (HUR-laitteessa): 2–4 x 12–15 x 2,5–5 kg.
- Pudotushyppy räjähtävästi: 2–3 x 10–14 toistoa.
- Yliveto (⁴/₈ harjoituksesta): 2–3 x 12–15 x 50–65 %_{1RM}.
- Hauiskääntö (⁴/₈ harjoituksesta): 2–3 x 25 x 40 %_{1RM}.
- Päkiöille nousu (⁴/₈ harjoituksesta): 2 x 10–14 x 60–75 %_{1RM}.

Viikot 21–24. Viimeisellä jaksolla keskityttiin maksimivoimaan ja räjähtävään voimaan. Jakso piti sisällään seitsemän harjoitusta. Ennen maksimaalisia liikkeitä tuli aina suorittaa verryttelysarja. Räjähtävän voiman liikkeet tuli suorittaa mahdollisimman terävästi ja aina harjoituksen alkupuolella. Harjoitus sisälsi 14 liikettä, mutta vain 6–8 näistä tehtiin yhdessä harjoituksessa. Palautukset olivat 120–180 sekuntia.

- Jalkaprässi maksimivoimana ($^2/7$ harjoituksesta): 3 x 3–4 x 75–80 %_{IRM}.
- Jalkaprässi räjähtävänä ($^5/7$ harjoituksesta): 2–3 x 5–8 x 40–50 %_{IRM}.
- Penkille nousu hypyllä räjähtävänä ($^2/7$ harjoituksesta): 3 x 12–14 x 15–25 kg.
- Takareidet maksimivoimana (koneessa) ($^2/7$ harjoituksesta): 3 x 3–4 x 75–80 %_{IRM}.
- Pystypunnerrus ($^2/7$ harjoituksesta): 3 x 10–12 x 70–75 %_{IRM}.
- Vatsarutistus (lattialla) ($^4/7$ harjoituksesta): 2–3 x 12–15 x 1,25–2,5 kg.
- Vatsarutistus (vartalon kierto laitteessa) ($^3/7$ harjoituksesta): 3 x 10–15 x 50–80 %_{IRM}.
- Selän ojennus (HUR-laitteessa) ($^4/7$ harjoituksesta): 2–3 x 10–12 x 2,5–5 kg.
- Aitahyppy räjähtävästi: 2–3 x 5 toistoa.
- Aitahyppy pudotushypyllä räjähtävästi: 2 x 5 toistoa.
- Aitadrillit räjähtävästi: 2–4 x 10 toistoa.
- Polvennostojuoksu kuminauhavastuksella: 1–3 x 10–20 toistoa.
- Rinnalta työntö kuntopallolla: 1–3 x 5–10 toistoa.
- Pään yli eteen kuntopallolla: 1–3 x 5–10 toistoa.