

YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA NOPEUSVOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET KESTÄVYSSUORITUSKYKYYN JA HERMO-LIHAS JÄRJESTELMÄN VOIMAOMINAISUUKSIIN NUORILLA KESTÄVYYSJUOKSIIJOILLA

Terhi Pollari

Valmennus- ja testausopin Pro Gradu -
tutkielma

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2005

Työn ohjaajat: Keijo Häkkinen, Jussi Mikkola

TIIVISTELMÄ

Terhi Pollari. Yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutukset kestävyys-suorituskykyyn ja hermo-lihasjärjestelmän voimaominaisuuksiin nuorilla kestävyysjuoksijoilla.

Kestävyys- ja voimaharjoittelun yhdistämistä on pidetty ongelmallisena johtuen harjoitusmenetelmien poikkeavista vaikutusmekanismeista. Kestävyysurheilijoilla nopeusvoimaharjoittelun on havaittu parantavan nopeusvoimaa kestävyysominaisuuksien pysyessä muuttumattomina tai hieman parantuessa. Kestävyysjuoksussa tarvitaan hyvän aerobisen kapasiteetin lisäksi hyvää hermo-lihasjärjestelmän toimintakykyisyyttä etenkin kilpailuvauhtien kasvaessa lyhyemmällä matkoilla ja loppusuoran kirtaisteluissa. Nopeusvoimaharjoittelu saattaa parantaa kestävyysuorituskykyä lihasten voimantuoton tehostumisen kautta esimerkiksi yksittäisen askelsyklin työntövaiheessa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksia nuorten kestävyysjuoksijoiden kestävyysuorituskykyyn ja hermo-lihasjärjestelmän voimaominaisuuksiin.

Kaksitoista lukioikäistä kilpaurheilua harrastavaa kestävyysjuoksijaa (4 tyttöä ja 8 poikaa) jaettiin suorituskyvyltään tasavertaiseen koeryhmään ($n = 7$, ikä 18 ± 1 v, pituus 174 ± 9 cm, paino 64.6 ± 7.4 kg) ja kontrolliryhmään ($n = 5$, ikä 17 ± 1 v, pituus 171 ± 5 cm, paino 60.4 ± 9.3 kg). Kontrolliryhmän harjoittelussa normaalisti kestävyyspainotteisesti ($n. 90\%$) koeryhmä teki kahdeksan viikkoa kestävyysharjoittelua (72.6 %) ja nopeus- ja nopeusvoimaharjoittelua (8.5 %) sekä muuta harjoittelua (koordinaatio, kestovoima ym.). Nopeusvoimaharjoitteet koostuivat pääasiassa erilaisista loikka- ja hypelyharjoitteista, nopeusvoimatyypisistä kuntosaliharjoitteista ja lyhyistä juoksuvedoista. Tutkimuksen koehenkilöt testattiin ennen kahdeksan viikon harjoittelujaksoa ja heti sen jälkeen. Heiltä mitattiin antropometriset muuttujat (pituus, paino, rasvaprosentti, lihaspaksuudet), maksimaalinen ja submaksimaalinen hapenottokyky juoksussa eri nopeustasoilla sekä maksimaalinen kestävyysuorituskyky (1 km:n juoksu). Lisäksi koehenkilöiltä mitattiin nopeus ja nopeusvoima (maksimaalinen 30 metrin juoksu alkukiihdytyksellä, kevennyshyppy, 5-loikka) sekä jalkojen ojentajien isometrinen maksimivoima ja lihasaktiivisuudet (EMG).

Yhdistetty kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelu johti tilastollisesti merkitsevään kasvuun lihaspaksuuksissa (3.6 %, $p < 0.05$) sekä heikkenemiseen juoksutaloudellisuudessa ($VO_{2submax}$ kasvu 6.0 %, $p < 0.05$). Nämä muutokset olivat kuitenkin havaittavissa samansuuntaisina myös kontrolliryhmässä kestävyyspainotteisen harjoittelun seurauksena. Maksimaalinen juoksunopeus mattotestissä heikkeni koeryhmällä (-4.79 %, $p < 0.05$). Tutkimuksen päätuloksena oli, että kyseinen nopeusvoimaharjoittelumäärä (8.5 %) ei riittänyt parantamaan nuorten kestävyysjuoksijoiden maksimaalista juoksunopeutta, nopeusvoimaa, maksimaalista isometristä voimantuottoa eikä kestävyysuorituskykyä. Valmennukselliselta kannalta tulokset ovat melko selkeitä. Kestävyysharjoitteluun yhdistetty vähäinen nopeusvoimaharjoittelu (alle 10 % kokonaisharjoittelusta) ei riitä aikaan saamaan parannuksia kestävyysuorituskyvyssä tai hermo-lihasjärjestelmän voimaominaisuuksissa nuorilla kestävyysjuoksijoilla.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 KESTÄVYYSOMINAISUUKSIEN FYSIOLOGISET PERUSTEKIJÄT	2
2.1 Energia-aineenvaihdunta	2
2.2 Maksimaalinen hapenottokyky	3
2.3 Kestävyys suorituskyky	4
2.4 Kestävyysominaisuudet nuorilla	5
2.4.1 Biologinen kehitys harjoittelemattomilla nuorilla	5
2.4.2 Kestävyys harjoittelun fysiologiset vaikutukset nuorilla	7
2.4.3 Suorituskyky nuorilla kestävyysjuoksussa	9
3 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA	11
3.1 Lihasten aktivointi ja voimantuotto	11
3.2 Hermo-lihasjärjestelmän ja voimaominaisuuksien kehittyminen nuorilla	13
3.3 Hermo-lihasjärjestelmän toiminta kestävyysjuoksussa	14
4 YHDISTETTY KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELU	16
4.1 Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutukset suorituskykyprofiiliin	17
4.1.1 Erilaisten kestävyys- ja voimaharjoittelujaksojen vaikutukset suorituskykyprofiiliin	17
4.2 Yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutukset suorituskykyprofiiliin	22
4.3 Yhteenveto yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tutkimuksista	24
5 HARJOITTELU NUORILLA KESTÄVYYSJUOKSIJOILLA	26
6 TUTKIMUSONGELMAT	27
7 TUTKIMUSMENETELMÄT	28
7.1 Koehenkilöt	28
7.2 Tutkimusasetelma	28
7.3 Mittausmenetelmät	30
7.3.1 Antropometriset muuttujat	31
7.3.2 Kestävyysominaisuuksien mittaaminen	31
7.3.3 Voima- ja nopeusominaisuuksien sekä EMG:n mittaaminen	32
7.4 Tilastollinen analyysi	33

8 TULOKSET	34
8.1 Harjoittelu	34
8.2 Antropometriset muutokset	34
8.3 Kestävyyssominaisuuksien muutokset	36
8.4 Voima- ja nopeusominaisuuksien sekä EMG:n muutokset	38
8.5 Muuttujien välisiä korrelaatioita	40
9 POHDINTA	42
LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Viimeisten vuosikymmenten aikana urheilijoiden kestävyysjuoksusuoritusta on pyritty määrittelemään erilaisin menetelmin useissa eri tutkimuksissa. Menestyksekkään kestävyysjuoksusuorituksen tiedetään riippuvan useista tekijöistä kuten maksimaalisesta hapenottokyvystä, laktaattikynnyksestä ja juoksun taloudellisuudesta. On myös osoitettu, että anaerobiset tekijät ja hermo-lihajärjestelmän ominaisuudet saattavat vaikuttaa merkittävästi kestävyysjuoksusuoritukseen. Täten aerobisen kestävyysharjoittelun lisäksi juoksijan tulisi tehdä nopeusvoimaharjoittelua tai perinteisempää voimaharjoittelua parantaakseen myös anaerobista kapasiteettia ja hermo-lihasjärjestelmän toimintaa. (Jung 2003)

Tutkimustulokset yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksista kestävyys- suorituskykyyn ja voimantuoton kehittymiseen ovat ristiriitaisia. Joidenkin tutkimustulosten mukaan lihasten metabolinen ja morfologinen adaptoituminen häiriintyy, kun voimaharjoitteluun yhdistetään saman aikaisesti kestävyysharjoittelua. Voimantuoton kehityksen estymisen lisäksi aerobisten kestävyysominaisuuksien on tällöin todettu pysyvän muuttumattomina. (Dudley & Djamil 1985; Hennessy & Watson 1994.) Toisaalta on myös tutkimustuloksia, joiden mukaan yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu ei estä kestävyys- tai voimaominaisuuksien kehittymistä (Bell ym. 1991; McCarthy ym. 1995). Voiman kehityksen kannalta on tärkeää, kuinka paljon harjoitellaan viikoittain ja kuinka pitkä on harjoitusjakso. Viikoittaisen määrän ollessa huomattavan suuri saattaa voiman kehitys tietyssä vaiheessa kääntyä laskuun (Hickson 1980). Haasteena onkin löytää voimaharjoittelumalli, joka yhdistettynä kestävyysharjoitteluun parantaisi sekä aerobista kestävyyttä että hermo-lihasjärjestelmän toimintaa mahdollisimman tehokkaasti. (Jung 2003.)

Nopeusvoimaharjoittelulla voidaan saada aikaan neutraalisia adaptaatioita, jotka tehostavat hermo-lihasjärjestelmän toimintaa, lihashypertrofian pysyessä huomattavasti vähäisempänä tyypilliseen voimaharjoitteluun verrattuna (Häkkinen ym. 1985; Sale 1991). Tutkimuksissa onkin todettu, että yhdistetyllä kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelulla voidaan saada aikaan kestävyys- ja voimaominaisuuksien paranemista kestävyysjuoksijoilla (Spurrs ym. 2003; Paavolainen ym. 1999c). Toisaalta on huomattu

kestävyyssurheilijoiden voimaominaisuuksien paranevan etenkin nopeaa voimantuottoa vaativissa suorituksissa yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun seurauksena maksimaalisen aerobisen kapasiteetin pysyessä muuttumattomana (Paavolainen ym. 1991; Mikkola ym. 2004) Yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksia suorituskykyyn ei kuitenkaan ole tutkittu nuorilla kestävyysjuoksijoilla. Täten tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn ja hermo-lihajärjestelmän voimantuottoominaisuuksiin nuorilla kestävyysjuoksijoilla.

2 KESTÄVYYSOMINAISUUKSIEN FYSIOLOGISET PERUSTEKIJÄT

Pitempikestoinen urheilusuoritus, jossa kestävyysominaisuudet ovat ratkaisevassa asemassa, riippuu pitkälti tehokkaasta, aerobisesta energiantuotosta ja lihasten aerobisesta kestävydestä. Aerobiseen kestävyteen vaikuttavat lihasten lisääntynyt aerobinen entsyymiaktiivisuus, mitokondriomäärä ja hiusverisuonten tiheys lihaksissa, joita kestävyysuorituksessa käytetään. (Klausen ym. 1981.)

2.1 Energia-aineenvaihdunta

Kestävyysurheilussa saatavilla olevan energian tehokas hyväksikäyttö mahdollistaa optimaalisen urheilusuorituksen. On erittäin tärkeää, että työskentelevillä lihaksilla on hyvä energian hyväksikäyttökapasiteetti ilman ylimääräistä energiantuhlausta. (Daniels 1985; Cantwell 1985.)

Työskentelevät lihakset tarvitsevat supistuakseen energiaa ja saavat sitä adenosiinifosfaattiin (ATP) sitoutuneen vapaan energian muodossa. Pitempikestoisessa urheilusuorituksessa lihasten energian tuotosta ja hyväksikäytöstä vastaa pääasiassa aerobiset prosessit (glykolyysi ja oksidaatio), jolloin energiaa tuotetaan hapen avulla pääasiassa glykogeeni ja rasvavarastoja käyttäen. Osaksi energiaa tuotetaan myös anaerobisesti glykolyysin ja maitohappometabolian avulla etenkin kestävyysuorituksen tehon kasvaessa ja keston lyhentyessä. (Green & Patla 1992, Hallen 1993.) Vaikkakin hiilihydraatit ovat tutkitusti pääasiallinen energianlähde kestävyysuorituksissa, korostetaan nykyään yhä enemmän myös rasvojen tärkeätä roolia energian lähteenä. Myös proteiinit saattavat muodostaa kokonaisenergiantuotosta jopa 5-10% pitkässä urheilusuorituksessa kuten maratonijuoksussa. (Hagerman 1992.)

Energiankulutus riippuu useista tekijöistä kuten harjoitusten tyypistä, tiheydestä, kestoista ja intensiteetistä (Hagerman 1992). Lisäksi energiankulutus riippuu urheilijan fysiologisista ominaisuuksista kuten esimerkiksi siitä, miten tehokkaasti kestävyysjuoksija

pystyy hyväksikäyttämään aerobista ja anaerobista energiantuottokapasiteettiaan (Brandon 1995).

2.2 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalinen hapenotto (VO_{2max}) on fysiologinen muuttuja, joka parhaiten kuvaa sydän- ja verenkierto- ja hengityselimistön maksimaalista toimintakapasiteettiä (Åstrand & Rodahl 1986, s. 299). Täten VO_{2max} on yksi tärkeimmistä indikaattoreista, joka kertoo henkilön kyvystä ylläpitää kovatehoista kestävyysuoritusta (McArdle ym. 1996, s. 126-127). Maksimaalinen hapenotto kuvaa elimistön maksimaalista kykyä kuljettaa happea työskenteleville lihaksille, joissa energiaa (ATP) tuotetaan supistuville lihaksille oksidatiivisten prosessien kautta (Åstrand & Rodahl 1986, s. 338-341).

Hillin ym. (1924) mukaan VO_{2max} määräytyy neljästä päätekijästä: valtimoiden happisaturaatiosta ($\%SaO_2$), yhdistetystä laskimoiden happisaturaatiosta ($\%Sv-O_2$), veren happikapasiteetistä ja verenkierron vilkkaudesta/nopeudesta. Bassett & Howley (1997) puolsivat Hillin ajatuksia siitä, että sydämen maksimaalinen iskutilavuus ja muut sydän- ja verenkiertoelimistön toiminnat ovat merkittävämmässä osassa VO_{2max} :n rajoittajana kuin keuhkojen toiminta. Kuitenkin VO_{2max} :iin vaikuttaa myös keuhkojen diffuusion rajallisuus eli se, miten tehokkaasti ja nopeasti hiilidioksidia ja etenkin happea pystytään siirtämään keuhkoista verenkiertoon ja päinvastoin.

Hapenoton saaminen huipputasolle riippuu isojen lihasryhmien hyväksikäytöstä dynaamisessa työssä, jossa yleensä kuormitus lisääntyy progressiivisesti väsymykseen asti tai lähelle uupumustilaa (Green & Patla 1992). Noakes (1998) on päätellyt, että VO_{2max} :iin vaikuttaa olennaisesti myös hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuudet ja kapasiteetti etenkin anaerobisella tasolla työskenneltäessä. Myös Green & Patla (1992) ovat todenneet, että VO_{2max} :a rajoittaa hermo-lihasjärjestelmän toimintakyky. Heidän mukaansa johtumis-supistumis (excitation-contraction) prosesseissa ilmenneet toimintaongelmat saattavat estää saatavilla olevan hapen tehokasta hyväksikäyttöä. Lisäksi hapen hyväksikäyttöä lihassolutasolla saattaa vaikeuttaa estynyt mitokondriaalinen hengi-

tys, johtuen saatavilla olevista mitokondriaalisista substraateista ja kofaktoreista (muut kuin happi).

2.3 Kestävyyssuorituskyky

Kestävyyssuorituskykyssä, jonka kesto on alle kahdeksan minuuttia, VO_{2max} on tärkein suoritukseen vaikuttava tekijä ja intensiteetin kasvaessa anaerobisen energia-aineenvaihdunnan merkitys kasvaa. Pidemmässä kestävyysuorituksessa (yli kahdeksan minuuttia) laktaatin tuoton estokyky on yhä tärkeämpi tekijä. Vaikkakin korkea VO_{2max} vähentää laktaatin muodostumista tietyllä intensiteetillä liikuttaessa, vaikuttaa suoritukseen myös useat muut tekijät liittyen esimerkiksi hermo-lihasjärjestelmän toimintaan. (Hallen 1993; Jung 2003.) Urheilijoiden, joilla VO_{2max} on samalla tasolla, kestävyysuorituskykyä voidaan ennustaa liikkumisen taloudellisuuden avulla. Esimerkiksi juoksussa menestyksekkäs urheilija kuluttaa happea tietyllä juoksunopeudella vähemmän kuin huonommin menestyvä juoksija. (Palmer & Sleivert 2001.)

Menestyksekkäs kestävyysjuoksusuoritus riippuu useista fysiologisista tekijöistä. Aerobisesta tehosta kertovaa VO_{2max} :a pidetään avaintekijänä myös kestävyysjuoksusuorituksessa. Vaikka korkeimman VO_{2max} :n omaava urheilija ei välttämättä suoriudu parhaiten juoksutapahtumassa, pystyy hyvä urheilija pitämään hapenottonsa korkealla tasolla, lähellä VO_{2max} :a koko urheilusuorituksen ajan. Monen kestävyysjuoksijan tavoitteena onkin parantaa VO_{2max} :a. (Jung 2003; Coyle ym. 1988.) VO_{2max} :n lisäksi veren laktaattipitoisuus, anaerobinen kynnyks ja taloudellisuus ovat erittäin ratkaisevassa asemassa muuttujia pitkäaikaisessa juoksusuorituksessa. Pitkäaikaisessa juoksusuorituksessa urheilija pyrkii optimaaliseen suoritukseen pitämällä hapenkulutuksensa mahdollisimman lähellä VO_{2max} :a. (Brandon 1995, Berg 2003.)

Kestävyysjuoksusuorituksen kannalta tärkeä muuttuja on nopeus (vVO_{2max}), jolla VO_{2max} :a pidetään yllä (Berg 2003). Scottin ja Houmardin (1994) mukaan huippukestävyysjuoksijoiden suorituskykyä voidaan ennustaa selvittämällä juoksijoiden maksimaalinen juoksunopeus testissä, jossa nopeus lisääntyy progressiivisesti väsymykseen asti.

Useiden tutkimustulosten valossa Noakes (1998) on tullut siihen tulokseen, että kestävyysuoritus rajoittavat sekä fysiologiset hapen kuljetukseen ja käyttöön liittyvät tekijät että hermolihasjärjestelmän voimantuottoon ja anaerobiseen tehoon ja kapasiteettiin liittyvät tekijät. Noakes puhuu lihastehokkuudesta (muscle power), joka osaltaan vaikuttaa juoksuuorituskykyyn (Noakes 1991, s. 99). Keskushermoston toiminta on yhteydessä väsymiseen ja täten myös juoksuuoritukseen. Aivojen ja selkärangan alueen käskytykset lihaksille heikkenee kovatehoisessa kestävyysjuoksuuorituksessa lihasten väsymisen myötä. Myös ruumiinrakenteen ja somatotyyppin on todettu vaikuttavan suorituskykyyn kestävyysjuoksussa. Kestävyysjuoksijat ovat keskimäärin hoikempia ja kevyempiä kuin muut urheilijat ja somatotyyppiltään he ovat enemmän ektomorffisia. (Berg 2003.)

2.4 Kestävyysominaisuudet nuorilla

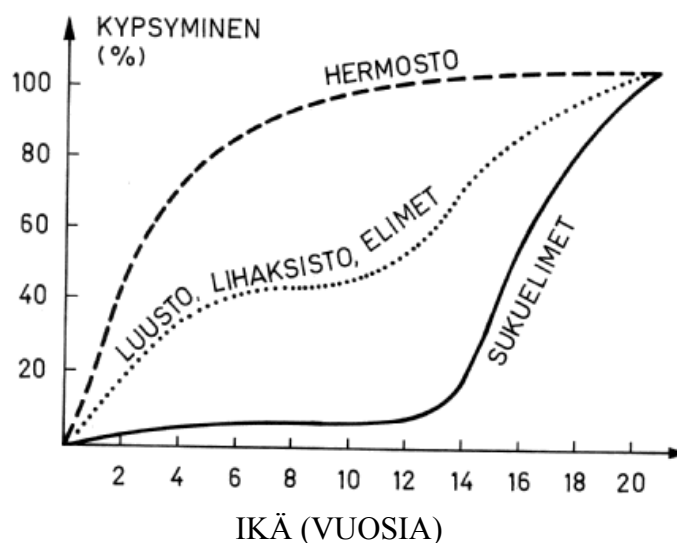
Kestävyysuoritus parantaa fyysisen rasituksen sietokykyä ja kehittää nuoren urheilijan suorituskykyä. Vaikka tutkimustulokset uoritusuorituksen vaikutuksista ennen puberteettikästä ovat jokseenkin ristiriitaisia, voidaan todeta, että säännöllinen kestävyysuoritus parantaa huippuhapenottoa (peak VO₂) ja laktaattikynnystä lapsilla ja nuorilla. Nämä muutokset ovat kuitenkin yleensä pienempiä lapsilla ja nuorilla kuin aikuisilla. (Baxter-Jones & Maffulli 2003.)

2.4.1 Biologinen kehitys harjoittelemattomilla nuorilla

Lasten ja nuorten biologisia ominaisuuksia tarkasteltaessa kronologisen iän mukaan määriteltä luokittelu ei anna tieteellisesti vertailukelpoista tietoa. Tällöin on parempi käyttää luokittelun perusteena biologista ikää, joka määräytyy pituuden ja painon sekä sukupuolisen kypsyksen perusteella. Lisäksi nuoren biologista kehitystä voi seurata tutkimalla käden ja ranneluiden kypsyysastetta röntgenologisella menetelmällä. (Tanner 1980, s. 309; Åstrand & Rodahl 1986, s. 330.)

Nuorten kehitys on hyvin yksilöllistä, jolloin muutosten ajankohdat ja kehitysnopeus vaihtelevat suuresti. Nuorilla tytöillä pituuskasvu on nopeinta (n. 7 cm/vuosi) suunnilleen 12-vuoden iässä, jonka jälkeen tytöillä yleensä alkavat kuukautiset keskimäärin yhden vuoden viiveellä. Nuorilla pojilla nopein pituuskasvu (n. 10 cm/vuosi) tapahtuu noin 13-15-vuoden iässä, jolloin myös sukupuolinen kehitys alkaa. Täten tyttöjen sukupuolikehitys alkaa noin kaksi vuotta enemmän kuin pojilla johtuen hormonaalisten aktiivisuusmallien erilaisuudesta. (Åstrand & Rodahl 1986, s. 330-348; Faigenbaum 2000; Tanner 1981, s. 286-298.)

Hermoston kehitys tapahtuu lapsilla varhaisessa vaiheessa (kuva 1). Jo 6-5-vuoden iässä hermoston kehitysaste on lapsilla noin 80-90 % ja 12-vuoden ikään mennessä hermosto on kehittynyt miltei kokonaan. Tämän ikävuoden jälkeen hermoston kehitys on todella pientä muun elimistön kehitykseen verrattuna. Lihaksiston, jänteiden, nivelsiteiden ja hengitys- ja verenkiertoelimistön nopein kehitysvaihe varhaisten lapsuusvuosien jälkeen sijoittuu puberteetti-ikään. Tämä kehitys hidastuu huomattavasti 18-20-vuoden jälkeen. Puberteetti-iässä lihaksiston suhteellinen osuus koko kehon massasta kasvaa huomattavasti etenkin pojilla, joilla aikuisikään tullessa lihaksiston osuus painosta on noin 43 %. (Tanner 1962)



Kuva 1. Ihmisen elimistön eri osien kypsyminen iän lisääntyessä (Mero ym. 1990).

2.4.2 Kestävyysharjoittelun fysiologiset vaikutukset nuorilla

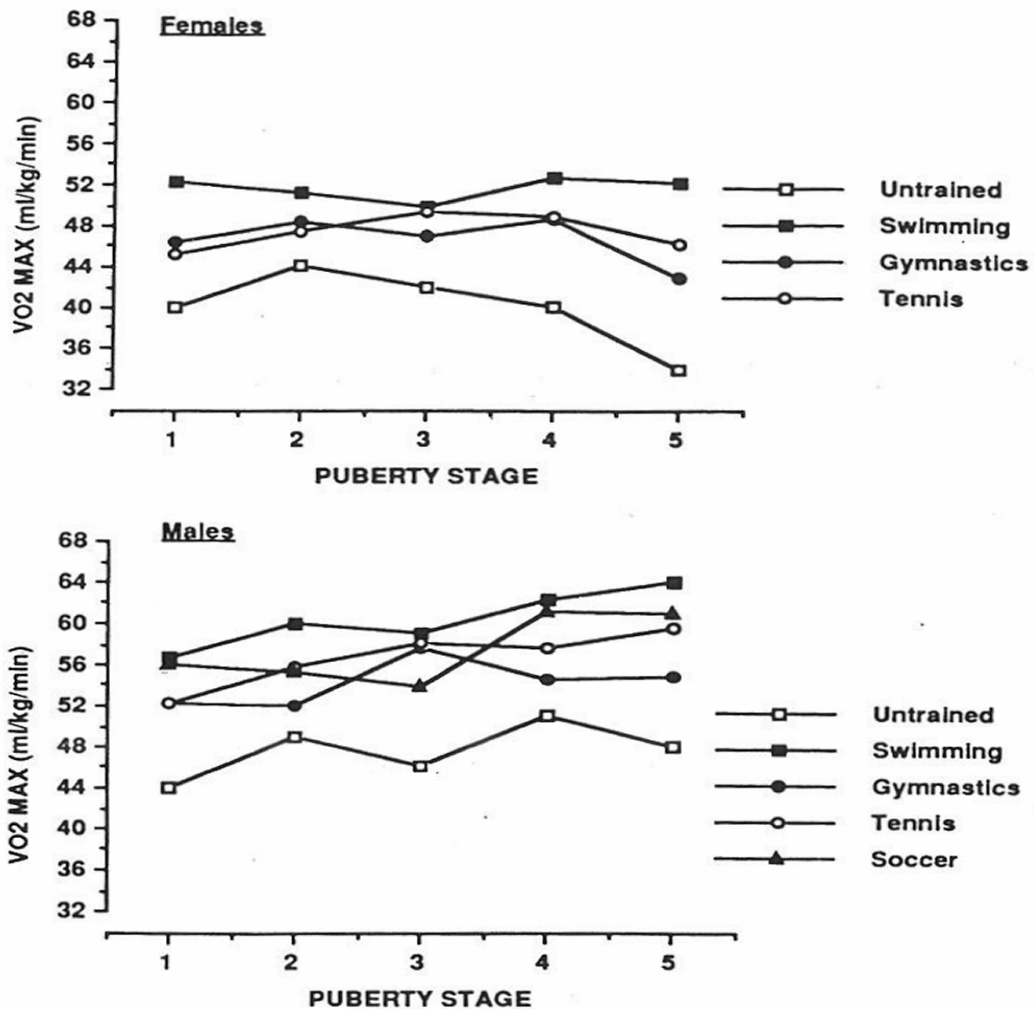
Tutkimusten mukaan nuorilla, 10-18 -vuotiailla, miespuolisilla kestävyysjuoksijoilla keskimääräinen pituus ei eroa juurikaan tavallisten nuorten keskimääräisestä pituudesta. Kehon paino puolestaan on kestävyysjuoksijoilla hieman alempi normaaleihin nuoriin poikiin verrattuna. Vaikka osa nuorista kestävyysjuoksijoista saavuttaa kasvullisen kypsyyden myöhemmin, ei sillä ole huomattavaa merkitystä suorituskyvyn kannalta. Keskimääräisen pituuden ja kehonpainon kohdalla sama suuntaus on huomattavissa myös samanikäisillä, naispuolisilla kestävyysjuoksijoilla. Heillä kuitenkin keskimääräinen kehonpaino on johdonmukaisemmin alempi kuin tavallisilla nuorilla tytöillä. (Malina 1994.)

Applen (1985) mukaan ei ole selviä todisteita siitä, että jo lapsuudessa aloitetulla kestävyysjuoksuharjoittelulla olisi mitään erityisiä pitkäaikaisia vaikutuksia joitain poikkeuksia lukuun ottamatta. Ennen puberteettia epäkypsä keho reagoi fyysiseen harjoitteluun pulssivasteella ja VO_{2max} :n paranemisella säännöllisen juoksuharjoittelun seurauksena. Täten Apple onkin päätellyt, että tutkiessa nuoria juoksijoita ongelmanasettelu tulisi suorittaa samalla tavalla kuin aikuisia juoksijoita tutkittaessa.

Huippuhapenottoarvojen lisääntyminen lapsilla ja nuorilla on tutkitusti pääasiassa riippuvainen kehon rasvattomasta massasta (fat free mass). Kuitenkin huippuhapenottoarvoja selittää myös kronologinen ikä ja kypsyystaso riippumatta kehon koosta ja rasvapitoisuudesta. Huippuhapenottoarvojen on todettu kasvavan iän myötä (11→17-v.) sekä tytöillä että pojilla. Pojilla huippuhapenottoarvot ovat kuitenkin suuremmat kuin tytöillä ja ne lisääntyivät pojilla suhteessa enemmän kuin tytöillä. (Armstrong & Welsman 2001.)

Tutkittaessa harjoitusvasteita lapsilla ja nuorilla on ongelmana usein ollut tulosten tulkinnan vaikeus johtuen kontrolloimattomista kasvun ja kehityksen vaikutuksista. Baxter-Jones ym. (1993) tutki 8-, 10-, 12-, 14-, ja 16-vuotiaiden, eri lajeissa urheilevien lasten ja nuorten maksimaalisen aerobisen tehokkuuden (VO_{2max}) kehittymistä kolmen peräkkäisen vuoden aikana, jolloin ikä, pituus ja paino pystyttiin kontrolloimaan. Tulokset osoittivat VO_{2max} :n paranevan huomattavasti iän lisääntyessä ja puberteettivaiheiden edetessä sekä pojilla että tytöillä. Myöhäisimmässä puberteettivaiheessa VO_{2max} paranee

huomattavasti ainoastaan pojilla. Lisäksi selvisi, että eri lajien urheilijoilla VO_{2max} -arvot ovat eri tasoilla ja että suurimmat VO_{2max} -arvot ovat kestävyyslajeja harrastavilla lapsilla ja nuorilla (Kuva 2).



Kuva 2. Maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) 8-16 -vuotiailla harjoittelemattomilla nuorilla ja nuorilla uimareilla, voimistelijoilla, tenniksen pelaajilla ja jalkapallon pelaajilla sukupuolen ja viiden sukupuolisen kehitysvaiheen (Tanner 1962) mukaan.

Myös Häkkisen ym. (1989) mukaan urheilvilla, alle puberteetti-ikäisillä nuorilla on selvästi huomattavissa erityisiä harjoitusvasteita kestävyysuorituskyvyssä kestävyysharjoittelun seurauksena ja voimantuotto-ominaisuuksissa voimaharjoittelun seurauksena. Alle puberteetti-ikäisillä lapsilla, joilla on kestävyysharjoitusta, on selvästi korkeammat VO_{2max} -arvot ja pienemmät kehon rasvaprosentit kuin samanikäisillä lapsilla, jotka harrastavat voima- ja nopeuslajeja.

Leposyke- ja verenpainearvojen muutokset ovat osoittautuneet melko pieniksi kestävyysharjoittelun seurauksesta terveillä, urheilua harrastamattomilla nuorilla. Kyseisten muuttujien kohdalla on ollut huomattavissa ainoastaan vähäistä laskua, joka kuitenkin on hieman huomattavampaa naisilla kuin miehillä. (Wilmore ym. 2001.) Fergusonin ym. (2001) mukaan kestävyysharjoittelu saattaa lisätä sydämen iskutilavuutta nuorilla naisilla johtuen sydämen kammioiden täyttymisen ja tyhjenemisen tehostumisesta.

2.4.3 Suorituskyky nuorilla kestävyysjuoksussa

Suorituskyky nuorilla kestävyysjuoksijoilla riippuu monista samoista tekijöistä kuin aikuisilla kestävyysjuoksijoilla. Tutkimusten mukaan suorituskykyyn nuorilla kestävyysjuoksijoilla vaikuttavat huippu VO_2 , hapenkulutus submaksimaalisella juoksunopeudella (juoksutaloudellisuus) ja hapenkulutuksen osuus huippu VO_2 :sta. Lisäksi suorituskykyyn vaikuttavat anaerobinen teho ja kapasiteetti, juoksunopeus huippu VO_2 :n tasolla ($v\text{VO}_{2\text{peak}}$), antropometriset mitat, ventilatorinen kynnys ja laktaattikynnys. (Almarwaey ym. 2003.) Almarwaeyn ym. (2003) tutkimuksen mukaan vahvimmin kestävyysjuoksu-suorituskykyyn yhteydessä ovat juoksunopeus, jolloin veren laktaattipitoisuus on $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ja $v\text{VO}_{2\text{peak}}$ nuorilla keskimatkojen kestävyysjuoksijoilla.

Juoksun taloudellisuus on usein hieman heikompi lapsilla, mikä kuitenkin paranee kasvun ja kypsymisen myötä. Heikompi taloudellisuus nuorella iällä saattaa johtua lyhyemmästä alaraaja- ja askelpituudesta, pienemmästä kehonpainosta sekä vähemmistä elastisen energian varastoista lihaksissa. Iän myötä jänteet tulevat vahvemmiksi, jäykkemmiksi ja joustavammiksi, jolloin myös juoksutaloudellisuus paranee tehokkaamman lihastyön ansiosta. (Anderson 1996.)

Nuoret 15-18 -vuotiaat kestävyysjuoksijat ovat fyysisiltä ominaisuuksiltaan valmiita melko suureen harjoituskuormitukseen, joka on määrältään suunnilleen puolet tai kaksi kolmasosaa aikuisurheilijoiden kuormituksesta. Lisäksi tämän ikäiset kestävyysjuoksanuoret ovat valmiita lajin erikoisharjoitteluun ja painojen käyttöön harjoittelun tehostamiseksi. (Noakes 1991, s. 639.) Brownin mukaan nuorilla urheilijoilla kovatehoinen harjoittelujakso ei saisi kestää kerrallaan kauempaa kuin 6-7 viikkoa. Lisäksi nuorilla

urheilijoilla fyysisen kunnon huippujaksoja voi olla enintään kolme vuodessa ja huip-
pukuntojakso voi kestää kerrallaan korkeintaan kuukauden. (Brown 1964, s. 65.)

3 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA

Aerobisen ja anaerobisen suorituskyvyn lisäksi kestävyys suorituskykyyn vaikuttaa myös hermolihaskäytännön, joka kontrolloi myofibrillien poikittaissilytysten aktivoitumista ja motorististen yksiköiden syttymistiheyttä sekä voimantuottoa (Green & Patla 1992; Paavolainen ym. 1999b). Lihassupistukseen ja siitä aiheutuvaan voimantuottoon vaikuttavat lihasten, hermoston ja mekaanisten tekijöiden väliset yhteydet (Komi 1986; Enoka 1988).

3.1 Lihasten aktivointi ja voimantuotto

Luurankolihasta ympäröivät erilaiset sidekudoskerrokset, jotka liittyvät yhdessä jänteen kanssa luuhun. Tämä rakennelma mahdollistaa kemiallisen energian siirtymisen liikeenergiaksi vipusysteemissä. Sarkomeeri on lihassolun toiminnallinen yksikkö, joka sisältää supistuvia proteiinifilamentteja aktiinia ja myosiinia. Nämä filamentit liukuvat toistensa lomiin lihassupistuksessa. (McArdle ym. 1996, s. 315-335; Åstrand & Rodahl 1986, s. 19-33)

Lihasten toimintaan liikkeiden aikaansaamiseksi tarvitaan neuraalista ohjausta ja säätelyä. Tällä säätelyllä tarkoitetaan sekä keskushermoston aikaansaamia, tahdonalaisia toimintoja että refleksitoimintoja. Keskushermostosta lähtevät efferentit impulssit välittyvät pyramidiratoja pitkin tietyille alfa motoneuronille, joka käskyyttää tiettyjä lihassoluja saaden aikaan tahdonalaisen liikkeen. Tällöin refleksitoiminnassa impulssi välittyy afferentteja hermosoluja pitkin aistivilta reseptoreilta (proprioseptive receptors) keskushermostoon ja edelleen motoneuroneille. Esimerkiksi lihaksen nopeassa venytyksessä venytysrefleksi aiheuttaa aktivaation leviämisen hermo-lihaskäytännön keskus- ja ääreisosiin. (Gollhofer ym. 1987.)

Hermostossa tiedon kulku eri elinten välillä tapahtuu sähköisesti, jolloin tiedon siirron toiminnallisena yksikkönä on hermosolu. Hermosolu voi ottaa vastaan joko fasilitoivaa (aktivoivaa) tai inhiboivaa (estävää) tietoa. Toimintakäskyt kulkevat lihaksille pääasiassa motorista liikehermoa, alfa motoneuronia pitkin. (Guyton 1996, s. 512-538.) Aktiopo-

tentiaalin kulkunopeus riippuu hermosolun paksuudesta ja myeliinitupestu siten, että myeliinitupelliset ja paksut hermosolut johtaa impulsseja nopeiten. Hermoimpulssin johtumisnopeus saattaa vaihdella muutamasta metrissä sekunnissa jopa yli 100 metriin sekunnissa. Lihassolukalvolla aktiopotentiaalin johtumisnopeus on noin 2-5 metriä sekunnissa. (McArdle ym. 1996, s. 339-355.)

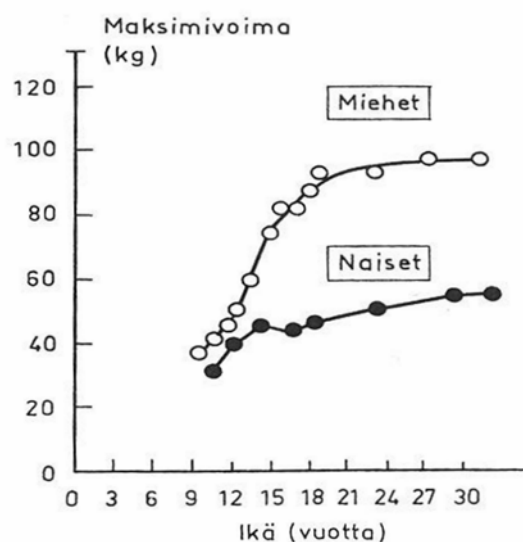
Liikkeiden aikaansaamiseksi tarvitaan motorisen järjestelmän aktivointia, mikä edellyttää motoristen yksiköiden, johtavien kalvorakenteiden, eksitaatio-supistus parin ja sensoristen reseptorien yhteistoimintaa. Ihmisen liikkumisessa ominaista on lihasvoimien huolellinen ja tarkka säätely siten, että erilaisten liikkeiden suorittaminen mahdollistuu. (Enoka 1994, s. 195.)

Motorinen yksikkö sisältää motoneuronin, sen aksonin päätehaaroineen ja niiden herrottamat lihassolut. Motoriset yksiköt voidaan jakaa nopeisiin (IIa ja IIb) ja hitaisiin (I), joista kestävyysuorituksessa käytössä on pääasiassa hitaat johtuen niiden matalasta voimantuotosta, hitaasta supistumisnopeudesta sekä hyvästä väsymyksen sietokyvystä ja oksidatiivisesta kapasiteetista. Motoristen yksiköiden käyttöönotto eli rekrytointi noudattaa kokoperiaatetta eli pienet hermosolut (hitaat motoriset yksiköt otetaan ensin käyttöön ja sen jälkeen suuret hermosolut (nopeat motoriset yksiköt). Kevyemmässä urheilusuorituksessa kuten rauhallisessa juoksussa rekrytoidaan valikoivasti hitaita motorisia yksiköitä, joilla on matalampi aktivointi kynnyks. Suurempia voimatasoja vaativissa suorituksissa aktivoidaan progressiivisesti nopeita motorisia yksiköitä (IIa, IIb) jolloin maksimivoimantuottotaso voidaan saavuttaa. (Freund 1983.) Kestävyysuorituksessa motoristen yksiköiden syttymismalli on vähemmän synkronoitu, jolloin motoriset yksiköt eivät rekrytoidu samanaikaisesti. Tällöin toiset motoriset yksiköt työskentelevät toisien palautellessa lepotilassa, mikä mahdollistaa suorituksen jatkamisen minimaalisella väsymyksellä. Voiman lisääminen tapahtuu ottamalla käyttöön uusia motorisia yksiköitä ja lisäämällä käytössä olevien yksiköiden käskytystiheyttä. (McArdle ym. 1996, s. 344-351.)

3.2 Hermo-lihasjärjestelmän ja voimaominaisuuksien kehittyminen nuorilla

Hermoston nopein kehittyminen tapahtuu lapsilla ensimmäisistä vuosista lähtien noin 12 ikävuoteen asti. Lihaksiston ja lihasvoiman kehittyminen puolestaan on yhteydessä puberteetti-ikään. (Tanner 1981, s. 330-333.) Puberteetin aikana ja sen jälkeen lihasvoiman kasvu on yhteydessä lihasmassan kasvuun hormonaalisista muutoksista (testosteroni, kasvuhormoni ym.) johtuen. Nuorilla naisilla lihasten kehitystä rajoittaa miespuolisten sukupuolihormonien alhainen taso. (Faigenbaum 2000; Brook 1981.)

Tarkasteltaessa maksimaalisen isometrisen voiman kehityskäyrää poikien voidaan todeta saavuttavan huippuarvot keskimäärin 20-vuoden iässä. Naiset saavuttavat huippuarvot maksimaalisessa isometrisessä voimantuotossa keskimäärin muutaman vuoden miehiä aiemmin. (Asmussen 1973, s.60.) Absoluuttisen maksimivoiman osalta tyttöjen ja poikien tulokset eroavat hyvin vähän 12-13 ikävuoteen asti, minkä jälkeen poikien absoluuttinen maksimivoima kehittyy hyvin nopeasti 20 ikävuoteen asti. Sen sijaan tytöillä absoluuttinen voimankasvu jää vastaavassa ikävaiheessa melko pieneksi (Kuva 3). (Montoye & Lamphier 1977.)



Kuva 3. Käsivarsilihasten absoluuttinen maksimivoima iän suhteen miehillä ja naisilla (Montoye & Lamphier 1977, teoksessa Häkkinen 1990)

Lihaksiston nopeusvoimaominaisuudet kehittyvät tytöillä ja pojilla melko samalla tavalla kuin lihasten maksimivoima. Suunnilleen kahdentoista ikävuoden jälkeen poikien nopeusvoimaominaisuudet kehittyvät hyvin nopeasti 17-18 ikävuoteen asti, kun taas tytöillä nopeusvoimaominaisuuksien kehittyminen hidastuu selvästi 12 ikävuoden jälkeen. (Espenschade & Eckert 1974, s. 322-333.) Myös konsentrisen lihasvoiman kehittyminen tytöillä ja pojilla noudattelee suurin piirtein samoja päälinjoja kuin maksimivoiman kehitys. Kahdentoista ikävuoden jälkeen konsentrisen maksimivoima kehittyi pojilla huomattavasti nopeammin kuin tytöillä. (Bäckman & Öberg 1989.)

Lihassoiman paranemista on huomattu lapsilla ja nuorilla jo varhaisella iällä oikeanlaisen, riittävän tehokkaan voimaharjoittelun seurauksena. Ennen puberteetti-ikää tapahtuva lihasvoiman paraneminen ei niinkään johdu harjoittelusta aiheutuvasta lihasten hypertrofiasta, vaan muutoksista hermo-lihasjärjestelmän toiminnassa ja lihasten sisäisistä adaptioista sekä motoristen taitojen ja lihaskoordinaation paranemisesta. Lihassoiman kasvuun saattaa vaikuttaa muutokset motoristen yksiköiden aktivoimissa ja koordinoimissa, käyttönotossa ja syttymistiheydessä. (Faigenbaum 2000; Faigenbaum ym. 1996.)

3.3 Hermo-lihasjärjestelmän toiminta kestävyysjuoksussa

Aerobisten ja anaerobisten tekijöiden lisäksi kestävyysjuoksusuoritukseen vaikuttaa neuromuskulaariset tekijät, jotka säätelevät myofilamenttien poikkisiltakierron (cross-bridge cycle) toiminnan nopeutta ja voimaa (Green & Patla 1992). Vaikka kestävyysurheilusuoritus vaatii suurta aerobista tehoa, urheilijan on pystyttävä myös ylläpitämään suhteellisen suuri nopeus suorituksen ajan. Tällöin korostuu hermo-lihasjärjestelmän ominaisuudet, jotka ovat yhteydessä neuraaliseen aktivointiin tahdonalaisesti tai refleksinomaisesti, lihasvoimaan, elastisuuteen ja juoksumekanismeihin sekä anaerobisiin ominaisuuksiin, kuten ATP:n uudelleen muodostamistehoon ja -kapasiteettiin. (Häkkinen 1994; Green 1994.) Lihassolujen sisällä olevat rakenteet kuten säätelevät ja supistuvat proteiinit saattavat rajoittaa kestävyysjuoksusuoritusta. Mikäli kalsiumin vapautumista sarkoplasmisesta reticulumista ei pystytä ylläpitämään, voi aiheutua aktivaatioiden vähenemistä ja edelleen voimatuoton heikkenemistä. Toisaalta pitkittynyt aika, joka

tarvitaan kalsiumin siirtämiseen sytosolista, aiheuttaa viiveitä myofilamenttien irrotusvaiheessa, jolloin viivästyy lihasten rentoutus palautumisvaiheessa. (Green 1987; Green & Patla 1992.)

Lihaksen motoristen yksiköiden rekrytointiin vaikuttaa toiminnan nopeus ja tyyppi sekä liikemalli. Tämän seurauksena neuraalinen adaptoituminen voidaan yhdistää liikkeen kannalta tärkeimpien motoneuronien aktivaation lisääntymiseen ja synergistien yhteistoiminnan paranemiseen ja antagonistilihaksien yhtäaikaisen toiminnan vähenemiseen. (Sale 1991; Häkkinen 1994.) Voidaankin olettaa, että neuraalinen toiminta vaikuttaa oleellisesti maksimaaliseen hapenkulutukseen ja kestävyysjuoksusuoritukseen (Green & Patla 1992).

Juoksussa lihasten työskentely perustuu venymis-lyhenemissykliin, jossa lihakset ennen konsentrista supistusvaihetta venyvät tehden eksentristä työtä. Tässä tapahtumassa tärkeitä tekijöitä ovat esiaktiivisuus ja lihasaktiivisuuksien vaihtelu askelsyklin vaiheen mukaan. (Komi 2000.) Hermojärjestelmällä on tärkeä merkitys lihasjäykkyyden säätelyssä ja lihasten elastisten ominaisuuksien hyväksikäytössä vauhdikkaassa juoksussa, jossa suhteellisen nopeita supistumisnopeuksia käytetään (Paavolainen 1999a). Venymis-lyhenemissyklissä olennaisia ovat lihaksen pituuden vaihtelut suhteessa jänteeseen kontaktivaiheessa ja venymisrefleksin merkitys. Lihasten toiminnan venymis-lyhenemissyklimalli on saanut alkunsa havainnoista, joiden mukaan kehon segmentit ovat jaksoittain erilaisten isku- ja venytysvoimien vaikutusten kohteena. Juoksu on tyyppillinen esimerkki ihmisen liikkumisesta, jossa ulkoinen voima, painovoima aiheuttaa lihaksen pitenemisen ennen konsentrista työntövaihetta. (Komi 2000.)

4 YHDISTETTY KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELU

Kestävyysharjoittelu edistää sydän- ja verenkierto- sekä hengityselimistön toimintaa, oksidatiivista kapasiteettia ja lihasten glykogeenivarastoja. Kestävyysharjoittelu lisää selvästi lihaksien kapillaari- ja mitokondriotiheyttä, lihasten sisäisiä substraattivarastoja ja oksidatiivisten entsyymien aktiivisuutta. Samalla kestävyysharjoittelu vähentää glykolyttisten entsyymien aktiivisuutta. (Tanaka & Swensen 1998.)

Voimaharjoittelu puolestaan aiheuttaa hermosto- ja lihashypertrofia-adaptaatioita, riippuen voimaharjoittelun tyypistä (Häkkinen 1989). Voimaharjoittelulla voidaan edistää lihasten hypertrofiaa kasvattamalla lihassolujen poikkipinta-alaa ja mahdollisesti lisäämällä lihassolujen määrää. Tämä on seurausta lisääntyneestä lihasproteiinipitoisuudesta. Voimaharjoittelulla saattaa olla vähäisiä vaikutuksia tai ei ollenkaan vaikutusta glykolyttisten ja oksidatiivisten entsyymien ja fosfageenin aktiivisuuksiin. (Tanaka & Swensen 1998.)

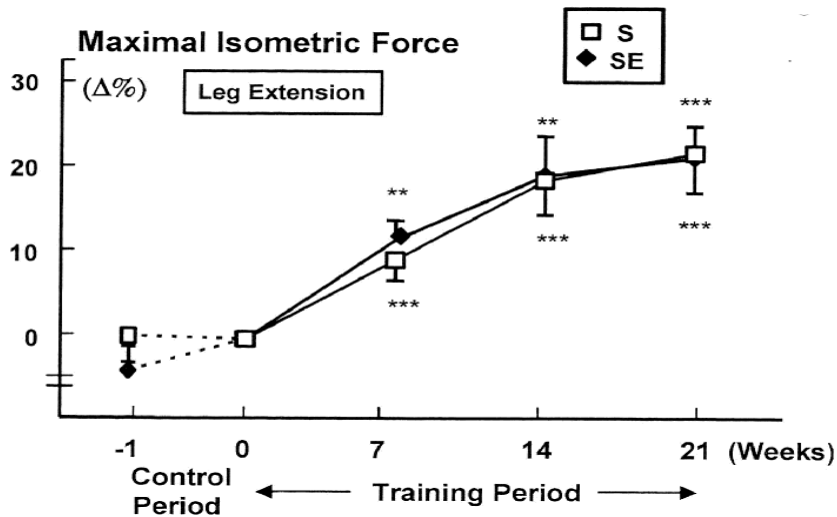
Niin kestävyys- kuin voimaharjoittelulla voidaan saada aikaan joitakin samansuuntaisia muutoksia lihassolutasolla. Kumpikin harjoitustapa muuttaa tyyppin IIB-lihassoluja tyyppin IIA-lihassoluiksi. Kuitenkin tämä muutos on yhteydessä vastakkaisiin vaikutuksiin lihassolukoon ja yleensäkin lihasten supistusominaisuuksien muutoksissa. Tästä johtuen ainoastaan voimaharjoittelulla on mahdollista parantaa anaerobista tehoa ja lihasvoimaa. (Tanaka & Swensen 1998.) Tutkitusti kovalla voimaharjoittelulla saatetaan kehittää myös kestävyysuorituskykyä taloudellisuuden sekä maksimikestävyuden, -voiman ja tehon lisääntymisen ansiosta. (Østerås ym. 2002; Millet ym. 2002; Johnston ym. 1997; Hickson ym 1980; Hoff & Helgerud 2004). Myös kevyemmällä voimaharjoittelulla saatetaan kehittää maksimaalista ja submaksimaalista kestävyyttä esimerkiksi siirtämällä laktaattikynnystä (Izquierdo ym. 2003; Marcinik ym. 1991).

4.1 Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutukset suorituskykyprofiiliin

Suorituskykyprofiililla kuvataan tässä työssä kokonaisvaltaisesti ihmisen suorituskykyisyyttä eri ominaisuuksia vaativissa fyysisissä toiminnoissa. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun on oletettu rajoittavan voimantuoton kehitystä, kun taas vaikutus maksimaaliseen hapenottokykyyn on ollut vähäinen (Dudley & Djamilj 1985; Hickson 1980; Hickson ym. 1988; Hickson ym. 1980; Hunter ym. 1987). Tällöin voimaharjoittelu on ollut kovatehoista ja koehenkilöt aiemmin harjoittelemattomia. On oletettu, ettei luurankolihakset pysty adaptoitumaan metabolisesti tai morfologisesti samanaikaiseen voima- ja kestävyysharjoitteluun. Lisäksi on päätelty, että kestävyysharjoittelun jälkeinen väsyminen haittaa kykyä kehittää lihasjännitystä. Perifeeriset väsymistekijät kuten lihasten vauriot ja glykogeenin vajuus saattavat toistuvina ilmiöinä vaikeuttaa voiman kehitystä. (Leveritt ym. 1999.) Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu saattaa estää adaptaatioita, jotka aiheutuvat pelkästä voima- tai kestävyysharjoittelusta (Bell ym. 2000; McCarthy ym. 2002)

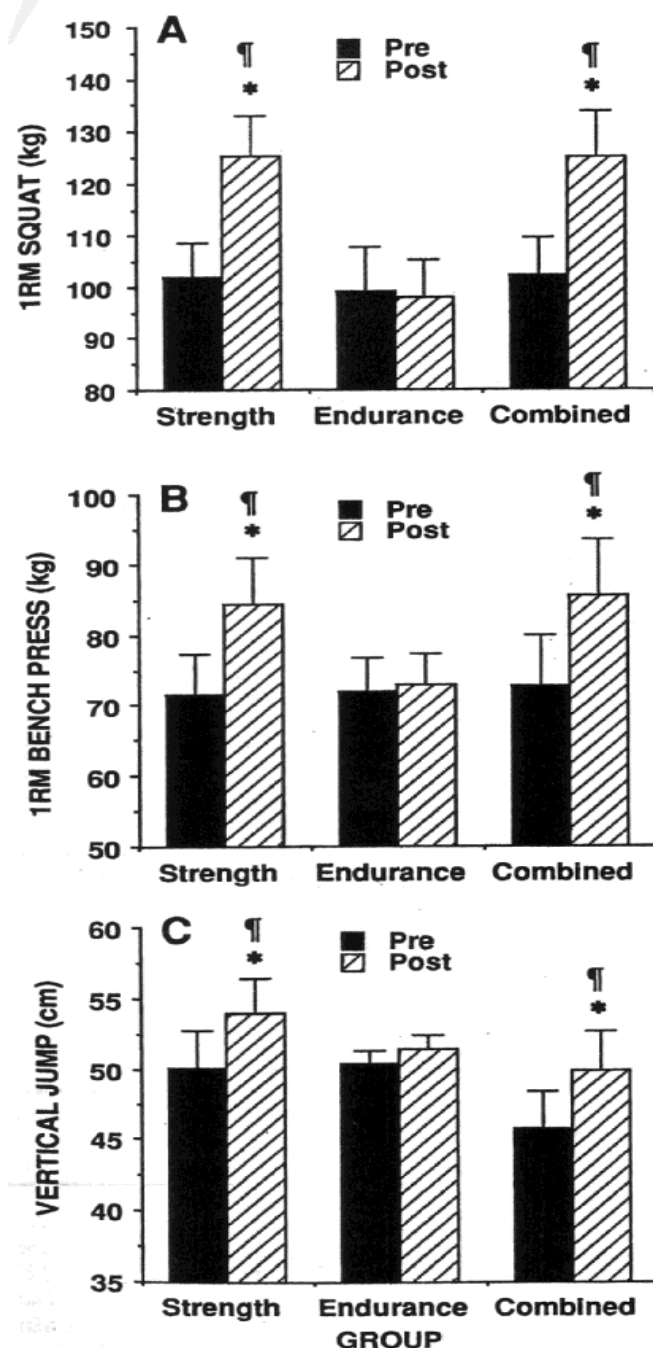
4.1.1 Erilaisten kestävyys- ja voimaharjoittelujaksojen vaikutukset suorituskykyprofiiliin

Häkkisen ym. (2003) tutkimus ei tue väitettä, jonka mukaan voimaharjoitteluun yhdistetty kestävyysharjoittelu estää lihasvoiman kehittymistä ja lihashypertrofiaa (Kuva 4). Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu lisää voimatuottokykyä ja maksimaalista hapenottoa, kun harjoittelu ulottuu pitemmälle aikavälille (21 viikkoa) ja harjoittelutiheys on melko pieni (2 tai 4 kertaa/viikko). Sen sijaan räjähtävän voimantuoton kehittyminen saattaa estyä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena johtuen harjoitettujen lihasten nopean neuraalisen aktivoinnin rajallisista muutoksista.



Kuva 4. Maksimaalinen isometrinen jalkojen ojennusvoima voimaharjoitteluryhmällä (S) ja yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoitteluryhmällä (SE) (Häkkinen ym 2003).

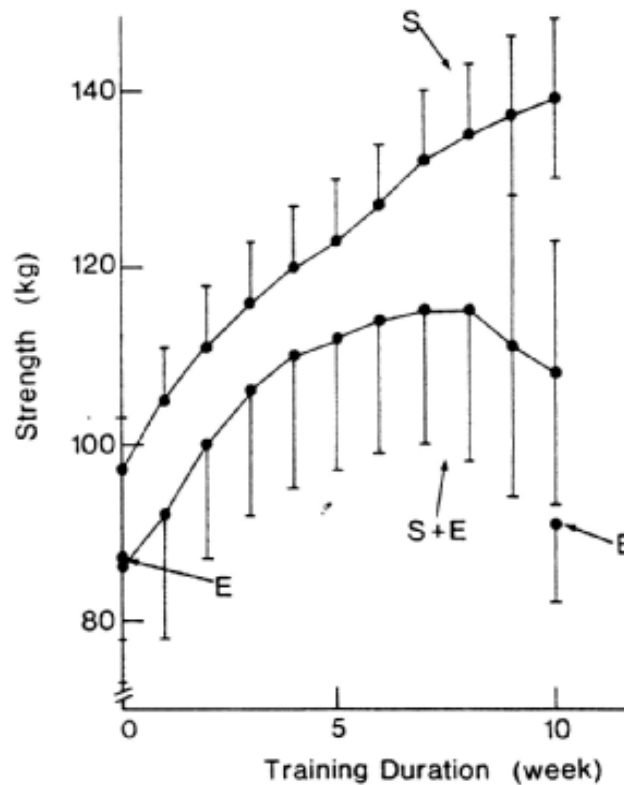
Sekä kestävyysharjoituksen yhteydessä että erillisenä päivänä tehty voimaharjoitus saattaa pidemmällä aikavälillä parantaa maksimaalista aerobista tehoa ja suorituskykyä (Sale ym. 1990). McCarthy ym. (1995) osoittivat tutkimuksellaan, että 10 viikon mittainen kestävyysharjoitteluun yhdistetty voimaharjoittelu lisää lihasvoimaa ja parantaa aerobista huipputehoa (VO_{2max}) harjoittelemattomilla henkilöillä samassa määrin kuin pelkkä voima- tai kestävyysharjoittelu. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun ansiosta maksimaalinen voimantuotto kyky parani jalkakyykyssä, penkkipunnerruksessa ja vertikaalisessa hypyssä sekä yhdistetyn harjoittelun että pelkän voiman harjoittelun seurauksena (Kuva 5)



Kuva 5. Voimasuoritusten muutokset maksimaalisessa jalkakyykyssä (1RM squat), penkkipunnerruksessa (1RM bench press) ja vertikaalisessa hyppässä (vertical jump) pelkän voima- (strength) ja kestävyysharjoittelun (endurance) sekä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun (combined) seurauksena (McCarthy ym. 1995).

Hicksonin (1980) mukaan kestävyysharjoitteluun yhdistetty kova voimaharjoittelu tulisi kestää korkeintaan 6-7 viikon ajan, mikäli harjoitellaan määrällisesti huomattavan paljon (5*voimaa/vko + 6*kestävyyttä/vko). Tällöin kestävyys harjoitteluun yhdistetty ko-

va voimaharjoittelu aiheuttaa huomattavaa voiman kasvua 6-7 viikon ajan, minkä jälkeen voiman lisääntyminen taantuu ja kääntyy laskuun 10 viikkoon mennessä (Kuva 6). Pelkän kovan voimaharjoittelun seurauksena voiman lisääntyminen jatkuu 10 viikon ajan harjoitusmäärän ollessa huomattavasti pienempi (5*voimaa/vko). Maksimaalinen hapenkulutus puolestaan lisääntyy sekä pelkän kestävyysharjoittelun että yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksesta 10 viikon harjoitusjakson aikana.



Kuva 6. Voiman muutokset kolmen erilaisen harjoittelujakson seurauksesta. Voima mitattiin viikoittain voimaharjoitteluryhmältä (S) ja yhdistetyltä voima- ja kestävyysharjoitteluryhmältä. Kestävyysharjoitteluryhmältä voima mitattiin 10 viikon harjoitusjakson alussa ja lopussa (Hickson 1980)

Dudleyn ja Djamilin (1985) mukaan 7 viikon mittainen yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu saattaa haitata maksimaalisen vääntövoiman kehittymistä ainoastaan suurilla nopeuksilla. Tällöin yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu parantaa aerobista tehoa (VO_{2max}) samassa määrin kuin pelkkä kestävyysharjoittelu.

On myös todettu, että kestävyysharjoitteluun yhdistetyllä tehokkaalla voimaharjoittelulla voidaan saada aikaan voima- ja tehosuorituksen paranemista kestävyysurheilijalla VO_{2max} :n pysyessä muuttumattomana. Selityksenä tälle saattaa olla kestävyysurheilijoi-

den tehokas palautumiskyky sarjojen välillä voimaharjoituksessa, jolloin riittävä teho pystytään ylläpitämään voimaan kehittymiseksi. (Hunter ym. 1987; Paavolainen 1991). Gravelen ja Blessingin (2000) mukaan fyysisesti aktiivisten naisten maksimivoima lisääntyy sekä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun että pelkän voimaharjoittelun seurauksena harjoittelujakson ollessa 12 viikon mittainen. Aerobisten adaptaatioiden kannalta on kuitenkin merkitystä sillä, tehdäänkö yhdistetyssä harjoituksessa voimaharjoitus kestävyysosiota ennen vai sen jälkeen. VO_{2max} :n on huomattu paranevan, kun voimaharjoittelua seuraa välittömästi kestävyysharjoitus.

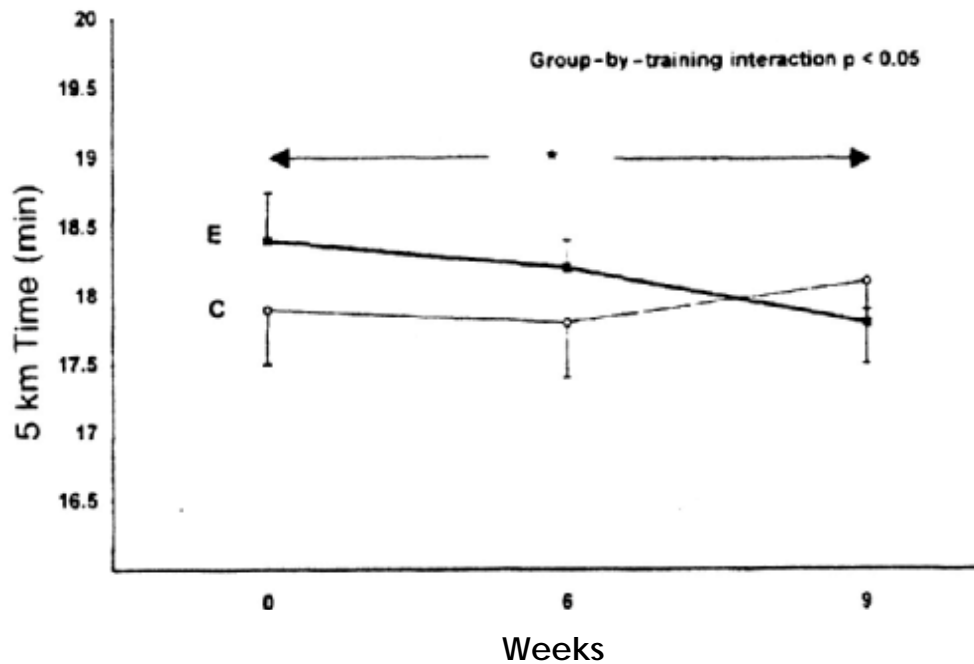
Bell ym. (1997) mukaan soutua harrastavien miesten ja naisten voima lisääntyy yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksesta, jolloin voimaharjoittelu suoritetaan progressiivisesti kasvavalla kuormituksella (65-85 % maksimikuormasta) kolme kertaa viikossa 16 viikon ajan. Tällöin myös VO_{2max} ja ventilaatiokynnys paranevat sekä naisilla että miehillä. Aiemmin Bell ym. (1991) on osoittanut voimaharjoittelun, joka suoritetaan hitailla nopeuksilla, lisäävän harjoitelleiden miesten voimantuottoa ja lihasten poikkipinta-alaa sekä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun että pelkän voimaharjoittelun seurauksesta. Kahdentoista viikon mittaisen yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun seurauksesta parani myös maksimaalinen hapenotto harjoittelun alkupuoliskolla (6 ensimmäisen viikon aikana). Vaikka muutokset olivat samansuuntaisia yhdistetyn ja pelkän voimaharjoittelun seurauksesta, oli adaptaatioiden ajoituksissa ja nopeuksissa eroja.

Yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoittelulla ei ole välttämättä ole negatiivisia vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn. Kestävyysharjoitteluun yhdistetyllä voimaharjoittelulla saattaa olla kestävyysuoritusta parantavia vaikutuksia etenkin lajeissa, joissa vaaditaan tehokasta nopeiden lihassolujen käyttöönottoa. (Hickson ym. 1980; Hickson ym. 1988.)

4.2 Yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutukset suorituskykyprofiiliin

Tietyn tyyppinen voimaharjoittelu, jossa korostuu nopeusvoiman kehittäminen, johtaa tiettyihin neuraalisiin adaptaatioihin. Nopeusvoimaharjoittelu saattaa aiheuttaa motoristen yksiköiden aktivoitumistiheyden kasvua, jolloin kuitenkin lihasten hypertrofia on vähäisempää kuin tyypillisen kovan voimaharjoittelun seurauksesta (Sale 1988; Häkkinen ym. 1985.) Nopeusvoimaharjoittelu saattaa aiheuttaa tiettyjä muutoksia isometrisessä voima-aika-käyrässä parantaen enemmän voimantuottoa kuin maksimivoimantuottoa. Lisäksi nopeusvoimaharjoittelu lisää lihasten keskimääräistä EMG-aktiivisuutta sekä nopeiden ja hitaiden lihassolujen suhdetta (FT:ST). Täten nopeusvoimaharjoittelulla saatetaan kehittää suorituksia, jotka vaativat nopeaa voimantuottoa. (Häkkinen ym. 1985.)

Paavolainen ym. (1999c; 1991) ovat tutkineet kestävyys- ja nopeusvoimaharjoitteluun yhdistetyn nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksia kestävyys- ja nopeusvoimaksiin 9 viikon mittaisen harjoittelujakson aikana kestävyysjuoksijoilla ja 6 viikon harjoittelujakson aikana maastohiihtäjillä. Kummassakaan tapauksessa maksimaalinen hapenotto- ja muut aerobista tehoa kuvaavat muuttujat eivät parantuneet (Kuva 7). Hiihtäjien nopeusvoimaominaisuudet paranivat, mikä ilmeni hyppykorkeuden kasvuna. Hyvin harjoitelleiden miesjuoksijoiden ajat paranivat viidellä kilometrillä nopeusvoimaharjoittelun seurauksesta. Tutkijat päättelivät, että juoksu- ja nopeusvoimaksiin paranemiseen saattaa vaikuttaa hermolihaskäytön ominaisuuksien kehittyminen ja siitä aiheutuva juoksu- ja nopeusvoimaksiin ja lihastyön tehokkuuden paraneminen.



Kuva 7. 5 kilometrin juoksuaika kestävyysharjoitteluryhmässä (E) ja yhdistetyssä nopeusvoima- ja kestävyysharjoitteluryhmässä 9 viikon harjoittelun aikana (Paavolainen 1999c)

Paavolaisen ym. (1999c) kanssa saman suuntaisia tuloksia on saanut Spurrs ym. (2003), jotka tutkivat tavalliseen kestävyysharjoitteluun yhdistetyn plyometrisen (nopeusvoimatyypin) harjoittelun vaikutuksia kestävyysjuoksusuoritukseen. He osoittivat kuuden viikon plyometrisen harjoittelun parantaneen kolmen kilometrin juoksusuoritusta ja juoksun taloudellisuutta harjoitelleilla miesjuoksijoilla ilman muutoksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä. Tuloksista pääteltiin, että parantunut juoksusuorituskyky saattaa johtua alaraajojen lihas- ja jännerakenteiden jäykkyyden ja vahvuuden lisääntymisestä ja siitä aiheutuvasta reaktiivisen tehokkuuden kasvusta ja energiankulutuksen vähentymisestä.

Kilpapyöräilijöillä tehdyn tutkimuksen mukaan kestävyysharjoitteluun yhdistetty nopeusvoimaharjoittelu estää lyhytkestoisen suorituskyvyn heikkenemistä ilman, että kestävyysominaisuuksien paraneminen heikentyy. Yhdeksän viikon mittaisen yhdistetyn nopeusvoima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksesta lyhytkestoinen suorituskyky pysyi samalla tasolla, kun taas pelkän kestävyysharjoittelun seurauksena lyhytkestoinen suorituskyky heikkeni. Maksimaalinen työkuorma ja aerobinen suorituskyky sekä taloudellisuus paranivat kummallakin ryhmällä. (Bastiaans ym. 2001.)

Yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksia kestävyys- ja nopeusvoimajärjestelmän toimintaan on tutkittu myös ampumahiihtäjillä ja maastohiihtäjillä. Kahdeksan viikon yhdistetyn harjoittelun tuloksena submaksimaalisen tason hapenotto, laktaatti ja syke aleni, mikä kertoo parantuneesta taloudellisuudesta. Lisäksi käsilihas- ja jalkalihasten nopeusvoima parani, mikä kertoo hermo-lihasjärjestelmän toiminnan kehittymisestä. Täten voidaan päätellä, että yhdistetyllä kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelulla voidaan parantaa kestävyys- ja nopeusvoimajärjestelmän toimintaa ilman kestävyysominaisuuksien heikkenemistä. (Mikkola ym. 2004.)

4.3 Yhteenveto yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tutkimuksista

Seuraavassa yhteenvedossa esitetään eri tutkijoiden tutkimusmenetelmiä ja tuloksia yhdistetyn voima- ja kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun tutkimuksista. Yhteenvedosta selviää, millaisia menetelmiä käytettiin, oliko koehenkilöt harjoitelleita vai harjoittelemattomia sekä millaisia tuloksia saatiin.

Tutkijat	Menetelmät	Tulokset
Hunter ym 1987	12 vko, 3 ryhmää harjoittelemattomia 1 ryhmä kestävyys taustalla (yhdistetty) 4 *vko voima+kestävyys	Yhd. ryhmä voima _{max} ↑ Kehitys laskuun 10 viikon jälkeen VO _{2max} →
Hickson 1980	10 vko, harjoittelemattomat. Harjoitukset samana päivänä 3*kest.+3*voima	VO _{2max} ↑, voima _{max} ↑ 6 vko:n ajan, voima ↓ 2 viimeisen vko:n ajan
Hickson 1988	10 vko, juoksijat 3*vko	1 RM ↑, VO _{2max} → Lyhyt ja pitkä suoritus ↑
Häkkinen ym. 2003	21 vko, harjoittelemattomat 2*voima, 2*kest.	voima _{max} ↑, VO _{2max} ↑, nopeusvoima ↑ ensimmäisen 7vko ja loppuajan ↓
Dudley & Djamil 1985	7 vko, harjoittelemattomat 3*voima, 3*kestäv.	Hitailta nopeuksilla voima ↑, VO _{2max} ↑
Bell ym 1991	12 vko, soutajat, 3*voima, 3*kest.	Voima _{max} ↑, VO _{2max} ↑
Bell ym. 1997	16 vko, soutajat, 3*voima, 3*kest.	1 RM ↑, VO _{2max} ↑

Bell ym. 2000	12 vko, harjoittelemattomat 6*vko	Voima _{max} ↑, VO _{2max} ↑
McCarthy ym. 1995	10 vko, harjoittelemattomat 3*kest.+voima	1 RM ↑, hyppykorkeus ↑ VO _{2max} ↑
McCarthy ym. 2002	10 vko, harjoittelemattomat 3*vko voima+kest.	Voima _{max} →, hypertrofia →
Johnston ym. 1997	10 vko, juoksijat 4*kest.+ 3*voima	Taloudellisuus ↑, VO _{2max} →, 1 RM ↑
Gravelle & Blessing 2000	11 vko, harjoittelemattomat 3*voima+kest.	Voima _{max} ↑, VO _{2max} ↑
Østerås ym. 2002	9 vko, hiihtäjät 45 min/vko maksimivoima, 15 h/vko harj. kok.määrä	Taloudellisuus ↑, 1 RM ↑
Millet ym. 2002	14 vko, triathlonistit, kest. normaalisti + 2*maksimivoima/vko	Voima _{max} ↑, taloudell. ↑, VO _{2max} →
Sale ym. 1990	20 vko, harjoittelemattomat, 1. ryhmä 2*voima+kest. 2. ryhmä 2*voima+2*kest.	2. ryhmän 1 RM ↑ enemmän kuin 1. ryhmän. VO _{2max} ↑ molemmilla
Paavolainen ym. 1999c	9 vko, juoksijat, 32% nopeusvoima, 68% kest.	VO _{2max} →, taloudellisuus ↑, 5 km juoksu ↑
Paavolainen ym. 1991	6 vko, hiihtäjät, 32% nopeusvoima, 68% kest.	VO _{2max} →, hyppykorkeus ↑
Spurrs ym. 2002	6 vko, juoksijat, 2-3*nopeusvoima normaali kest.harj.	3 km juoksu ↑, VO _{2max} →, lihasjäykkyys ↑, taloudell. ↑
Mikkola ym. 2004	8 vko, hiihtäjät 27% nopeusvoima lopun kest. ym. harj.	Voima _{max} ↑, VO _{2max} →, nopeusvoima ↑
Bastiaans ym. 2001	9 vko, pyöräilijät, 37% nopeusvoima, lopun kest.	Lyhytkest. suoritus →, maksimityö ↑, kest.suor. ↑

5 HARJOITTELU NUORILLA KESTÄVYYSJUOKSIJOILLA

Pitkäaikaisten tutkimusten puutteen vuoksi tieto riittävästä harjoitusmäärästä, joilla optimoidaan biologinen kehitys ja suorituskyky, on rajallinen. Costillin (1986, s. 178) mukaan maksimaalisen hapenkulutuksen paraneminen mahdollistuu, kun juoksijan harjoittelumäärä ylittää 80-97 km/viikko. Juoksuharjoittelumäärän lisääminen yli 350 km/viikko ei kuitenkaan enää tuo lisäparannusta maksimaaliseen hapenkulutukseen. Huippukestävyysjuoksijat harjoittelevat nykyään suunnilleen 110-200 km/viikko (Berg 2003). Nuorilla maastohiihtäjillä on todettu maksimaalisen hapenoton paranevan iän lisääntyessä 15 vuodesta 25 vuoteen ja harjoitusmäärien kasvaessa 50 kilometristä 140-150 kilometriin viikossa. Energiankulutuksen osalta ihanteellinen harjoituksissa kulutettu energiamäärä useimmille kestävyysjuoksijoilla on 5000-6000 kcal/viikko (Wilmore & Costill 1994, s. 194).

Kestävyysjuoksijoille suositellaan myös intervalliharjoittelua, jossa juostaan eri mittaisia jaksoja vauhtia ja tehoa muutellen. Juoksujaksojen väleissä palautellaan kevyellä juoksulla. Intervalliharjoittelulla voidaan harjoittaa juoksunopeutta, jota kilpailussa keskimäärin ylläpidetään tai niitä nopeuksia, jotka vaihtelevat laktaatin muodostuksen suhteen. Lisäksi intervalliharjoittelussa voidaan liikkua maksiminopeuksissa. Intervalliharjoittelulla pyritään edistämään metabolisia harjoitusvasteita ja tehostamaan hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa urheilusuorituksissa. (Billat 2001.)

Voimaharjoittelun vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn nuorilla juoksijoilla on tutkittu melko vähän. Aikuisilla kestävyysjuoksijoilla on todettu kestävyysuorituskyvyn paranemista perinteisen kovan voimaharjoittelun ja räjähtävän nopeusvoimaharjoittelun seurauksena. Tällöin voimaharjoittelun tulee olla säännöllistä (vähintään 3 kertaa/viikko) ja voimaharjoittelujakson tulee kestää 6-10 viikkoa. (Hickson 1980; Hickson ym. 1988; Paavolainen ym. 1999c.)

6 TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksia kestävyys- ja nopeusvoimajärjestelmän voimantuotto- ja nopeusominaisuuksiin nuorilla kestävyysjuoksijoilla.

1. Voidaanko yhdistetyllä kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelulla parantaa aerobista maksimitehoa (VO_{2max}), juoksun taloudellisuutta ja juoksusuorituskykyä?
2. Johtaako yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu voimantuoton paranemiseen ja nopeuden kasvuun ilman, että kestävyysominaisuuksien kehitys estyy?
3. Tapahtuuko kestävyys- ja/tai nopeusvoimajärjestelmän voimantuottoominaisuuksien kohdalla yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun seurauksena sellaisia muutoksia, joita ei ole havaittavissa normaalin kestävyyspainotteisen harjoittelun yhteydessä?

Hypoteesina oli, että yhdistetyllä kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelulla voidaan parantaa nuorten juoksijoiden kestävyys- ja voima- ja nopeusominaisuuksia ilman kestävyysominaisuuksien heikkenemistä.

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä tutkimuksessa oli 12 lukioikäistä juniorikestävyysjuoksijaa, jotka kilpailivat monipuolisesti eri mittaisilla kestävyysjuoksumatkoilla radalla (400m, 800m, 1500m, 3000m ja 10000m), maastossa ja maantiellä. Koehenkilöistä tyttöjä oli 4 ja poikia 8. Koehenkilöille kerrottiin suullisesti ja kirjallisesti tutkimuksen tarkoitus ja toteutus. Lisäksi heiltä pyydettiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumiseen jokaisen mittauskerran yhteydessä. Koehenkilöt jaettiin koe- ja kontrolliryhmään esimittaus-ten perusteella siten, että ryhmien maksimaalinen aerobinen teho (VO_{2max}) ei eronnut toisistaan. Koeryhmään tuli 2 tyttöä ja 5 poikaa (VO_{2max} $62 \pm 8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ja kontrolliryhmään 2 tyttöä ja 3 poikaa (VO_{2max} $60 \pm 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Koehenkilötiedot ovat taulukossa 1.

Taulukko 1. Koehenkilöiden taustatiedot

	Koeryhmä (KA \pm SD)	Kontrolliryhmä (KA \pm SD)
Ikä (v)	18 \pm 1	17 \pm 1
Pituus (cm)	174 \pm 9	171 \pm 5
Paino (kg)	64.6 \pm 7.4	60.4 \pm 9.3
Rasvaprosentti	11.9 \pm 5.1	15.2 \pm 5.1
Juoksuharjoitusmäärä/ viikko (km) *	73 \pm 12	50 \pm 17
Harjoitusmäärä/ viikko (h) *	12:32 \pm 3:54	11:56 \pm 1:41

KA = keskiarvo, SD = keskihajonta, * Itse arvioitu/laskettu määrä päiväkirjan pohjalta

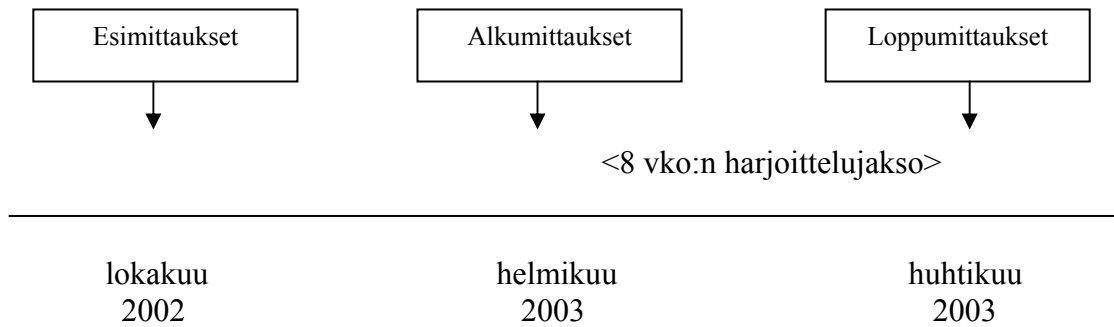
7.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen esimittaukset ja varsinaiset mittaukset suoritettiin syksyllä 2002 ja keväällä 2003 Jyväskylän Kilpa- ja Huippu-urheilun tutkimuskeskuksessa. Esimittaukset tehtiin lokakuussa 2002 koehenkilöiden suorituskykytasojen selvittämiseksi (Kuva 8a). Alkumittaukset tehtiin helmikuussa, minkä jälkeen koeryhmä suoritti 8 viikon ajan yhdistet-

tyä kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelua kontrolliryhmän tehdessä normaalia kestävyyspainotteista harjoittelua.

Koeryhmälle annettiin ohjeet ja esimerkkimallit nopeusvoimaharjoitteista, joita ohjattiin suorittamaan 2-4 kertaa viikossa. Kunkin koehenkilön omaan ohjelmaan liitettäviä ja sovellettavia nopeusvoimaharjoituksia olivat erilaiset kuntosaliharjoitteet, hyppelyloikkaharjoitteet, lajinomaiset nopeusvoimaharjoitteet ja nopeusharjoitteet juosten. Tarkoituksena oli, että koeryhmän kokonaisharjoittelusta nopeusvoimaharjoittelun osuus nousee 30 %:iin neljän viimeisen viikon ajaksi ja kestävyysharjoittelun osuuden pysyessä 70 %:ssa. Kontrollisryhmällä voima- ja nopeusharjoittelun osuus pysyi alle 10 % kestävyysharjoittelun osuuden ollessa yli 90 %. Loppumittaukset suoritettiin huhtikuussa. Sekä alku- että loppumittauksissa kaikilta koehenkilöiltä mitattiin antropometrisiä muuttujia, kestävyysuorituskykyä ja hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksia kahden peräkkäisen päivän aikana (Kuva 8b).

A.



B.

1. mittauspäivä

verryttely 30 min	vauhditon 5-loikka	tauko 30 min	kevennys- hyppy	tauko 60 min	tasotesti radalla
----------------------	-----------------------	-----------------	--------------------	-----------------	----------------------

2. mittauspäivä

pituus, paino rasva%	lentävä 30 metriä	jalkadynamo- metri	tauko 2 h	mattotesti
-------------------------	----------------------	-----------------------	--------------	------------

Kuva 8. Tutkimusaikataulu syksy 2002-kevät 2003 (A). Alku- ja loppumittauspäivien aikataulut (B).

7.3 Mittausmenetelmät

Esimitauksissa koehenkilöt suorittivat suoran maksimaalisen hapenottotestin juoksumatolla nopeuden kasvaessa progressiivisesti. Tyttöillä aloitusnopeus oli 8 km/h ja pojilla 10 km/h. Nopeutta lisättiin kolmen minuutin välein ensimmäisen kuorman jälkeen 2 km/h ja muiden kuormien jälkeen 1 km/h väsymykseen saakka. Juoksumaton nousukulma pysyi vakiona (1°) koko testin ajan. Kolmen minuutin kuormien väleissä koehenkilöiltä otettiin sormenpäästä verinäyte laktaatin määrittystä varten. Määrittys tapahtui laktaattianalysointilaitteella (EBIO 6666). Hengityskaasut analysoitiin sekoituskammiomenetelmällä SensorMedics 2900/Vmax hengityskaasuanalysointilaitteella, josta tuloksia saatiin 20 sekunnin välein. Jatkoanalysointiin otettiin hengityskaasujen keskiarvot joka minuutille.

Sykkeitä testin aikana mitattiin ja tallennettiin Polar Electro, Vantage NV sykemittarilla (Kempele, Finland).

Alku- ja loppumittauksissa kaikki testit suoritettiin samoin menetelmin ja samassa järjestyksessä.

7.3.1 Antropometriset muuttujat

Alku- ja loppumittausten toisena testipäivänä koehenkilöiltä mitattiin pituus ja paino. Lisäksi koehenkilöiltä mitattiin ihopoimujen paksuudet 4 eri pisteestä kehon rasvaprocentin selvittämiseksi (Durnin & Womersley 1967). Toisen mittauspäivän päätteeksi selvitettiin lihaspaksuuksia ultraäänimittauksella vastus lateralis -lihaksesta kohdista, jotka olivat 30%, 50% ja 70% kokonaispituudesta, vastus medialis -lihaksesta kohdista 50% ja 70% kokonaispituudesta ja rectus femoris -lihaksesta 50%:n kohdasta (Miyatani ym. 2004).

7.3.2 Kestävyyssominaisuuksien mittaaminen

Mittausten ensimmäisenä päivänä selvitettiin koehenkilöiden kestävyysominaisuuksia tasotestillä, jossa juostiin viisi 600-1000 metrin juoksumatkaa sisähalliradalla. Neljä ensimmäistä matkaa juostiin valojäniksen (Protom, Naakka, Finland) mukana tietyllä nopeudella ($2,5-4,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), joka lisääntyi aina $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ seuraavalla matkalla. Nopeudet määräytyivät sukupuolen ja lukion vuosikurssin mukaan. Viimeisen juoksumatkan, joka oli kaikilla 1000 metriä, koehenkilöt juoksivat maksimaalisella nopeudella ilman valojänistä. Viimeisessä 1000 metrin juoksussa mitattiin aika ja maksimaalinen nopeus (V_{\max}), syke ja laktaattipitoisuus.

Mittausten toisen päivän päätteeksi suoritettiin maksimaalinen hapenottotesti samalla tavalla kuin esimittauksissa. Juoksumatolla suoritettulla maksimaalisella hapenottotestillä selvitettiin $VO_{2\max}$:n lisäksi maksimaalinen syke, nopeus ja laktaatti. Samassa matto-testissä selvitettiin koehenkilöiden juoksutaloudellisuutta, jolloin tarkasteltiin hapenottoa, sykettä ja laktaattia kahdella submaksimaalisella vakiokuormalla (tytöillä 10 ja 12

km/h, pojilla 12 ja 14 km/h). Kyseisiä muuttujia selvitettiin kuormalla, joka on alle aerobisen kynnyksen sekä toisella kuormalla, joka on aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välissä.

7.3.3 Voima- ja nopeusominaisuuksien sekä EMG:n mittaaminen

Alku- ja loppumittausten ensimmäisenä päivänä suoritettiin kevennyshyppy kontaktimattolla, jolloin mitattiin parhaimman hypyn lentoaika (ms) nousukorkeuden (cm) laskeamista varten. Suorituksia kontrolloitiin siten, että hyväksytyssä suorituksessa kädet pysyivät lanteilla ja alastulo tapahtui suorilla jaloilla. Lentoaika ja nousukorkeus tallennettiin Digitest mittarilla. Samana päivänä suoritettussa vauhdittomassa 5-loikassa kirjattiin ylös paras tulos 3 loikkasuorituksesta jatkoanalysointia varten.

Toisena mittauspäivänä selvitettiin maksimaalinen juoksunopeus 30 metrin matkalta (lentävä 30 m) valokennoilla (Newtest, Oulu, Finland), jotka olivat liitettyinä elektroniiseen kelloon. Sisähallin juoksuradalla tehdyssä 30 metrin mittauksessa lähtö tapahtui siten, että koehenkilöt suorittivat noin 20 metrin kiihdytyksen ennen ensimmäistä valokennoa. Lentävästä 30 metrin testistä mitattiin maksimaalinen nopeus (m/s), paras aika, askelpituus ja -tiheys. Askelpituus ja -tiheys saatiin selville valomaton avulla, joka oli asennettu juoksuradan pintaan (Viitasalo ym. 1997). Valomatosta tieto siirtyi ja tallentui sähköisesti tietokoneelle. Jatkoanalysointiin otettiin 11-14 peräkkäistä kontaktia ensimmäisestä kontaktista lähtien.

Lentävän 30 metrin testin jälkeen suoritettiin jalkojen ojentajalihasten maksimaalinen isometrinen voimamittaus David 210 dynamometrillä polvikulman ollessa 107°. Isometrisessä voimamittauksessa mitattiin maksimaalista voimantuottoa, voimantuottonopeutta ja lihasten EMG -arvoja. Lisäksi selvitettiin lihasten EMG voimantuottosuorituksen aikaväleille 0-100, 0-500 ja 500-1500 ms sekä aika (ms), joka kului 10, 20, 30, 40, 50 ja 70 prosentin saavuttamiseen maksimivoimatasosta. Myös aika, joka kului 100, 250, 500, 750 ja 1000 N:n voimatason saavuttamiseen, tallennettiin jatkokäsittelyä varten.

EMG:tä mitattiin bipolaarisilla pintaelektrodeilla oikein jalan vastus lateralis- (VL), vastus medialis- (VM) ja rectus femoris- (RF) lihaksesta. Elektrodien paikat merkittiin py-

syvillä tatuointipisteillä seuraavaa mittauskertaa varten. Ennen elektrodien asennusta iho puhdistettiin kuolleista ihosoluista hiekkapaperilla ja amisept-liuoksella resistanssin pienentämiseksi. EMG-elektrodien pysyminen paikallaan varmistettiin pitävillä teippauksilla. Vahvistettu EMG -signaali siirrettiin telemetrisesti PC:lle, jonne data tallennettiin jatkoanalysointia varten (Analyce, KIHU, Finland). Integroidut EMG -arvot suhteutettiin aikaan.

7.4 Tilastollinen analyysi

Tulokset analysoitiin SPSS for Windows 10.0 -ohjelmaa apuna käyttäen. Ensin analysoitiin keskiarvot ja keskihajonnat. Ryhmien sisällä ajassa tapahtuvaa muuttujien muutosten merkitsevyyttä selvitettiin ensin MANOVA:lla, minkä lisäksi alku- vs. loppumittauksia tarkasteltiin parillisen Studentin t-testin avulla. Ryhmien välisiä eroja laskettiin vastaavasti parittomalla Studentin t-testillä. Samalla menetelmällä selvitettiin suhteellisten muutosten merkitsevyyksiä. Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla analysoitiin korreloiko alkumittausten muuttujat keskenään. Tulos katsottiin tilastollisesti merkitseväksi, kun $p < 0.05$.

8 TULOKSET

8.1 Harjoittelu

Koeryhmän harjoittelu toteutui taulukon 2 mukaan. Harjoituspäiväkirja saatiin neljältä koeryhmän jäseneltä harjoitusjakson päätyttyä. Kontrolliryhmää ohjeistettiin harjoitteluun normaaliin tapaan kestävyyspainotteisesti, jolloin kestävyysharjoittelun osuus kokonaisharjoittelusta on noin 90 %. Kontrolliryhmän henkilöiltä ei saatu harjoituspäiväkirjaa takaisin harjoitusjakson päätyttyä.

Taulukko 2. Koeryhmän (n = 4) keskimääräiset viikoittaiset harjoitusmäärät ja osuudet (%) kokonaisharjoittelumäärästä (K = kestävyys, NO/NV = nopeus/nopeusvoima, muu harjoittelu = kestovoima, palloilu, tekniikka, koordinaatioym.)

	K (h:min)	K %	NO/NV (h:min)	NO/NV %	Muu harjoittelu (h:min)	Muu harjoittelu %	Kaikki yht. (h:min)
KA	7:46	72.6	0:52	8.5	1:32	18.9	10:10
SD	2:10	9.8	0:16	2.6	0:39	8,6	1:26

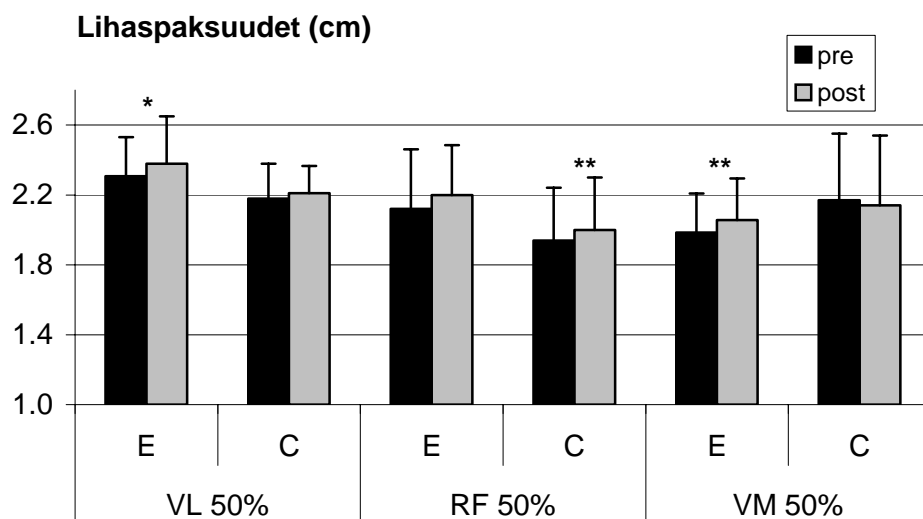
8.2 Antropometriset muutokset

Koe- ja kontrolliryhmien antropometriset muuttujat eivät eronneet merkitsevästi toisistaan alkumittauksissa eikä loppumittauksissa. Pituus, paino ja rasvaprosentti eivät muuttuneet merkitsevästi kummallakaan ryhmällä kahdeksan viikon harjoitusjakson seurauksena (taulukko 3).

Taulukko 3. Koeryhmän ja kontrolliryhmän keskimääräinen pituus (cm), paino (kg) ja rasvaprocentti (%) ennen 8 viikon harjoittelujaksoa (pre) ja sen jälkeen (post) (KA ± SD).

	koeryhmä (n = 7)		kontrolliryhmä (n = 5)	
	pre	post	pre	post
pituus (cm)	174.2 ± 8.7	174.2 ± 9.1	170.9 ± 5.1	170.9 ± 5.1
paino (kg)	64.5 ± 7.8	64.6 ± 7.7	60.4 ± 10.1	60.5 ± 9.6
rasva%	12.1 ± 5.6	11.7 ± 5.1	15.1 ± 4.7	15.3 ± 6.0

Lihaspaksuuksissa koeryhmällä oli tilastollisesti merkitsevää kasvua VL -lihaksen ja VM -lihaksen puolivälissä (50% kokonaispituudesta) ($p < 0.05$) (Kuva 9). Koeryhmällä oli huomattavissa kasvua myös RF -lihaksen puolivälissä, mutta tämä kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää ($p < 0.06$). Muista kohdista mitatuissa lihaspaksuuksissa ei koeryhmällä ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia (Taulukko 4). Kontrolliryhmällä tilastollisesti merkitsevää kasvua oli RF -lihaksen puolivälissä (Kuva 9) ja VL -lihaksen kohdassa 30% kokonaispituudesta ($p < 0.05$) (Taulukko 4). Muissa lihaspaksuuksissa ei kontrolliryhmällä ollut huomattavissa tilastollisesti merkitseviä muutoksia.



Kuva 9. Keskimääräiset lihaspaksuudet vastus lateralis- (VL), rectus femoris- (RF) ja vastus medialis- (VM) lihaksesta kohdasta 50% kokonaispituudesta koeryhmällä (E) ja kontrolliryhmällä (C) ennen 8 viikon harjoittelujaksoa (pre) ja sen jälkeen (post). (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

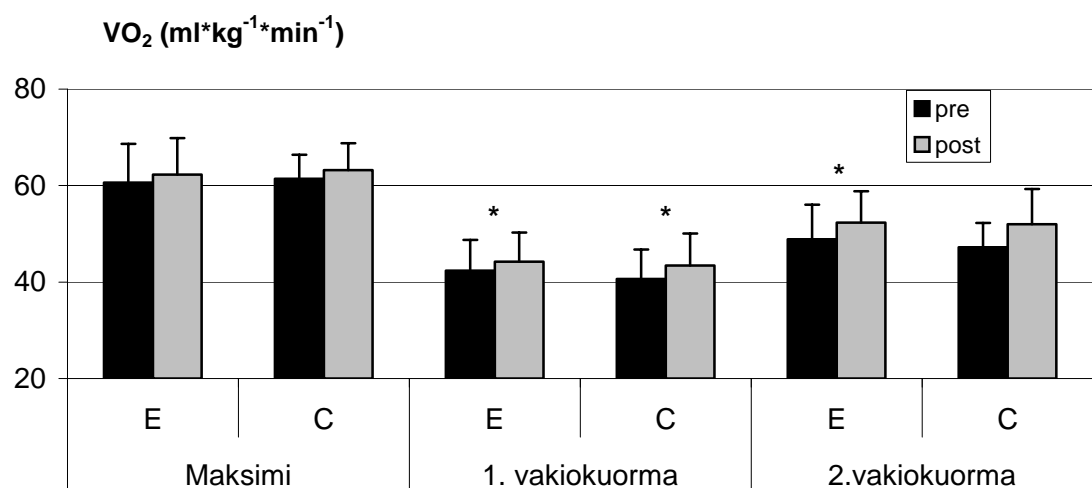
Taulukko 4. Keskimääräiset lihaspaksuudet vastus lateralis –lihaksessa (VL) kohdissa 30% ja 70% kokonaispituudesta ja vastus medialis –lihaksessa kohdassa 70% kokonaispituudesta ennen 8 viikon harjoittelujaksoa (pre) ja sen jälkeen (post) koeryhmällä ja kontrolliryhmällä (KA ± SD).

	koeryhmä (n = 7)		kontrolliryhmä (n = 5)	
	pre	post	pre	post
VL 30%	2.11 ± 0.26	2.16 ± 0.24	2.09 ± 0.33	2.12 ± 0.34 *
VL 70%	2.19 ± 0.29	2.24 ± 0.25	2.03 ± 0.31	2.07 ± 0.27
VM 70%	1.98 ± 0.39	2.01 ± 0.39	1.97 ± 0.33	2.02 ± 0.29

* tilastollisesti merkitsevä muutos alkumittauksista loppumittauksiin, $p < 0.05$

8.3 Kestävyysominaisuuksien muutokset

Tasotestissä ei ollut havaittavissa muutoksia ajan, nopeuden, sykkeen ja laktaatin kohdalla kummallakaan ryhmällä 8 viikon harjoittelujakson seurauksena. Mattotestissä VO_{2max} pysyi muuttumattomana sekä koe- että kontrolliryhmällä (Kuva 10). Mattotestin muuttujista ainoastaan maksimaalinen nopeus väheni merkitsevästi koeryhmällä ($p < 0.05$). Maksimaalinen syke ja laktaatti mattotestissä pysyivät muuttumattomina (Taulukko 5).



Kuva 10. Koeryhmän (E) ja kontrolliryhmän (C) keskimääräiset hapenotot (VO_2) maksimitasolla juostessa mattotestissä sekä 1. vakiokuormalla ja 2. vakiokuormalla juostessa ennen 8 viikon harjoitusjaksoa (pre) ja sen jälkeen (post). (* $p < 0.05$) (n = 10 maksimissa, n = 11 vakiokuormilla)

Tietyillä submaksimaalisilla nopeuksilla juostavilla vakiokuormilla hapenotto (VO_2) lisääntyi koeryhmällä 1. ja 2. vakiokuormalla ($p < 0.05$) ja kontrolliryhmällä 1. vakiokuormalla ($p < 0.01$) (Kuva 10). Kontrolliryhmällä hapenotto lisääntyi myös 2. vakiokuormalla, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Koeryhmän laktaattipitoisuus kasvoi merkitsevästi toisella vakiokuormalla ($p < 0.05$) (Taulukko 5). Myös koeryhmän syke lisääntyi 1. ja 2. vakiokuormalla, mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Muiden muuttujien kohdalla muutoksia ei ollut huomattavissa kummallakaan ryhmällä 1. ja 2. vakiokuormalla.

Taulukko 5. Keskimääräinen aika (min/km), nopeus (km/h), syke ja laktaatti tasotestin viimeisellä maksimaalisella kuormalla (1000m) ennen (pre) 8 viikon harjoittelujaksoa ja sen jälkeen (post). Keskimääräinen maksimaalinen nopeus, syke ja laktaatti mattotestissä. Keskimääräinen syke ja laktaatti 1. vakiokuormalla (tytöt 10 km/h ja pojat 12 km/h) ja 2. vakiokuormalla (tytöt 12 km/h ja pojat 14 km/h) ($\text{KA} \pm \text{SD}$).

	koeryhmä (n = 7)		kontrolliryhmä (n = 5)	
	pre	post	pre	post
Tasotesti				
aika _{max} (min/km)	3:12 ± 2:24	3:10 ± 0:21	3:16 ± 0:18	3:13 ± 0:22
nopeus _{max} (km/h)	19.0 ± 2.2	19.1 ± 2.1	18.5 ± 1.7	18.8 ± 2.0
syke _{max} (/min)	192 ± 3	193 ± 4	202 ± 6	204 ± 10
laktaatti _{max} (mmol* Γ^{-1})	10.7 ± 1.9	10.9 ± 1.1	9.8 ± 2.9	9.4 ± 1.7
Mattotesti				
nopeus _{max} (km/h)	17.5 ± 1.6	16.6 ± 1.8 *	17.5 ± 1.8	16.5 ± 1.3
syke _{max} (/min)	191 ± 4	189 ± 3	203 ± 6	203 ± 11
laktaatti _{max} (mmol* Γ^{-1})	9.3 ± 2.6	9.1 ± 2.3	9.9 ± 1.1	9.4 ± 1.5
1.vakiokuorma				
syke (/min)	149 ± 7	153 ± 6	157 ± 7	165 ± 16
laktaatti (mmol* Γ^{-1})	1.5 ± 0.5	1.5 ± 0.3	1.7 ± 0.4	1.8 ± 0.2
2.vakiokuorma				
syke (/min)	166 ± 7	171 ± 8	174 ± 10	182 ± 17
laktaatti (mmol* Γ^{-1})	1.9 ± 0.4	2.8 ± 0.9 *	2.3 ± 0.6	2.5 ± 0.7

* tilastollisesti merkitsevä muutos alkumittauksista loppumittauksiin, $p < 0.05$

8.4 Voima- ja nopeusominaisuuksien sekä EMG:n muutokset

Voima- ja nopeusominaisuuksien kohdalla kevennyshypyssä, 5-loikassa ja lentävällä 30 metrillä ei ollut huomattavissa tilastollisesti merkitsevää muutosta 8 viikon harjoittelujakson seurauksena kummallakaan ryhmällä (Taulukko 6). Myös maksimaalinen voimantuotto (F_{\max}) ja voimantuottonopeus (RFD) pysyivät muuttumattomina isometrisessä jalkojen ojennuksessa sekä koe- että kontrolliryhmällä.

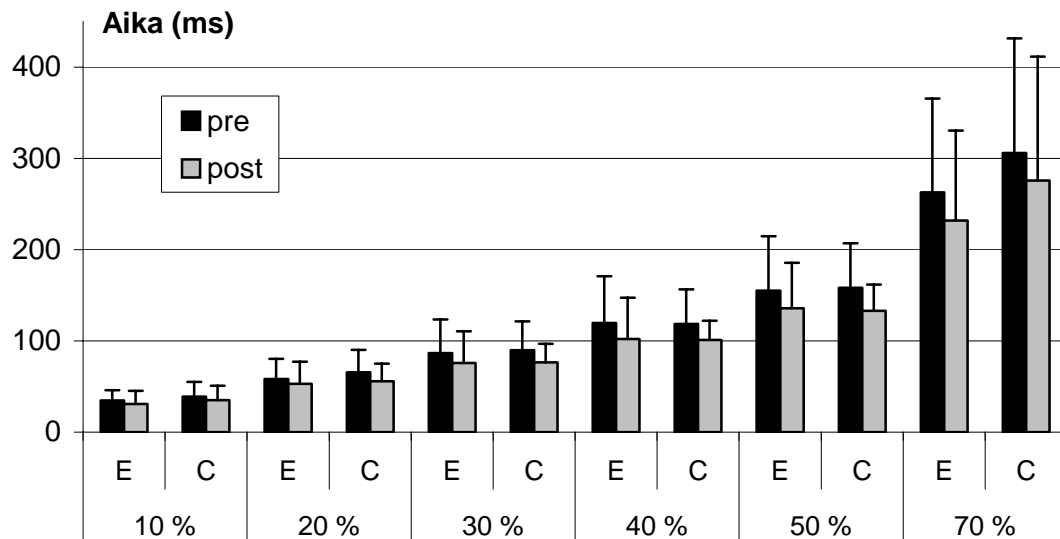
Taulukko 6. Koeryhmän ja kontrolliryhmän keskimääräiset tulokset kevennyshypystä, 5-loikasta ja lentävältä 30 metriltä (aika, nopeus, askelpituus ja askeltiheys) sekä maksimaalinen voima (F_{\max}) ja voimantuottonopeus (RFD) isometrisessä jalkojen ojennuksessa ennen 8 viikon harjoitusjaksoa (pre) ja sen jälkeen (post) (KA \pm SD).

	koeryhmä (n = 7)		kontrolliryhmä (n = 5)	
	pre	post	Pre	post
Kevennyshyppy (cm)	33.3 \pm 4.4	32.9 \pm 4.0	31.6 \pm 2.4	30.1 \pm 3.4
5-loikka (m)	11.51 \pm 0.91	11.57 \pm 1.03	11.17 \pm 0.74	11.34 \pm 0.51
30m aika (s)	3.66 \pm 0.30	3.68 \pm 0.29	3.92 \pm 0.32	3.87 \pm 0.27
30m nopeus (m/s)	8.24 \pm 0.69	8.19 \pm 0.66	7.69 \pm 0.61	7.77 \pm 0.54
30m askelpituus (m)	1.92 \pm 0.13	1.92 \pm 0.13	1.89 \pm 0.10	1.90 \pm 0.10
30m askeltiheys (Hz)	4.29 \pm 0.22	4.28 \pm 0.25	4.06 \pm 0.24	4.09 \pm 0.17
Fmax (N)	2936 \pm 485	2810 \pm 501	2410 \pm 840	2464 \pm 686
RFD max (N*s ⁻¹)	11095 \pm 3996	11266 \pm 5467	8574 \pm 2330	10211 \pm 850

Maksimaalisessa isometrisessä jalkojen ojennuksessa aika (ms), joka kului 10, 20, 30, 40, 50 ja 70 % saavuttamiseen maksimivoimatasosta, lyheni sekä koeryhmällä että kontrolliryhmällä kaikissa kohdissa (Kuva 11). Näistä muutoksista mikään ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Saman suuntaisesti lyheni aika, jotka kuluivat 100, 250, 500, 750 ja 1000 N:n voimatason saavuttamiseen maksimaalisessa isometrisessä jalkojen ojennuksessa kummallakin ryhmällä (Taulukko 7). Nämäkään muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Taulukko 7. Koeryhmän ja kontrolliryhmän keskimääräinen aika, joka kului 100, 250, 500, 750 ja 1000 Newtonin saavuttamiseen maksimaalisessa isometrisessä jalkojen ojennuksessa ennen 8 viikon harjoitusjaksoa (pre) ja sen jälkeen (post).

	koeryhmä (n = 7)		kontrolliryhmä (n = 5)	
	pre	post	Pre	post
100 N (ms)	18.0 ± 5.8	17.6 ± 8.8	22.6 ± 11.3	18.2 ± 4.0
250 N (ms)	36.6 ± 12.1	35.7 ± 17.3	48.6 ± 20.8	40.4 ± 16.2
500 N (ms)	62.1 ± 21.9	61.5 ± 30.1	78.7 ± 33.0	64.9 ± 18.1
750 N (ms)	93.8 ± 33.9	90.3 ± 43.4	113.3 ± 41.4	92.7 ± 16.6
1000 N (ms)	133.0 ± 48.5	123.6 ± 57.8	157.5 ± 47.8	131.5 ± 17.4



Kuva 11. Koeryhmän (E) ja kontrolliryhmän (C) keskimääräinen aika, joka kului 10%, 20%, 30%, 40%, 50% ja 70% saavuttamiseen maksimivoimatasosta ennen 8 viikon harjoittelujaksoa (pre) ja sen jälkeen (post)

EMG -aktiivisuudet VL-, VM- ja RF -lihaksissa pysyivät muuttumattomina maksimaalisessa isometrisessä jalkojen ojennuksessa aikaväleillä 0-100, 0-500 ja 500-1500 ms sekä koe- että kontrolliryhmällä 8 viikon harjoittelujakson seurauksena (Taulukko 7).

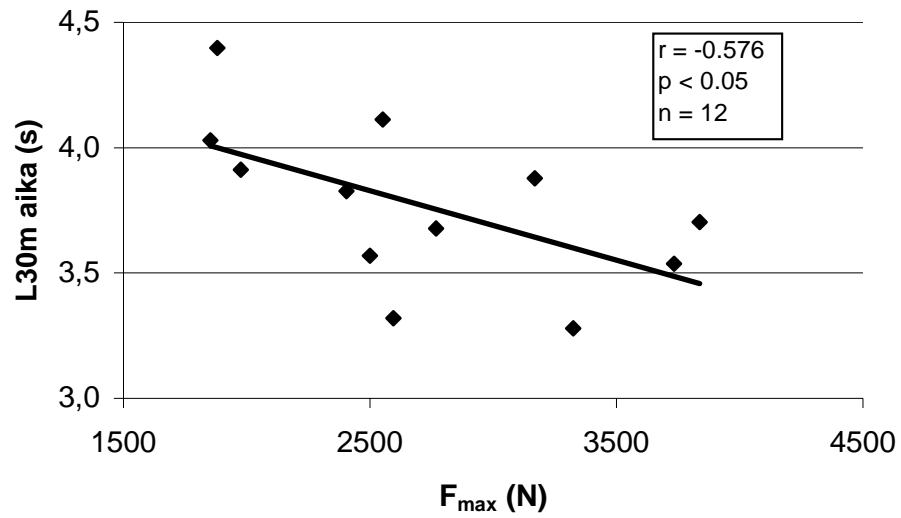
Taulukko 8. Keskimääräiset EMG –aktiivisuudet ($\mu V \cdot s^{-1}$) vastus lateralis- (VL), vastus medialis- (VM) ja rectus femoris- (RF) lihaksista maksimaalisessa isometrisessä jalkojen ojennuksessa suorituksen aikaväleillä 0-100, 0-500 ja 500-1500 ms.

	koeryhmä (n = 7)		kontrolliryhmä (n = 5)	
	pre	post	pre	post
VL 0-100 ms	218 ± 132	262 ± 146	115 ± 31	162 ± 44
VL 0-500 ms	225 ± 126	248 ± 138	138 ± 43	146 ± 22
VL 500-1500 ms	252 ± 99	264 ± 119	163 ± 52	168 ± 15
VM 0-100 ms	274 ± 90	230 ± 90	218 ± 186	208 ± 71
VM 0-500 ms	262 ± 90	228 ± 78	234 ± 151	200 ± 76
VM 500-1500 ms	273 ± 74	244 ± 72	243 ± 153	244 ± 102
RF 0-100 ms	152 ± 97	166 ± 92	100 ± 63	115 ± 24
RF 0-500 ms	146 ± 76	155 ± 59	98 ± 56	107 ± 33
RF 500-1500 ms	175 ± 56	175 ± 37	103 ± 66	139 ± 33

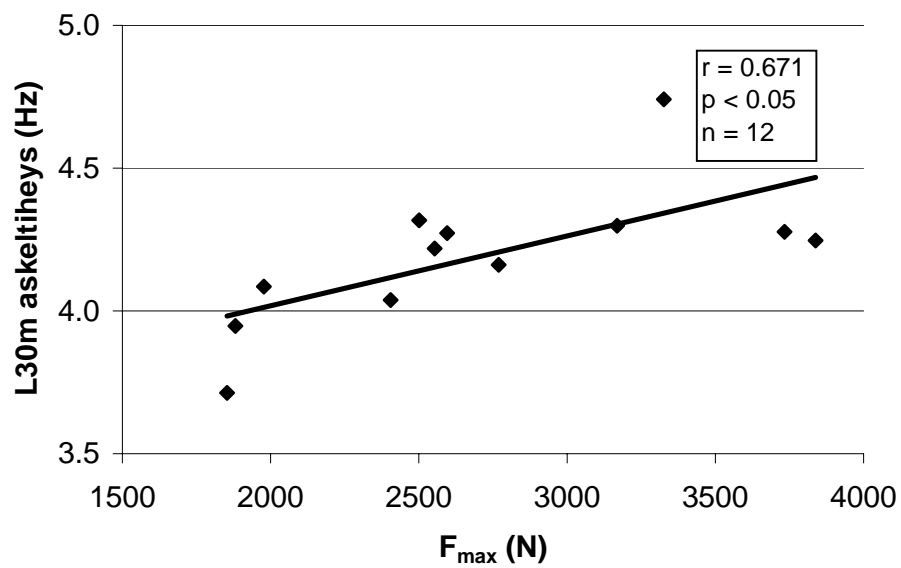
8.5 Muuttujien välisiä korrelaatioita

Tarkasteltaessa muuttujien välisiä korrelaatioita kaikilla koehenkilöillä (koeryhmä + kontrolliryhmä) alkumittauksissa löytyi tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä joidenkin muuttujien kohdalla. Alkumittauksissa mattotestissä mitattu VO_{2max} korreloi merkitsevästi 1. ja 2. vakiokuorman hapenoton kanssa ($p < 0.01$). Samoin syke maksimitasolla korreloi merkitsevästi vakiokuormien sykkeiden kanssa merkitsevästi ($p < 0.01$). Voima- ja nopeusmuuttujien kohdalla isometrinen maksimivoima (F_{max}) korreloi merkitsevästi lentävän 30 metrin ajan ja askeltiheyden kanssa ($p < 0.05$) (Kuva 12a ja 12b).

A.



B.



Kuva 12. Isometrisen maksimaalisen voimantuoton (F_{\max}) ja lentävän 30 metrin ajan välinen yhteys alkumittauksissa (A.) ja isometrisen maksimaalisen voimantuoton (F_{\max}) ja lentävän 30 metrin askeltiheyden välinen yhteys (B.).

9 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia kestävyys- ja voima- ja nopeusominaisuuksiin nuorilla kestävyysjuoksijoilla. Hypoteesina oli, että yhdistetty kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelu parantaa kestävyys- ja voima- ja nopeusominaisuuksia ilman, että kestävyysominaisuudet samanaikaisesti heikkenevät. Tutkimuksen päätuloksena oli, että kestävyys- ja voimaharjoitteluun yhdistetty nopeusvoimaharjoittelu, joka muodostaa alle 10 %:a kokonaisharjoittelusta, ei aiheuta muutoksia voima- ja nopeusominaisuuksiin nuorilla kestävyysjuoksijoilla. Kestävyysominaisuuksien osalta maksimaalinen juoksunopeus heikkeni yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun seurauksena. Maksimaalinen hapenotto pysyi muuttumattomana yhdistetyn harjoittelun seurauksena, kun taas submaksimaalinen hapenotto lisääntyi 1. ja 2. vakiokuormalla.

Oletettuja muutoksia kestävyys- ja nopeusvoimaominaisuuksissa ei ollut tässä tutkimuksessa huomattavissa nuorilla kestävyysjuoksijoilla. Syynä tähän saattoi olla koeryhmän vähäinen nopeusvoimaharjoittelun määrä, jonka osuudeksi muodostui 8.5 %:a kokonaisharjoittelusta. Tarkoituksena oli, että koeryhmän kokonaisharjoittelusta noin 30 % olisi nopeusvoima- ja nopeusharjoittelua. Mikkolan ym. (2004) tutkimuksessa, jossa maastohiihtäjien nopeusvoimaominaisuudet paranivat ilman aerobisen kapasiteetin heikkenevästä yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun seurauksena, nopeusvoimatyypisen harjoittelun osuus oli 27 % kokonaisharjoittelumäärästä. Tällöin tiettyjen nopeusvoimaominaisuuksien paranemisen oletettiin johtuvan neuraalisista adaptaatioista. Myös muissa tutkimuksissa, joissa on saatu aikaan parannuksia kestävyys- ja/tai nopeusvoimaominaisuuksissa, on nopeusvoimaharjoittelun osuus kokonaisharjoittelusta ollut huomattavasti suurempi (32-37 %) (Paavolainen ym. 1999c; Paavolainen ym. 1991; Bastiaans ym. 2001).

Yhdistetty kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelujakso oli 8 viikon mittainen tässä tutkimuksessa. Pituudeltaan harjoitusjakson olettaisi olevan riittävän pitkä aikaansaadakseen odotettuja muutoksia kestävyys- ja nopeusvoimaominaisuuksissa, sillä näitä muutoksia on ollut havaittavissa jopa 6 viikon harjoittelujakson seurauksena (Paavolainen ym. 1991; Spurrs ym. 2002). Toisaalta useissa tutkimuksissa, joissa yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla on saatu aikaan paranemista kestävyys- ja/tai voimaomi-

naisuuksissa, on harjoitusjakson pituus ollut 10 viikosta yli 20 viikkoon (Johnston ym. 1997; McCarthy ym. 1995; Häkkinen ym. 2003; Sale ym. 1990). Pitkän yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelujakson aikana saattaa joidenkin ominaisuuksien kehitys myös pysähtyä ja kääntyä jopa laskuun harjoitusjakson loppupuolella mikäli harjoitusmäärä on huomattavan suuri. Hicksonin (1980) tutkimuksessa voimantuotto parani huomattavasti seitsemän ensimmäisen viikon aikana yhdistetyssä harjoittelussa, jossa voimaa harjoitettiin 5 kertaa viikossa ja lisäksi kestävyyttä 6 kertaa viikossa. Harjoitusjakson loppupuolella voiman kehitys pysähtyi (8. viikko) ja lopulta kääntyi laskuun (9. ja 10. viikko).

Maksimaalinen hapenotto pysyi muuttumattomana yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun seurauksena nuorilla kestävyysjuoksijoilla. Tämä tulos on samansuuntainen useiden muiden tutkimustulosten kanssa, jotka on saatu aikaan kestävyysurheilija koehenkilöillä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena (Hickson ym. 1988; Johnston ym. 1997; Millet ym. 2002) Paavolaisen ym. (1991) tutkimuksessa maksimaalinen hapenotto pysyi muuttumattomana maastohiihtäjillä yhdistetyn kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelun seurauksena nopeusvoimaominaisuuksien parantuessa. Sama tulos saatiin aikaan myös Spurrsin ym. (2002) tutkimuksessa, jossa koehenkilöt olivat kestävyysjuoksijoita. Tässä tutkimuksessa samoin kuin muutamassa muussa tutkimuksessa kestävyysuorituskyky kuitenkin parani VO_{2max} :n pysyessä muuttumattomana (Paavolainen ym. 1999c; Hickson ym. 1988). Tutkimuksissa, joissa maksimaalinen hapenotto on parantunut yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena, ovat koehenkilöt usein olleet harjoittelemattomia (Dudley & Djamil 1985; Bell ym. 2000; McCarthy ym. 1995; Gravelle & Blessing 2000; Sale ym. 1990). Tällöin oletettavasti pelkkä fyysisen aktiivisuuden aloittaminen parantaa maksimaalista hapenottoa huomattavissa määrin.

Hyvin mielenkiintoinen tulos tutkimuksessamme oli submaksimaalisen hapenoton lisääntyminen kahdella vakiokuormalla, mikä kertoo heikentyneestä taloudellisuudesta. Kahdella melko kevyellä juoksukuormalla sykkeet pysyivät muuttumattomina hapenoton lisääntyessä 1. vakiokuormalla sekä koe- että kontrolliryhmällä ja 2. vakiokuormalla koeryhmällä. Myös laktaattipitoisuus kasvoi koeryhmällä 2. vakiokuormalla, mikä kertoo kuormittavuuden lisääntymisestä ja anaerobisen energiantuoton osuuden kasvusta, vaikka todellinen juoksukuorma pysyikin muuttumattomana.

Tämä tulos on ristiriitainen useiden muiden tutkimustulosten kanssa, joissa yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia on tutkittu kestävyysurheilijoilla. Tällöin urheilijoiden taloudellisuus on parantunut maksimaalisen hapenoton pysyessä muuttumattomana (Johnston ym. 1997; Millet ym. 2002; Paavolainen ym. 1999c; Spurrs ym. 2002). Millet ym. (2002) selvittivät juoksutaloudellisuutta hapenotolla kahdella eri juoksunopeudella, jotka olivat tietyssä suhteessa maksimaaliseen nopeuteen (V_{VO2max}). Nämä submaksimaaliset kuormat olivat kuitenkin huomattavasti lähempänä maksimaalista tasoa (75% ja 92% V_{VO2max}), kuin meidän tutkimuksessamme. Paavolaisen ym. tutkimuksessa juoksutaloudellisuutta selvitettiin steady state -tason hapenoton avulla kahdella eri submaksimaalisella nopeudella juostessa. Tällöin submaksimaaliset kuormat olivat lähempänä tasoja, joita tutkimuksessamme tarkasteltiin.

Syynä tulosten eroavuuteen muihin tutkimustuloksiin verrattuna saattaa olla erilaiset juoksutaloudellisuuden määrittystavat, jolloin hapenottoa on tarkasteltu eri tasoilla juostessa. Taloudellisuuden heikentymistä tutkimuksessamme saattaa selittää myös koehenkilöiden nuori ikä, jolloin elimistön kasvu ja kehitys on vielä osaltaan kesken (Anderson 1996). Tällöin erilainen harjoittelujakso saattaa häiritä hermo-lihasjärjestelmän tarkoituksenmukaista toimintaa ja täten aiheuttaa muutoksia juoksun biomekaniikkaan ja edelleen energia-aineenvaihduntaan. Toisaalta taloudellisuuden heikkenemistä ilmeni sekä koe- että kontrolliryhmässä, joten pelkällä nopeusvoimaharjoittelun lisääntymisellä ei voi kyseistä muutosta selittää.

Keskeneräisestä biologisesta kasvu- ja kehitysvaiheesta saattaa johtua myös koehenkilöiden lihaspaksuuskasvu sekä koe- että kontrolliryhmässä. Etenkin tämän ikäisillä pojilla lihaspaksuudet kasvavat pelkästään lisääntyneen testosteronipitoisuuden vuoksi (Tanner 1962). Kuitenkin lihasten hypertrofisten adaptaatioiden tiedetään olevan yhteydessä lihasvoiman kasvuun kovan voimaharjoittelun yhteydessä (Häkkinen 1994). Täten olisi voinut olettaa myös lihasvoiman paranevan lihaskasvun myötä, mitä ei ollut tutkimuksessamme kuitenkaan huomattavissa. Vaikka lihaspaksuuskasvu oli tutkimuksessamme tilastollisesti merkitsevää, olivat muutokset varsin pieniä. Tämän vuoksi on syytä ottaa huomioon myös ultraäänimittauksen tarkkuus ja pohtia mahtuuko lihaspaksuuskasvu mahdollisesti mittausmenetelmän virhemarginaaliin.

Nopeus- ja voimaominaisuuksien kohdalla muutoksia ei tapahtunut kuten oletettiin. Tässä kohtaa syynä todennäköisesti oli liian vähäinen nopeus- ja nopeusvoimaharjoittelun määrä, joka jäi alle 10 % kokonaisharjoittelumäärästä. Tutkimuksissa, joissa yhdistetyllä kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelulla on saatu aikaan nopeus- ja/tai nopeusvoimaominaisuuksien paranemista, nopeusvoimaharjoittelun osuus on ollut huomattavasti suurempi (27-37%) kokonaisharjoittelusta (Mikkola ym. 2004; Paavolainen 1991; Bastiaans 2001). Todennäköisesti nopeus- ja nopeusvoimaharjoittelun määrä tutkimuksessamme oli liian pieni aikaan saadakseen oletettuja muutoksia hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksissa. Tutkimuksessa ei aikaan saatu neuraaalisia adaptaatioita, mistä olisi voinut seurata lihasjäykkyyden säätelyn tehostumista ja elastisen energian hyväksikäytön lisääntymistä ja edelleen nopeaa voimantuottoa vaativien suoritusten paranemista (Aura & Komi 1986).

Ainoa muutos voimaominaisuuksien kohdalla oli jalkojen ojentajien maksimaalisen isometrisen voimantuoton nopeutuminen, mikä oli huomattavissa aikojen pienentymisenä tietyn prosentuaalisen osuuden (10%, 20%, 30%, 40%,50% ja 70%) saavuttamisessa maksimivoimatasosta. Vaikka nämä muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, olivat kaikki ajat pienempiä sekä koe- että kontrolliryhmällä. Täten ei voida olettaa, että muutoksen takana oli yhdistetty kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelu. Isometrisen voimantuoton tehostumisen taustalta saattaa löytyä jokin muu tekijä, kuten suoritustekniikan paraneminen oppimisvaikutuksen kautta. Tällöin koehenkilöt ovat mahdollisesti omaksuneet itselleen sopivan suoritustekniikan jälkimmäiselle mittauskerralle, jolloin maksimaalinen isometrinen voimantuotto on saattanut nopeutua.

Muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltaessa mielenkiintoinen tulos saatiin maksimaalisen isometrisen voiman ja lentävän 30 metrin ajan ja askeltiheyden väliltä. Mitä suurempi oli koehenkilön maksimaalinen voima sitä parempi oli aika ja suurempi askeltiheys lentävällä 30 metrillä. Täten maksimaalinen nopeus lyhyellä matkalla vaatii hyviä voimantuotto- ominaisuuksia. Oletettavasti hyvät voimaominaisuudet mahdollistavat suuremman askeltiheyden maksimaalisessa juoksussa, jolloin nopeus kasvaa ja aika paranee lyhyellä juoksumatkalla.

Tämän tutkimuksen tulokset olivat melko selkeät. Yhdistetyllä kestävyys- ja nopeusvoimaharjoittelulla ei pystytty parantamaan nuorten kestävyysjuoksijoiden kestävyys-

suorituskykyä eikä nopeusvoimaominaisuuksia, mikä johtune liian vähäisestä nopeus- ja nopeusvoimaharjoittelusta, joka oli vain 8.5 %:a kokonaisharjoittelusta. 8 viikon mittaisen tutkimusjakson aikana havaittiin tilastollisesti merkitsevää lihaspaksuuksien kasvua, mikä kuitenkin oli määrältään melko pientä. Lisäksi tutkimuksessamme havaittiin maksimaalisen juoksunopeuden vähenemistä ja juoksutaloudellisuuden heikkenemistä. Tämä saattaa olla seurausta juoksun biomekaniikan muutoksista kyseisessä ikävaiheessa.

Tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden aiempia harjoittelutaustoja ja kilpailumenestyksiä ei tarkemmin selvitetty. Oletettavasti koehenkilöiden harjoittelutavat ja kilpailumenestys ovat olleet melko poikkeavia toisistaan, mikä lisäsi koehenkilöjoukon heterogeenisyyttä. Suuret hajonnat fyysisissä ominaisuuksissa ja suorituskyvyissä saattoivat vaikuttaa siihen, että myös harjoitusadaptaatiot olivat koehenkilöillä yksilöllisiä.

Tutkimusjakson aikana koehenkilöiden harjoittelun toteutumisessa oli yksilöllisiä eroja ja myös nopeus- ja nopeusvoimaharjoittelun määrä vaihteli koeryhmäläisillä huomattavan paljon. Ongelmana tutkimuksessa, jossa kohteena ovat tämän ikäiset nuoret, on koehenkilöiden motivoiminen tietyn harjoitusohjelman noudattamiseen ja päiväkirjan pitämiseen. Tutkimuksessamme tarkka päiväkohtainen ohjelma olisi saattanut parantaa koehenkilöiden harjoittelumotivaatiota, jolloin nopeusvoimaharjoittelun määrä olisi saatu tavoitteiden mukaiselle 30 %:n tasolle.

LÄHTEET

- Almarwaey, O., A., Jones, A., M. & Tolfrey, K. (2003) Physiological correlates with endurance running performance in trained adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 35 (3), 480-487.
- Anderson, T. (1996) Biomechanics and running economy. *Sports Medicine*. 22(2), 76-89.
- Apple, D., F., Jr. (1985) Adolescent runners. *Clinics in Sports medicine*. 4(4), 641-655.
- Armstrong, N. & Welsman, J., R. (2001) Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *European Journal of Applied Physiology*. 85, 546-551.
- Asmussen, E. (1973) Growth in muscular strength and power. Academic Press, New York.
- Aura, O. & Komi, P., V. (1986) Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behaviour of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. *International Journal of Sports Medicine*. 7, 137-143.
- Bassett, D., R., Jr & Howley, E., T. (1997) Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 29(5), 591-603.
- Bastiaans, J., 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.
- Baxter-Jones, A., Goldstein, H. & Helms, P. (1993) The development of aerobic power in young athletes. *Journal of Applied Physiology*. 75(3), 1160-1167.
- Baxter-Jones, A., D., G. & Maffulli, N. (2003) Endurance in young athletes: it can be trained. *British Journal of Sports Medicine*. 37, 96-97.
- Bell, G., J., Petersen, S., R., Wessel, J., Bagnall, K. & Quinney, H., A. (1991) Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *International Journal of Sports Medicine*. 12(4), 384-390.
- Bell, G., Syrotuik, D., Socha, T., Maclean, I. & Quinney, H., A. (1997) Effect of strength training and concurrent strength and endurance training on strength, testosterone, and cortisol. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 11(1), 57-64.

- 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.
- Berg, K. (2003) Endurance training and performance in runners. *Sports Medicine*. 33 (1), 59-73.
- Billat, L., V. (2001) Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Sports Medicine*. 31(1), 13-31.
- Brandon, L., J. (1995) Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Medicine*. 19(4), 268-277.
- Brook, C., G. (1981) Endocrinological control of growth at puberty. *British Medical Bulletin*, 37 (3), 281-285.
- Brown, A., G., K. (1964) Athletics in school. In *modern athletics by the Achilles Club*. Oxford University Press, London.
- Bäckmn, E. & Öberg, B. (1989) The development of the isokinetic muscle torque in the dorsiflexors of the ankle in children 6-15 years of age. XII International Congress of Biomechanics, Congress proceeding. Abstract 204. University of California, Los Angeles.
- Cantwell, J., D. (1985) Cardiovascular aspects of running. *Clinics in Sports Medicine*. 4(4), 627-639.
- Costill, D. (1986) *Inside running: basics of sports physiology*. Benchmark Press, Indianapolis (IN).
- Coyle, E., D., Coggan, A., R., Hopper, M., K. & Walters, T., J. (1988) Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*. 64(6), 2622-2630.
- Daniels, J., T. (1985) A physiologist's view of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 17 (3), 332-338.
- Dudley, G., A. & Djamil, R. (1985) Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *Journal of Applied Physiology*. 59 (5), 1446-1451.
- Durnin, J. & Womersley, Y. (1967) Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 ages. *British Journal of Nutrition*. 32, 77-97.
- Enoka, R., M. (1988) Muscle strength and its development, new perspectives. *Sports Medicine*. 6, 146-168.

- Enoka, R., M. (1994) *Neuromechanical basis of kinesiology*. (second edit.). Human Kinetics.
- Espenschade, A. & Eckert. (1974) Motor development. In: Johnson, W. & Buskirk, E. *Medicine and Science of Exercise and Sport*, 322-333. Harper and Row, Publishers, New York.
- Faigenbaum, A., Kraemer, W., Cahill, B., Chandler, J., Dziados, J., Elfrink, L., D., Forman, E., Gaudiose, M., Micheli, L., Nitka, M. & Roberts, S. (1996) Youth resistance training: Position statement paper and literature review. *Strength and Conditioning*. 18, 62-75.
- Faigernbaum, A., D. (2000) Strength training for children and adolescents. *Clinics in Sports Medicine*. 19 (4), 593-619.
- Ferguson, S., Gledhill, N., Jamnik, V., K., Wiebe, C. & Payne, N. (2001) Cardiac performance in endurance-trained and moderately active young women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33 (7), 1114-1119.
- Freund, H., J. (1983) Mot or unit and muscle activity in voluntary motor control. *Physiological Reviews*. 63 (2), 387-436.
- Gollhofer, A., Komi, P., V., Fujitsuka, N. & Miyashita, M. (1987) Fatigue during stretch-shortening cycle exercises. II. Changes in neuromuscular activation patterns of human skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine*. 8, 38-47.
- Gravelle, B., L. & Blessing, D., L. (2000) Physiological adaptation in women concurrently trainig for strength and endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (1), 5-13.
- Green, H., J. (1987) Neuromuscular aspects of fatigue. *Canadian Journal of Sports Science*. 12, 7-19.
- 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.
- Green, S. (1994) A definition and systems view of anaerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology*. 69, 168-173.
- Guyton, A., C. & Hall, J., E. (1996) *Textbook of medical physiology*, W.B. Saunders Company. USA.
- Hagerman, F., C. (1992) Energy metabolism and fuel utilization. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24(9), S309-S314.

- Hallen, J. (1993) Testing av aerob energiomsetning. *Tidsskrift for den Norske Laegeforening*. 113(5), 587-590.
- Hennessy, L., C. & Watson, A., W., S. (1994) The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 8 (1), 12-19
- Hickson, R., C. (1980) Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology*. 45, 255-263.
- Hickson, R., C., Rosenkoetter, M., A. & Brown. M., M. (1980) Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 12 (5), 336-339.
- Hickson, R., C., Dvorak, B., A., Gorostiaga, E., M., Kurowski, T., T. & Foster, C. (1988) Potential for strength and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*. 65 (5), 2285-2290.
- 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, 84-138.
- Hoff, J. & Helgerud, J. (2004) Endurance and strength training for soccer players. *Sports Medicine*, 34 (3), 165-180.
- Hunter, G., Demment, R. & Miller, D. (1987) Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 27 (3), 269-275.
- Häkkinen, K., Komi, P., V. & Alen, M. (1985) Effects of explosive type strength training on isometric force- and relaxation time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125, 587-600.
- Häkkinen, K. (1989) Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 29 (1), 9-26.
- Häkkinen, K., Mero, A. & Kauhanen, H. (1989) Specificity of endurance, sprint and strength training on physical performance capacity in young athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 29 (1), 27-35.
- Häkkinen, K. (1990) Voimaharjoittelun perusteet; vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi. Gummerus Oy, Jyväskylä.

- Häkkinen, K. (1994) Neuromuscular adaptations during strength training, aging, de-training, and immobilization. *Critical Reviews of Physical Rehabilitation and Medicine*. 6, 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., Anton, A., Garrues, M., Ruesta, M. & Gorostiaga, E., M. (2003) Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (1), 129-139.
- Johnston, R., E., Quinn, T., J., Kertzer, R. & Vroman, N., B. (1997) Strength training in female distance runners: impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 11 (4), 224-229.
- Jung, A., P. (2003) The impact of resistance training on distance running performance. *Sports Medicine*. 33(7), 539-552.
- Klausen, K., Andersen, L.B. & Pelle, I. (1981) Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and de-training. *Acta Physiologica Scandinavica*. 113 (1), 9-16.
- Komi, P., V. (1986) Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*. (suppl) 7:10.
- Komi, P., V. (2000) Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33, 1197-1206.
- Leveritt, M., Abernethy, P., J., Barry, B., K. & Logan, P., A. (1999) Concurrent strength and endurance training. *Sports Medicine*. 28(6), 413-427.
- Malina, R., M. (1994) Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exercise and Sport Science reviews*. 22, 389-434.
- Marcinik, E., J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P. & Hurley, F. (1991) Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23 (6), 739-743.
- McArdle, W., D., Katch, F., I. & Katch, V., L. (1996) *Exercise physiology, energy, nutrition and human performance* (fourth edit.). Williams & Williams.

- 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.
- Mero, A., Vuorimaa, T. & Häkkinen, K. (1990). *Lasten ja nuorten harjoittelu*. Jyväskylä: Mero Oy.
- Mikkola, J., Rusko, H., Kraemer, E., Gorostiaga, E., Izquierdo, M. & Häkkinen, K. (2004) (abstrakti) 4th International conference on strength training. *Book of Abstracts*. SerresGreece, november 3-7, 303-305.
- Millet, G., P., Jaouen, B., Borrani, F. & Candau, R. (2002) Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34 (8), 1351-1359.
- Miyatani, M., Kanehisa, H., Ito, M., Kawakami, Y. & Fukunaga, T. (2004) The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *European Journal of Applied Physiology*. 91 (2-3), 264-272.
- Montoye, H. & Lamphiear, D. (1977) Grip and arm strength in males and females aged 10 to 69. *Research Quarterly*. 48, 109-120.
- Noakes, T., D. (1998) Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints: a rebuttal. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30(9), 1381-1398.
- Noakes, T., D. (1991) *Lore of running*. Leisure Press, Champaign, IL, USA
- Østerås, H., Helgerud, J. & Hoff, J. (2002) Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *European Journal on Applied Physiology*, 88, 255-263.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K. & Rusko, H. (1991) Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 251-255.
- Paavolainen, L., Nummela, A., Rusko, H. & Häkkinen, K. (1999a) Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. *International Journal of Sports Medicine*. 20, 516-521.

- 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.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela A. & Rusko, H. (1999c) Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*. 86 (5), 1527-1533.
- Palmer, C., D. & Sleivert, G., G. (2001) Running economy is impaired following a single bout of resistance exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 4 (4), 447-459.
- Sale, D., G. (1988) Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20 (5), 135-145.
- Sale, D., G., Jacobs, I., Macdougall, J., D. & Garner, S. (1990) Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22 (3), 348-356.
- Sale, D. (1991) Neural adaptation to strength training. In: *Strength and Power in Sports, The Encyclopedia of Sports Medicine*, Komi, P. (ed.), Blackwell, Oxford, 249-265.
- Scott, B., K. & Houmand, J., A. (1994) Peak running velocity is highly related to distance running performance. *International Journal of Sports Medicine*. 15(8), 504-507.
- 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.
- Tanaka, H. & Swenswn, T. (1998) Impact of resistance training on endurance performance. *Sports Medicine*, 25 (3), 191-200.
- Tanner, J., M. (1962) *Growth of adolescence*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Tanner, J., M. (1980) *Some Methodological problems in the analysis of human growth*. Raven Press, New York.
- Tanner, J., M. (1981) *A history of the study of human growth*. Cambridge University Press, London.
- Viitasalo, J., T., Luhtanen, P., Mononen, H., V., Norvapalo, K., Paavolainen, L. & Salonen, M. (1997) Photocell contact mat; a new instrument to measure con-

tact and flight times in running. *Journal of Applied Biomechanics*. 13 (2), 254-266.

Wilmore, J. & Costill, D. (1994) *Physiology of sport and exercise*. Champaign (IL): Human Kinetics.

Wilmore, J., H., Stanforth, P., R., Gagnon, J., Rice, T., Mandel, S., Leon, A., S., Rao, D., C., Skinner, J., S. & Bouchard, C. (2001) Heart rate and blood pressure changes with endurance training: The heritage family study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33 (1), 107-116.

Åstrand, P-O. & Rodahl, K. (1986) *Textbook of work physiology, physiological bases of exercise*. McGraw-Hill Book Company, USA.