

**URHEILIJAN SYDÄMEN KOON MUUTOKSET KOLMEN VUODEN
KESTÄVYYSHARJOITTELUN AIKANA NUORILLA HIIHTÄJILLÄ**
Kaikukardiografinen tutkimus

MARGAREETTA TUMMAVUORI

Lisensiaattityö

kevät 1997

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Tämän kaikukardiografisen pitkittäistutkimuksen tarkoituksena oli tutkia, miten kolmen vuoden kestävyysharjoittelu vaikuttaa nuorten (15.6 ± 0.7 vuotta) murto-maahiihtäjien sydämen rakenteeseen ja toimintaan. Tutkimuksessa selvitettiin myös, miten lähtötaso (sydämen vasemman kammion loppudastolinen läpimitta = end-diastolic diameter = EDD) ja laji+kilpailukauden harjoittelu vaikuttavat sydämen adaptaatioon. Kontrollihenkilöt olivat koulupoikia (16.1 ± 1.4 vuotta), jotka eivät harrastaneet kilpaurheilua. Kaikukardiografiset tutkimukset tehtiin levossa vasemmassa kylkiasennossa ja kuormituksessa polkupyöräergometrillä puoli-istuvassa asennossa (30°). Niitä tehtiin kolmen vuoden aikana kuusi kertaa. Lähtötason vaikutusta tutkittiin jakamalla koehenkilöt ensimmäisen mittauskerran tulosten perusteella "iso- ja pienisydämiin" EDD:n koon mukaan seuraavasti: "isosydämisten" $EDD \geq 5.5$ cm ja "pienisydämisten" $EDD < 5.5$ cm. Laji+kilpailukauden harjoittelun vaikutusta selvitettiin tutkimalla koehenkilöt kahtena peräkkäisenä vuonna sekä laji+kilpailukauden alussa että lopussa. Sekä koe- että kontrollihenkilöille tehtiin jokaisella mittauskerralla ortostaattinen syke- ja verenpainereaktiomittaus ja määritettiin maksimaalinen hapenotto juoksumatolla suoritetusta kuormitustestistä.

Kolmen vuoden aikana hiihtäjien maksimaalinen hapenotto parani 4.6 ± 0.5 l · min⁻¹ :sta 5.1 ± 0.6 l · min⁻¹ :aan ($p < 0.001$) ja kontrollihenkilöiden 3.5 ± 0.4 l · min⁻¹ :sta 3.9 ± 0.5 l · min⁻¹ :aan ($p < 0.001$). Hiihtäjien maksimaalinen hapenotto, josta oli eliminoitu koon erot ja muutokset, parani eniten ensimmäisen vuoden aikana (274.5 ± 11.6 ml · kg^{-2/3} · min⁻¹ :sta 286.9 ± 19.8 ml · kg^{-2/3} · min⁻¹ :aan, $p < 0.01$). Hiihtäjien teoreettinen maksimaalinen hapenotto ($VO_{2\max}$ demand) parani jokaisella mittauskerralla lähtöarvoihin nähden ($p < 0.001$) ja kontrollihenkilöiden hapenotto lähtöarvoihin nähden eniten kahden vuoden jälkeen ($p < 0.001$). Hiihtäjien harjoitteluun käytetyt kilometrit ($p < 0.05$) ja tunnit ($p < 0.01$) lisääntyivät tutkimusjakson aikana.

EDD kasvoi lähes yhtä paljon sekä hiihtäjillä (5.56 ± 0.34 cm:stä 5.87 ± 0.41 cm:iin, $p < 0.001$) että kontrollihenkilöillä (5.23 ± 0.37 cm:stä 5.58 ± 0.49 cm:iin, $p < 0.05$) kolmen vuoden aikana. Hiihtäjien EDD oli suurempi kuin kontrollihenkilöiden tutkimuksen alussa ($p < 0.05$) ja ensimmäisen vuoden jälkeen ($p < 0.05$). EDD kasvoi molemmilla ryhmillä kahden ensimmäisen vuoden aikana lähtötilanteeseen nähden ($p < 0.001$) ja pysyi viimeisen vuoden aikana muuttumattomana. Kun EDD normalisoitiin koe- ja kontrollihenkilöiden pituudella, oli hiihtäjillä kontrollihenkilöitä suurempi EDD tutkimuksen alussa ja kahden vuoden jälkeen ($p < 0.05$).

Vasemman kammion diastolisissa seinämäpaksuuksissa havaittiin yhdysvaikutus ($p < 0.01$): kammioiden väliseinämä diastolisessa vaiheessa (septal wall thickness in diastole = SWTd) kasvoi kontrollihenkilöillä 0.75 ± 0.07 cm:stä 0.88 ± 0.07 cm:iin ($p < 0.01$), mutta pysyi lähes muuttumattomana hiihtäjillä. Hiihtäjien SWTd:n arvo 0.89 ± 0.05 cm oli suurin kahden vuoden jälkeen. Vasemman kammion takaseinämä diastolisessa vaiheessa (posterior wall thickness in diastole = PWTd) kasvoi kontrollihenkilöillä kolmen vuoden aikana 0.78 ± 0.05 cm:stä 0.86 ± 0.06 cm:iin

($p < 0.01$), mutta hiihtäjillä vain kahtena ensimmäisenä vuonna 0.84 ± 0.05 cm:stä 0.90 ± 0.06 cm:iin ($p < 0.01$).

Vasemman kammion massa (left ventricular mass = LVM) kasvoi kontrollihenkilöillä kolmen vuoden aikana 139.9 ± 25.3 g:sta 183.8 ± 31.5 g:aan ($p < 0.001$). Hiihtäjien LVM kasvoi kahtena ensimmäisenä vuonna 173.7 ± 18.5 g:sta 206.6 ± 25.6 g:aan ($p < 0.001$). Hiihtäjien LVM oli suurempi kuin kontrollihenkilöiden ($p < 0.001$) viimeistä mittauskertaa lukuunottamatta. Hiihtäjien maksimaalinen hapenotto korreloi EDD:n kanssa kolmella ensimmäisellä mittauskerralla. Hiihtäjillä oli PWTd:n ja systolisen lepoverenpaineen erotusmuuttujien välillä positiivinen riippuvuussuhde ($PWTd = 0.0058 \cdot \text{systolinen verenpaine, lepo} + 0.01$, $r = .55$, $p < 0.05$).

Kuormituksessa (100 W) hiihtäjien EDD kasvoi lähtöarvoihin nähden kahden ja kolmen vuoden jälkeen ($p < 0.01$) ja kontrollihenkilöiden (50 W) jokaisella mittauskerralla ($p < 0.05 - 0.001$). Hiihtäjillä maksimaalinen hapenotto korreloi EDD:n kanssa ($r = .55 - .78$, $p < 0.05 - 0.01$) kolmella ensimmäisellä mittauskerralla. Kontrollihenkilöillä EDD korreloi negatiivisesti ortostaattisen leposykkeen kanssa ($r = -.75$, $p < 0.001$) ja seisoen mitatun sykkeen kanssa viimeisellä mittauskerralla ($r = -.58$, $p < 0.05$). EDD:ssä ei levon ja kuormituksen välillä ollut eroja kummallakaan ryhmällä.

Iso- ja pienisydämisten hiihtäjien maksimaalinen hapenotto ($l \cdot \text{min}^{-1}$) kasvoi lähtötasoon verrattuna jokaisella mittauskerralla ($p < 0.05 - 0.01$). Tutkimuksen lopussa pienisydämiset saavuttivat isosydämisten lähtöarvot. Isosydämisten EDD oli tutkimuksen alussa 5.79 ± 0.23 cm ja lopussa 6.06 ± 0.37 cm ($p < 0.05$) ja pienisydämisten vastaavasti 5.28 ± 0.21 cm ja 5.63 ± 0.34 cm ($p < 0.01$). EDD oli isosydämisillä hiihtäjillä koko tutkimuksen ajan suurempi kuin pienisydämisillä hiihtäjillä ($p < 0.05 - 0.001$). Isosydämisten hiihtäjien LVM suureni kahden vuoden aikana 181.7 ± 18.0 ml:sta 215.4 ± 26.5 ml:aan ($p < 0.05$) ja pienisydämisten hiihtäjien 163.4 ± 14.4 ml:sta 195.3 ± 21.0 ml:aan ($p < 0.001$).

Laji+kilpailukauden alun ja lopun tuloksia tarkasteltaessa todettiin, että suurin osa sekä maksimaalisen hapenoton että kaikukardiografisten tulosten muutoksista tapahtui ensimmäisen vuoden aikana. Tulokset pysyivät toisena vuonna pääosin muuttumattomina tai pyrkivät jopa pienenemään. Ensimmäisenä vuonna EDD (5.68 ± 0.41 cm:stä 5.84 ± 0.45 cm:iin, $p < 0.01$) ja LVM (186 ± 25.4 ml:sta 202.6 ± 26.1 ml:aan, $p < 0.001$) kasvoivat. Lähes kaikissa kaikukardiografisissa muuttujissa olivat toisen vuoden laji+kilpailukauden lopun tulokset pienempiä kuin ensimmäisen vuoden vastaavan ajankohdan tulokset. Kuormituksessa (50 W ja 100 W) kaikukardiografisia muutoksia tapahtui vähän, ja kaikki muutokset olivat havaittavissa ensimmäisenä vuonna. Harjoittelu lisääntyi vuoden aikana laji+kilpailukaudella kilometrien ($p < 0.05$), tuntien ($p < 0.05$) ja harjoittelukertojen ($p < 0.01$) osalta.

Avainsanat: kaikututkimus, urheilijan sydän, kestävyysharjoittelu, murtomaahiihtäjät, polkupyöräergometrikuormitus, harjoittelukaudet, maksimaalinen hapenotto

KIIITOKSET

Opetusministeriön apulaisprofessori Heikki Ruskolle Jyväskylän yliopiston liikunta-biologian laitokselle myöntämä monivuotinen apuraha “Sydämen hypertrofian - urheilijan sydämen - kehittyminen nuorilla kestävyysurheilijoilla: 5 vuoden seurantatutkimus” - tutkimusprojektiin mahdollisti minulle tämän tutkimuksen tekemisen. Kun Heikki Rusko siirtyi Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen (KIHUn) johtajaksi, jatkoin urheilijan sydämen tutkimista siellä hänen ohjauksessaan.

Suurimmat kiitokset tämän työn valmistumisesta ansaitsee Heikki Rusko, joka näiden monien vuosien aikana varmaan useasti menetti toivonsa tämän työn suhteen. “Deadline” saa ihmeitä aikaan. “I did it!” Kiitos Heikki!

Erityiskiitokset ansaitsee ylilääkäri, ortopedian ja traumatologian erikoislääkäri Ilkka Tulikoura Helsingin Diakonissalaitoksen urheilulääketieteen osastolta. Kiitokset suuresta avusta saa myös kliinisen fysiologian ja liikuntalääketieteen erikoislääkäri Heikki Tikkanen KIHU/Helsingin Diakonissalaitoksen urheilulääketieteen osastolta. Haluan kiittää myös Risto Toivosta Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellisestä tiedekunnasta tietokoneohjelman kehittämistä kaikukardiogrammien analysoimiseksi ja Harri Monosta KIHUsta digitoitujen tulosten taulukkomuotoon saattamisesta.

Lisäksi kiitän seuraavia henkilöitä: Ismo Hämäläistä, Tapani Kerästä, Reino Kärkkäistä, Raija Leinosta, Antti Leppävuorta, Pekka Luhtasta, Kaisu Monosta, Jouni Mutkaa, Ari Nummela, Leena Paavolaista, Hannele Penttistä, Pekka Rahkosta, Matti Salosta, Ursula Salosta, Marko Sinisaloa, Harri Sopoa, Liisa Tiusasta, Arja Uusitalo-Koskista, Pekka Vähäsöyrinkiä, Ilkka Väänästä ja Teuvo Ylikoskea.

Suurimman “työn” tämän tutkimuksen onnistumiseksi ovat tehneet koe- ja kontrollihenkilöt, jotka vuosikausia ovat jaksaneet olla mukana tässä tutkimuksessa, ja he saavatkin todella “pitkäaikaiset” kiitokset.

Lopuksi tärkeimmät kiitokset ansaitsevat Jouni ja Toni, jotka ovat mahdollistaneet tämän työn tekemisen ja ovat sen vuoksi joutuneet olemaan paljon kahdestaan ja tehneet monta mökkireissua kaksissa miehin. Korvissani kuuluvat poikani Tonin useasti sanomat sanat: “Älä äiti vouhota” ja mieheni Jounin kysymys:”Missäs vaiheessa se työ on?” Vouhotus ja vaiheet ovat nyt loppu...

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

KIITOKSET

ABSTRAKTIT

LYHENTEET

1 JOHDANTO.....	1
2 KIRJALLISUUSKATSAUS.....	3
2.1 Urheilijan sydän.....	3
2.2 Sydänlihassolun sähköiset ominaisuudet.....	5
2.3 Sydämen toiminnan säätely.....	6
2.4 Sydänlihaksen supistusmekanismi	8
2.5 Sydämen läpi virtaama verimäärä.....	11
2.6 Kaikukardiografiset tutkimukset.....	13
2.6.1 Kaikukardiografia lapsilla.....	13
2.6.2 Kaikukardiografia nuorilla.....	14
2.6.3 Kaikukardiografiset poikittaistutkimukset aikuisilla.....	15
2.6.4 Kaikukardiografiset pitkittäistutkimukset aikuisilla.....	20
2.6.5 Kuormituskaikukardiografia.....	21
2.6.6 Perimä.....	23
2.6.7 Yhteenveto kaikukardiografisista tutkimuksista.....	24
3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	27
4 TUTKIMUKSEN HYPOTEESIT.....	27
5 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	27
5.1 Koehenkilöt.....	27
5.2 Kontrollihenkilöt.....	28
5.3 Tutkimuksen koeasetelmat.....	28
5.3.1 Vuosittaiset muutokset.....	28
5.3.2 Hiihtokausittaiset muutokset.....	29
5.4 Mittausmenetelmät.....	30
5.4.1 Antropometriset mittaukset.....	30
5.4.2 Ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio.....	30
5.4.3 Fyysisen suorituskyvyn mittaukset.....	31
5.4.4 Koehenkilöiden harjoittelu.....	32
5.4.5 Kontrollihenkilöiden fyysinen aktiivisuus.....	32
5.4.6 Kaikukardiografiset mittaukset.....	33
5.4.6.1 Kaikukardiogrammien analysointi.....	33
5.4.6.2 Kaikukardiografiset muuttujat.....	35
5.5 Tilastotieteelliset menetelmät.....	36
6 TULOKSET.....	37
6.1 Vuosittaiset muutokset hiihtäjillä ja kontrollihenkilöillä.....	37
6.1.1 Antropometriset mittaukset ja ortostaattinen syke ja verenpainereaktio.....	37
6.1.2 Maksimaalinen hapenotto.....	38

6.1.3 Hiihtäjien harjoittelu.....	38
6.1.4 Kontrollihenkilöiden fyysinen aktiivisuus.....	40
6.1.5 Lepokaikukardiografiset tulokset.....	41
6.1.6 Kuormituskaikukardiografiset tulokset.....	46
6.1.7 Lepo- ja kuormituskaikukardiografian väliset erot.....	47
6.2 Vuosittaiset muutokset iso- ja pienisydämisillä hiihtäjillä.....	50
6.2.1 Antropometriset mittaukset ja ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio.....	50
6.2.2 Maksimaalinen hapenotto ja harjoittelu.....	50
6.2.3 Lepokaikukardiografiset tulokset.....	51
6.3 Laji+kilpailukauden muutokset hiihtäjillä.....	57
6.3.1 Antropometriset mittaukset ja ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio.....	57
6.3.2 Maksimaalinen hapenotto.....	57
6.3.3 Hiihtäjien harjoittelu.....	58
6.3.4 Lepokaikukardiografiset tulokset.....	58
6.3.5 Kuormituskaikukardiografiset tulokset.....	60
7 POHDINTA.....	64
7.1 Sydämen rakenteelliset muutokset.....	65
7.2 Maksimaalinen hapenotto ja yhteydet sydämen kokoon.....	68
7.3 Sydämen toiminnalliset muutokset kuormituksessa.....	71
7.4 Sydämen rakenteelliset muutokset iso- ja pienisydämisillä hiihtäjillä.....	72
7.5 Sydämen rakenteelliset ja toiminnalliset muutokset laji+kilpailu- kaudella.....	73
8 YHTEENVETO.....	76
8.1 Yleistä.....	76
8.2 Yhteenveto hypoteeseistä.....	79
ABSTRAKTIT	
LÄHTEET	
LIITTEET	

ABSTRAKTIT

1. Tummavuori, M. (1991) Kestävyysharjoittelu ja nuoren urheilijan sydän. Suomen Olympiakomitea, Urheilulääkäriseminaari, Varalan Urheiluopisto, Tampere, Muistio 9106: 19-24.
2. Tummavuori, M., Rusko, H. and Kärkkäinen, R. (1992) The impact of short- and long-term endurance training on the echocardiographic dimensions of young athletes. Olympic Scientific Congress, Benalmadena, Spain, Vol. 2: Med-3.
3. Tummavuori, M. & Rusko, H. (1993) Development of the athlete's heart during three years' training in young cross-country skiers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: S132.
4. Tummavuori, M. & Rusko, H. (1993) Echocardiographic changes during two skiing seasons in young cross-country skiers. FIMS 7th European Sports Medicine Congress, Nicosia, Kypros. PD42, 217.
5. Tummavuori, M. & Rusko, H. (1993) Urheilijan sydämen kehittyminen kolmen vuoden harjoittelun aikana nuorilla murtomaahiihtäjillä. Suomen Liikuntalääketieteen päivät, Helsinki.
6. Tummavuori, M. & Rusko, H. (1994) Echokardiografiset muutokset kahden hiihtokauden aikana nuorilla murtomaahiihtäjillä. Kansallinen huippuvalmennuskongressi, Jyväskylä. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen julkaisuja 1/1994, p 141.
7. Tummavuori, E.A.M. & Rusko, H.K. (1994) The influence of the initial heart size on the development of the athlete's heart. *Med. Sci Sports Exerc.* 26: S182.
8. Tummavuori, M. & Rusko, H. (1994) Echocardiographic changes during three years in young cross-country skiers. International conference "Current Research into Sciences", St. Petersburg, Russia, p 24.
9. Tummavuori, M. & Rusko, H. (1994) Development of the athlete's heart during five years' training in young athletes. International Congress on Applied Research in Sports, Helsinki, Finland. Abstract: p. 40, Proceedings p. 271-274.
10. Rusko, H. & Tummavuori, M. (1994) Echocardiographic changes during five years in young cross-country skiers. XXV FIMS World Congress of Sports Medicine, Athens, Crece, p. 61.
11. Tummavuori, M. & Rusko, H. (1995) Maximum oxygen uptake and the development of the athlete's heart. Third IOC World Congress on Sport Sciences, Congress Proceedings, Atlanta, GA, USA, p. 356.

LYHENTEET

BSA = body surface area = kehon pinta-ala

EDD = end-diastolic diameter = vasemman kammion loppudiasolinen läpimitta

EDV = end-diastolic volume = vasemman kammion loppudiasolinen tilavuus

EF = ejection fraction = ejektiofraktio

EKG = elektrokardiogrammi

ESD = end-systolic diameter = vasemman kammion loppusystolinen läpimitta

ESV = end-systolic volume = vasemman kammion loppusystolinen tilavuus

FS = fractional shortening = vasemman kammion prosentuaalinen systolinen lyhenemä

HCM = hypertrophic cardiomyopathy = hypertrofinen kardiomyopatia

HI = hypertrophy index = hypertrofia-indeksi

IC = index of contractility = kontraktiliteetti-indeksi

LVM = left ventricular mass = vasemman kammion massa

MWTd = mean wall thickness in diastole = seinämien keskimääräinen paksuus
diastolisessa vaiheessa

MRI = magnetic resonance imaging = magneettikuvaus

PWTd = posterior wall thickness in diastole = vasemman kammion takaseinämän
paksuus diastolisessa vaiheessa

RQ = respiratory quotient = hengitysosamäärä

SD = stroke dimension = iskudimensio

SV = stroke volume = iskuutilavuus

SWTd = septal wall thickness in diastole = kammioiden väliseinämän paksuus
diastolisessa vaiheessa

Vcf = rate of circumferential shortening = kammion lihassäikeen kehäsupistusnopeus

VE = ventilation = ventilaatio

WS = wall stress-indeksi

% O₂ = happiprosentti

% CO₂ = hiilidioksidiprosentti

1 JOHDANTO

Urheilijan sydämen kaikukardiografiset tutkimukset ovat osoittaneet, että vasemman kammion diastolinen läpimitta on kasvanut ja seinämät paksuuntuneet (Bekaert ym. 1981, DeMaria ym. 1978, Douglas ym. 1986, Fagard ym. 1984, Fisher ym. 1989, Maron 1986, Nishimura ym. 1980, Rost 1982). Poikittaistutkimuksista on selvinnyt, että urheilulaji on vaikuttanut sydämen kokoon ja että suurimmat sydämen dimensiot on havaittu pyöräilijöillä, soutajilla ja melojilla (Cohen & Segal 1985, Colan ym. 1985, Keul ym. 1981, Morganroth ym. 1975, Pelliccia 1996, Pelliccia ym. 1995, Pelliccia ym. 1991, Snoeckx ym. 1982, Spirito ym. 1994). Kestävyysurheilijoille tehdyissä kaikukardiografisissa pitkittäistutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia: vasemman kammion loppudiastolinen läpimitta ja seinämät ovat muuttuneet merkittävästi, vähäisesti tai eivät ollenkaan. Tutkimusten seuranta-aika on kuitenkin ollut lyhyt, mikä on voinut vaikuttaa tuloksiin (Bienmüller ym. 1982, Fagard ym. 1983, Lehmann ym. 1990, Ricci ym. 1982, Snoeckx ym. 1983, Wieling ym. 1981).

On havaittu, että jopa 8-11 -vuotiaille urheilijoille voi kehittyä nopeasti urheilijan sydän, jos harjoitellaan paljon (Rost & Hollmann 1983). On osoitettu, että intensiivisesti harjoitteleiden lasten vasemman kammion läpimitta ja seinämäpaksuudet ovat suuremmat kuin samanikäisten kontrollihenkilöiden (Drescher ym. 1986, Hollmann ym. 1986, Medved ym. 1986, Rowland ym. 1987). On esitetty myös päinvastaisia tutkimustuloksia, joissa ei ole eroja harjoitteleiden ja harjoittelemattomien lasten välillä (Gutin ym. 1985, Rowland ym. 1994, Telford 1988). Suomalaisten 15-17 -vuotiaiden hiihtäjäpoikien vasemman kammion massan ja maksimaalisen hapenkulutuksen välinen korrelaatio on osoittautunut suuremmaksi kuin 12-14 -vuotiaiden poikien (Pekkarinen 1986, 152). Maksimaalisen hapenoton ja röntgenkuvista lasketun sydämen tilavuuden on havaittu lisääntyneen suomalaisilla hiihtäjillä 15:n ja 20:n ikävuoden välillä, ja huomattavimmat muutokset sydämen tilavuudessa sekä absoluuttisesti että suhteellisesti ilmaistuna on havaittu 16-18 vuoden iässä (Rusko 1987).

Koska kaikukardiografialla saadaan tarkkaa tietoa sydämen onteloista ja seinämistä, heräsi mielenkiinto tutkia nuorten kestävyysurheilijoiden sydämen kehittymistä. Kestävyysharjoitteluhan tulee intensiivisemmäksi ja harjoittelu muuttuu vakavammaksi ja säännöllisemmäksi juuri puberteetin jälkeen. Tämä tutkimus on osa viiden vuoden seurantatutkimusta "Sydämen hypertrofian - urheilijan sydämen - kehittyminen nuorilla kestävyysurheilijoilla", johon opetusministeriö on myöntänyt monivuotisen apurahan.

Aikaisemmin ei ole tehty kaikukardiografista pitkäaikaisesta tutkimuksesta, jossa koehenkilöinä olisi ollut maan parhaita poikahiihtäjiä ja seuranta-aika olisi ollut niin pitkä kuin tässä tutkimuksessa eli kolme vuotta. Saatavilla tuloksilla tulee olemaan valmennuksellista merkitystä murtomaahiihdon harjoittelun kannalta. Tulokset tulevat myös kertomaan, onko sydämen dimensioiden ja maksimaalisen hapenoton välillä yhteyttä. Kuormituskaikukardiografiset tulokset kertovat, kuinka sydän käyttäytyy kuormituksessa ja antaa viitteitä sydämen toiminnasta itse kilpailutilanteessa. Mielenkiintoista on myös selvittää, onko lähtötilanteessa "pienisydäminen" hiihtäjä myös kolmen vuoden harjoittelun jälkeen pienisydäminen ja jatkaako lähtötilanteessa "isosydäminen" hiihtäjän sydän laajenemistaan. Hiihtäjien harjoittelun vaikutuksista urheilijan sydämeen eri harjoituskausilla tulee antamaan tietoa kahden peräkkäisen vuoden laji+kilpailukauden kaikukardiografiset tulokset.

Tämän kaikukardiografisen pitkäaikaisesta tutkimuksen tavoitteena on tutkia, miten ns. urheilijan sydän kehittyy kolmen vuoden kestävyysharjoittelun aikana hiihtäjillä, joiden ikä tutkimuksen alussa on 16 vuotta. Myös lähtötason (sydämen vasemman kammion loppudistastolinen läpimitta) vaikutusta sydämen adaptaatioon tutkitaan ja lisäksi selvitetään laji+kilpailukauden harjoittelun vaikutusta sydämen rakenteeseen ja toimintaan.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Urheilijan sydän

Urheilijan sydän (= athlete's heart (AH)) on yksi vanhimmista ja stimuloivimmista urheilulääketieteen tutkimusaiheista. Ensimmäisenä urheilijan sydäimestä on maininnut Henschen v. 1899, kun hän perkussiomenetelmällä löysi laajentuneen sydämen tutkiessaan murtomaahiihtäjää (Henschen 1899). Kaufmanin (1933) ja Lysholmin ym. (1934) mukaan urheilijan sydäntä edeltää sydämen heikkous ja sen kehittyminen perustuu Starlingin lakiin (ks. s. 8-9). Kirchin (1935 ja 1936) ruumiinavaustulosten perusteella sydämen seinämien paksuuntuminen on seurausta fyysisestä harjoittelusta. Toisaalta Aschoff (1928) on todennut, että sydämen laajeneminen ei perustu adaptaatiomekanismiin, vaan on seurausta yleisestä fyysisestä kuntoutumisesta. Vielä vuonna 1972 väitettiin, että urheilijan sydän on seurausta reumaattisesta, syfilisestä tai synnynnäisestä sydänsairaudesta (Rost 1990). Rohrer (1916), Kahlstorf (1933) ja Kjellberg ym. (1949) käyttivät radiologista sydämen tilavuuden mittaamenetelmää. Reindell ym. (1960) mittasivat radiologisen tutkimuksen lisäksi maksimaalisen hapenoton ja löysivät suurimmat sydämet kestävyysurheilijoilta.

Uudet sydämen tutkimusmenetelmät, mm. kaikukardiografia ja MRI, ovat lisänneet kiinnostusta urheilijan sydämen tutkimiseen (Fleck ym. 1989, Maron ym. 1980, Morganroth ym. 1975, Rost 1990). Kaikukardiografialla saadaan tarkempaa tietoa harjoittelun vaikutuksista sydämeen, ja se myös tuo uusia aspekteja seinämien paksuuntumisen patologisista muodoista kuten hypertrofisesta kardiomyopatiasta (HCM). Maron ym. (1980) ovat esittäneet HCM:n pääsyyksi urheilijoiden äkilliseen kuolemaan. Onko mahdollista, että fysiologinen seinämien paksuuntuminen "suosii" patologisten muotojen kehittymistä (Rost 1990)? On kuitenkin jokseenkin vaikeaa erottaa fysiologista seinämien paksuuntumista alkavasta kardiomyopatiasta etenkin, jos samanaikaisesti EKG:ssä on nähtävissä repolarisaatiossa epänormaalisuuksia, joita on myös urheilijoilla (Rost 1990).

Sydänlihaksessa voi siis tapahtua joko patologista tai fysiologista seinämien paksuuntumista. Fysiologiseen seinämien paksuuntumiseen liittyy normaali tai tehostunut supistustoiminta ja lihaksen maksimaalinen lyhenemisnopeus on normaali tai kohonnut. Patologisessa seinämien paksuuntumisessa supistuvuus ja lihaksen lyhenemisnopeus ovat alentuneet, vasemman kammion toiminta on epänormaali diastolen aikana, seinämien paksuuntuminen on epäsymmetristä ja kammion koko pieni. Urheilijan sydämen toiminnassa kammion täyttymisnopeus ja -aika ovat normaalit. (Granger ym. 1985, Pluim ym. 1996, Shapiro 1987, Wikman-Coffelt ym. 1979.) Tosin on osoitettu, että vanhempien ammattilaispyöräilijöiden vasemman kammion toiminta on alentunut, mikä saattaa merkitä, että vuosia kestävä äärimmäisen kova fyysinen harjoittelu on todellakin vaikuttanut negatiivisesti sydämeen. Se ilmenee palautumattomana vasemman kammion seinämien paksuuntumisena ja heikentyneenä vasemman kammion täyttymisenä. (Miki ym. 1994, Nishimura ym. 1980.)

Sydänlihaksen fysiologinen seinämien paksuuntuminen on adaptaatiomekanismi, joka on vaste sydämen kohonneeseen hemodynaamiseen kuormitukseen (Granger ym. 1985, Morgan & Baker 1991). Sydämen seinämien paksuuntuminen on solunsisäisen rakenteen liikakasvua (Karpman 1987, 89). Sydänlihaksen seinämien paksuuntumiseen vaikuttavat painetyö, tilavuustyö ja venytys sekä neuraalinen kontrollijärjestelmä ja hormonaaliset tekijät (Shephard 1996). Sydänlihaksen seinämien paksuuntumisprosessia aktivoi joko korkea systolinen kammionpaine tai kammion tilavuuden kasvu, jotka saavat aikaan kohonneen seinämien jännitystilaa sarkomeeria kohti, suuremman lihasfiibereiden venymisen ja edelleen suuremman loppudastolisen sarkomeeripituuden. Näyttäisi siltä, että sydänlihaksen seinämien paksuuntumisen alkuvaiheessa mitokondrioiden määrä ja koko kasvavat, yksittäiset lihasfiiberit suurenevät ja lihasmassa kasvaa. (Morgan & Baker 1991, Wikman-Coffelt ym. 1979.)

Testosteronilla on ratkaiseva vaikutus sydämen seinämien paksuuntumiseen (Virtanen 1985 II, 114). Akuutin voimaharjoittelun (Fry ym. 1990) ja lyhyen intensiivisen

pyöräilyn (Cumming ym. 1986) jälkeen todettiin veren testosteronipitoisuuksien nousevan miesurheilijoilla. Zulianin ym. (1989) tutkimuksessa osoitettiin, että testosteronin ja anabolisten hormonien käyttö ei laajentanut sydäntä. Jo ennen puberteettia sydämen seinämät paksuuntuivat, jos harjoiteltiin riittävän paljon (Rost & Hollmann 1983). Harjoittelu lisäsi myös kasvuhormonin eritystä (Dore ym. 1990), mutta säännöllinen kasvuhormonin antaminen kehonrakentajille ei aiheuttanut muutoksia kaikukardiografisissa mitoissa (Zuliani ym. 1989).

2.2 Sydänlihassolun sähköiset ominaisuudet

Sydänlihassolua ympäröivän fosfolipidikalvon sähköinen vastus on sisä- ja ulkotilaan verrattuna suuri. Kun sydänlihassolu on levossa, natrium- ja kaliumionien vastakkaissuuntaiset liikkeet solukalvon läpi kumoavat toisensa. Solun lepojännite eli solun sisä- ja ulkotilan välinen jännite säilyy vakaana (-80 - -90 mV). Lepojännitteen taso määräytyy K^+ -ionien jakautumisesta soluun ja sen ulkopuolelle. Jos solua ärsytetään niin, että kalvojännite kasvaa tietylle kynnystasolle (-60 - -70 mV), jännite purkautuu nopeasti (depolarisaatio). Tällöin Na^+ -ioneja menee sähkökemiallisen pitoisuuseron johdosta soluun 1-2 ms:n ajan (repolarisaatio). Depolarisaatio ja repolarisaatio muodostavat yhdessä aktiopotentiaalin eli herätejännitteen. Lyhyttä nopeata repolarisaatiota seuraa herätejännitteen tasanne, joka kestää 200-400 ms. Sen aikana Ca^{++} -ioneja ja vähän Na^+ -ioneja menee soluun ja vähän K^+ -ioneja pääsee solusta ulos ja Cl^- -ioneja solun sisään. Kalvon lepojännite palautuu, kun kalsiumin sisäänvirtaus loppuu ja kaliumkanavat avautuvat uudelleen. Repolarisaation lopussa solun ärtyvyys palaa, jolloin uusi ärsyke voi taas purkaa kalvojännitteen. Jaksoa, jolloin ulkoinen ärsyke ei kykene aktivoimaan solua, sanotaan toipumis- eli refraktaariajaksi. (Antoni 1989, Kupari 1994.)

Ennen kuin herätejännite leviää eteisistä kammioihin, tapahtuu yli 1/10 sekunnin viive. Tämä mahdollistaa eteisten supistumisen ennen kammioita ja veren pumppauksen kammioihin ennen voimakasta kammiosupistusta. (James ym. 1982.) Sydänlihaksen

herätejännite kestää yli sata kertaa kauemmin kuin luurankoliuksen tai hermosäikeen herätejännite. Luurankoliuksen herätejännite kestää vain muutaman millisekunnin eikä uusi supistus ala, ennen kuin ärsytysvaihe on melkein ohi. Sydänlihaksen herätejännite loppuu vasta, kun lihaksisto on alkanut rentoutua. Uusi supistus saadaan aikaiseksi uudella ärsykkeellä, joka voi vaikuttaa ainoastaan edellisen ärsyksen loputtua ja tietyn ärsytyksiä vastaanottamattoman vaiheen jälkeen. Sydänlihas, toisin kuin luurankolihas, on kykenemätön reagoimaan nopeaan herätejännitesarjaan yksittäisillä päällekkäisillä supistuksilla tai tetanisaatiolla. (Antoni 1989.)

2.3 Sydämen toiminnan säätely

Sydämen toimintaa säätelevät autonomisen hermoston sympaattiset ja parasympaattiset hermosäikeet, jotka säätelevät syketasoa (kronotrooppinen toiminta), systolista supistumisvoimaa (inotrooppinen toiminta) ja eteiskammiojohtumisen nopeutta (dromotrooppinen vaikutus). Näitä autonomisten hermojen toimintoja sydämessä välittävät kemialliset välittäjäaineet: asetylkoliini parasympaattisessa ja noradrenaliini sympaattisessa järjestelmässä. (Antoni 1989.)

Eteisissä on runsaasti sympaattisia ja parasympaattisia hermosoluja, mutta kammioissa on yksinomaan sympaattisia hermosoluja. Sympaattisten hermosolujen ärsytys vapauttaa katekoliamiineja. Ne kiihdyttävät sinussolmukkeen depolarisaatiota ja saavat sydämen lyömään nopeammin. Katekoliamiinit myös lisäävät sydänlihaksen supistusvireyttä, joka lisää sydäimestä pumpatun veren määrää. Maksimaalinen sympaattinen ärsytys melkein kaksinkertaistaa kammiosupistuksen voiman. Parasympaattisten hermojen ärsytys vapauttaa asetylkoliinia, joka hidastaa sinusrytmiä ja alentaa sykettä. Vaikutus välittyy suurelta osin vagushermoparin toiminnan kautta. (McArdle ym. 1996, 287, 289.)

Paljon harjoitelleiden kestävyysurheilijoiden sydän lyö yleisesti harvaan (bradykardia). Tähän mennessä alhaisin mitattu leposyke on 21 lyöntiä $\cdot \text{min}^{-1}$ (Zeppilli & Venerando

1981). Leposykkeen harvenemisen syitä ei ole täysin ratkaistu. Autonomisen hermoston salpaustutkimuksen tuloksista Ekblom ym. (1973) päättelivät, että parasympaattinen ärsytys sydämessä kasvaa ja sympaattinen ärsytys vähenee. Katona ym. (1982) esittävät, että harjoittelun aikaansaama harvalyöntisyys johtuu yksinomaan vähentyneestä luontaisesta sydämen sykkeestä. Smith ym. (1989) olivat sitä mieltä, että urheilijan sydämen harvalyöntisyys on tulos sekä alemmasta luontaisesta sykkeestä ja muuttuneesta autonomisesta tasapainosta että lisääntyneestä parasympaattisen hermoston dominoivuudesta. On sanottu myös, että harvalyöntisyys aiheutuu urheilijoiden sydämen suuremmasta iskuilavuudesta (Frick ym. 1967, Rost 1990), mutta kuitenkin levossa iskuilavuus ei ole niin paljon suurempi kuin suurentuneen sydämen ja harvalyöntisyyden perusteella voisi olettaa (Rost & Hollmann 1983). Oletetaan, että harvalyöntisyys johtuu kuormituksessa sympaattisen tonuksen vähenemisestä, lepotilassa vagaalisesta tonuksesta (Rost & Hollmann 1983).

Relaksaationopeus kuvaa solun kykyä palata supistumista edeltäneeseen tilaan. Siihen vaikuttavat relaksaation aikainen kuormitus (sarkomeerin venytys) ja miten nopeasti myosiinin ja aktiinin väliset liitokset purkautuvat. Kammion täyttymiskyky, jonka osatekijät ovat sen aktiivinen relaksaatio ja passiivinen venytys, vaihtelee lähinnä suhteessa relaksaationopeuteen. Käytännössä tavallinen ja tärkein muutos on relaksaation kiihtyminen rasitukseen liittyvän sympaattisen ärsytyksen takia. (Kupari 1994.) Fyysinen kuormitus aiheuttaa sydänlihaksen katekoliamiinien stimulaation, joka nopeuttaa sydänlihaksen relaksaatiota (Karpman 1987, 77).

Koska sydänlihas on toiminnallinen solusitkos, supistumisvoimaa ei voida säädellä rekrytoimalla motoristen yksiköitten erilaisia määriä kuten luurankoliuksessa. Sydänlihas supistuu "kaikki tai ei mitään" -periaatteella, jossa kaikki lihasfiiberit osallistuvat jokaiseen tapahtumaan. (Antoni 1989.)

Kestävyysharjoittelussa sydän tekee lähinnä tilavuustyypistä työtä (Rost & Hollmann 1983), joskin pitkäkestoisissa harjoituksissa kammioden verenpaine voi kohota ilman plasman katekoliamiinipitoisuuden kasvua (Keul ym. 1981). Katekoliamiini-

pitoisuuksien kasvu on kuitenkin tavallisesti yhteydessä sydämen lyöntitiheyden, supistusnopeuden ja systolisen verenpaineen kasvun kanssa, mikä osoittaa, että kuormituksen aikana tapahtuvat kardiovaskulaariset muutokset ovat läheisessä yhteydessä sympaattisen järjestelmän aktivaatioon (Cousineau ym. 1977). Plasman katekoliamiinipitoisuuksia voivat kohottaa sekä väsymys pitkäkestoisen submaksimaalisen kestävyysharjoituksen aikana että intervallityyppinen lähes maksimaalinen kestävyysharjoitus (Galbo 1983, Keul ym. 1982, Rogers ym. 1989). Coplan ym. (1989) ovat osoittaneet, että adrenaliini että noradrenaliinimäärät kohoavat 20 minuutin polkupyöräergometrikuormituksen jälkeen ja niiden määrät ovat suuremmat yli laktaattikynnyksen kuin alle laktaattikynnyksen tapahtuneessa kuormituksessa.

2.4 Sydänlihaksen supistusmekanismi

Sydänlihaksen supistumista säätelee neljä selvästi erottuvaa, vaikkakin keskinäisessä riippuvuussuhteessa olevaa tekijää: esikuorma, jälkikuorma, supistusvireys ja syke (James ym. 1982). Esikuorma on tärkein sydänlihaksen vasteita määrittävä tekijä (Karpman 1987, 75). Hirvonen (1988) määrittää esikuorman lihassyihin kohdistuvaksi venytysvoimaksi rentoutuneessa tilassa tai lihasvoimaksi, joka vastustaa venytystä. Frankin vuodelta 1895 ja Starlingin vuodelta 1914 olevat tutkimukset ovat pohjana yleisesti tunnetulle Frank-Starling-mekanismille: vasemman kammion loppu-diastolisen paineen kasvaminen ja sydänlihasfiibereiden pituus ovat suhteessa toisiinsa ts. mitä enemmän veri venyttää sydänlihasta sitä voimakkaammin sydänlihas supistuu ja ejektio on tehokkaampi (Braunwald and Ross jr. 1979, McArdle 1996, 301). Lisääntynyt laskimopaluu tai sykkeen hidastuminen aiheuttaa suuremman kammiotäyttymisen eli esikuorman sydämen syklin diastolisen vaiheen aikana. Loppu-diastolisen volyymin kasvu venyttää sydänlihasfiibereitä ja saa aikaan tehokkaan ejektion sydämen supistuessa. On todennäköistä, että iskutilavuus "hyötyy" tästä, kun mennään levosta rasitukseen tai kun henkilön asento muuttuu pystyasennosta selinmakuuasentoon. Tehostunut diastolinen täyttyminen tapahtuu

esim. uidessa, jossa kehon horisontaalinen asento optimoi sydämeen tulevan verenvirtauksen. (Levine 1993, McArdle ym. 1996, 301.)

Frank-Starling-mekanismia koskevat tulokset ovat ristiriitaisia. Jotkin tutkimustulokset osoittavat, että tavallisilla harjoittelemattomilla henkilöillä mekanismi toimii pienillä kuormilla, mutta ei suurilla (Plotnick ym. 1986, Poliner ym. 1980, Steingart ym. 1984). Weiss ym. (1979) ovat todenneet, että Frank-Starling-mekanismi toimii suurilla kuormilla, mutta ei submaksimaalisissa kuormituksissa, joissa sykkeen nousu lisää minuuttivolyymia. Frank-Starling-mekanismi ei toiminut ei-urheiluvilla koehenkilöillä kohtalaisessa kuormituksessa 14 viikon harjoittelun jälkeen (Stein ym. 1980). Kilpaurheilijoilla Frank-Starling-mekanismi toimi, koska sekä SV että EDV kasvoivat (Crawford ym. 1985, Rerych ym. 1980).

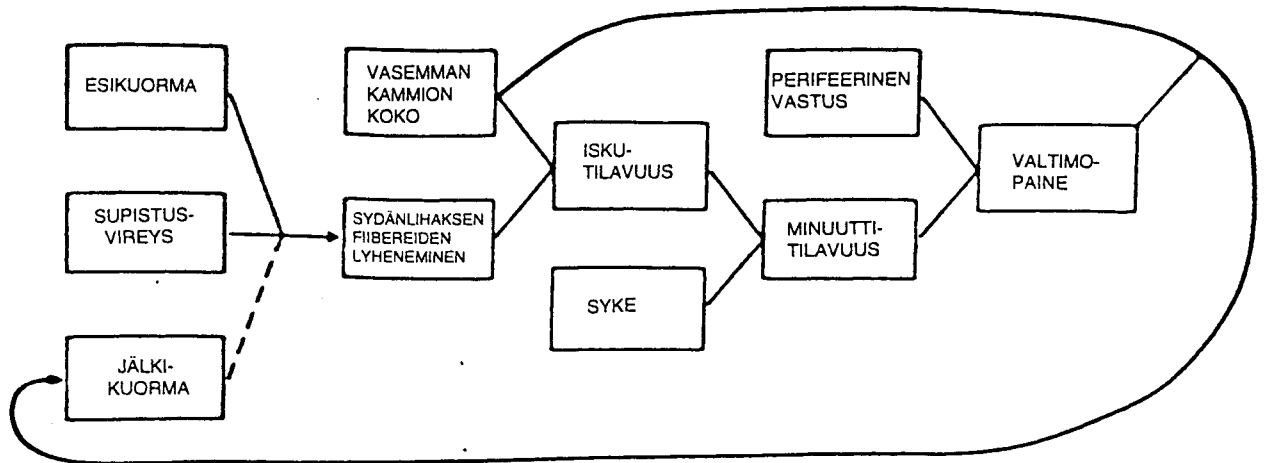
Jälkikuorma on vastus, joka estää sydänlihaskiintymisen lyhenemisen ejektiovaiheen aikana. Täydellisestä jälkikuorman puuttumisesta seuraisi, että ejektio olisi mahdoton. (Karpman 1987, 76.) Hirvosen (1988) mukaan jälkikuorma on voima, joka vastustaa sydänlihaksen lyhenemistä sen supistuessa tai sen supistuessaan kehittämää voimaa. Jälkikuorma on myös loppudiasistolisen paineen voittamiseksi tarvittava jännitys (Antoni 1989, 470). Jälkikuorma on kaikkien kuormitusten summa, jota vastaan sydänlihaskiintymisen täytyy supistua systolen aikana. Kuormitukseen vaikuttavat kammion loppudiasistolinen tilavuus, aortan vaihtuva vastus (impedanssi), valtimoiden vastustus, aortan verimäärä ja veren viskositeetti. Koska jälkikuorma vaikuttaa kammion systolisen lyhenemisen nopeuteen ja määrään, se myös siten suoraan vaikuttaa kammion loppusystoliseen volyymiin. (Schlant ym. 1982.)

Supistusvireys kuvastaa sydänlihaksen aktiivisen tilan intensiteettiä. Muutos supistusvireydessä voidaan määrittää sydämen suorituskyvyn muutoksena, joka on riippumaton esikuorman ja jälkikuorman muutoksista. (Braunwald and Ross jr. 1979.) Sydämen supistusvireyttä on vaikea määrittellä ja mitata. Sydämen lihassyiden pituudella ja jännityksen välisellä suhteella on merkittävä osa voiman kehittämisessä. Perusolosuhteissa sydämen supistusvireydestä on käytössä n. 2/3. Keskeistä

sydänlihaksen lyhenemiselle ja jännityksen kehittymiselle on supistuvien proteiinien, aktiinin ja myosiinin toiminta. (Hirvonen 1988.)

Sekä sykkeen että noradrenaliinikonsentraation kasvu lisää supistusvireyttä. Kun supistusvireys lisääntyy, sydänlihas lyhenee nopeammin millä tahansa lihaksen pituudella ja millä tahansa kuormalla. Sympaattinen stimulaatio saa sydämen lyömään nopeammin, koska supistusvireys on lisääntynyt. Kammion lihaksiston rentoutuminen ja elastinen kimmoisuus pyrkivät lisäämään seuraavan iskun tilavuutta. (Schlant ym. 1982.) Sympaattisen järjestelmän positiivinen inotrooppinen toiminta mahdollistaa sen, että sydän, ilman lisääntynyttä diastolista täyttymistä, sysää suuremman iskutilavuuden tai työntää iskutilavuuden korkeampaa painetta vastaan ts. supistusvireys lisääntyy (Antoni 1989).

Neljäs sydämen toimintaan vaikuttava tekijä on syke. Se on todennäköisesti päämekanismi, jolla useimpien henkilöiden minuuttitilavuus lisääntyy lievässä rasituksessa. Otaksuttavasti sykkeen tihentyminen johtuu siitä, että enemmän kalsiumia vapautuu varastoista sydänlihassoluihin ja lisää säikeitten supistumista. Sydämen minuuttitilavuuden aleneminen johtuu suureksi osaksi diastolisen vaiheen lyhenemisestä, joka rajoittaa sekä kammioiden riittävää täyttymistä että sydämen verenvirtausta. (Schlant ym. 1982.) Sykkeen kohoaminen vaikuttaa pääasiassa diastolisen vaiheen lyhenemiseen. Sydämen sykkiessä nopeammin, kammioitten kokonaistyöaika lisääntyy huomattavasti ja palautumisaika vastaavasti lyhenee. (Antoni 1989.) Kaaviossa 1 (s. 11) on esitetty eri osatekijät, jotka säätelevät sydämen aktiivisuutta.



Kaavio 1. Sydänlihaksen aktiivisuutta säätelevät tekijät ja niiden väliset suhteet. Yhtenäiset viivat: tehoa lisääviä, katkoviiva: tehoa alentava. Huomaa, että vasemman kammion koko on sekä iskutilavuutta että jälkikuormaa määräävä tekijä (Braunwald and Ross jr. 1979).

2.5 Sydämen läpi virtaama verimäärä

Minuuttitilavuus on sydämen minuutissa pumpaama verimäärä, jonka suuruus on riippuvainen sykkeestä ja jokaisella iskulla työnnetystä verimäärästä (iskutilavuus, SV). Levossa minuuttitilavuus on keskimäärin viisi litraa sekä harjoitelleilla että harjoittelemattomilla henkilöillä. Koska harjoittelemattomien leposyke on n. 70 lyöntiä \cdot min⁻¹ ja harjoitelleiden n. 50 lyöntiä \cdot min⁻¹, ovat vastaavat iskutilavuuden arvot n. 71 ml ja 100 ml. Naisten isku- ja minuuttitilavuuden arvot ovat tavallisesti n. 25 % pienemmät (50-60 ml) kuin miesten. Sydämen minuuttitilavuus lisääntyy nopeasti, kun siirrytään levosta kuormitukseen ja saavuttaa tasapainon kohdassa, jossa verenvirtaus on riittävä kuormituksen vaatimalle aineenvaihdunnalle. Maksimikuormituksessa harjoittelemattomien minuuttitilavuus lisääntyy nelinkertaiseksi lepoarvoihin nähden eli 20-22 litraan. (McArdle et al 1996, 299.)

Hyvätasoisten kestävyysurheilijoiden maksimaalinen minuuttitilavuus on 35-40 litraa. Kestävyysurheilijan suurempi sydämen minuuttitilavuus johtuu suuremmasta

iskutilavuudesta verrattuna harjoittelemattomiin henkilöihin. Tämä johtuu laajentuneista kammioista. (Gledhill ym. 1994, McArdle 1996, 299, 302.) Kestävyyssurheilijat pystyvät pitämään yllä pitkiäkin aikoja suurta sydämen minuuttitilavuutta niin, että jälkikuorma kasvaa vain vähän, mikä osoittaa kestävyyssurheilijan sydämen tekevän ensisijaisesti tilavuustyötä (Henriksen ym. 1996, Keul ym. 1982, Shapiro 1987).

Sekä harjoitteleiden että harjoittelemattomien sydämen iskutilavuus kasvaa eniten levosta kohtalaiseen kuormitukseen siirryttäessä. Raskaimmin kuormituksin iskutilavuus lisääntyy vain vähän. Harjoitteleimattomien iskutilavuus tasaantuu syketasolla 120 lyöntiä \cdot min⁻¹. Harjoitteleiden kestävyyssurheilijoiden iskutilavuus kasvaa maksimisyketasolle 190 lyöntiä \cdot min⁻¹ asti. (Gledhill ym. 1994.) Levossa sydämen minuuttitilavuudesta 20 % menee lihaksiin (eli 4-7 ml verta \cdot 100 g⁻¹ lihasta joka minuutti). Maksimaalisessa kestävyyssuorituksessa 84 % sydämen minuuttitilavuudesta menee lihaksiin (eli 50-75 ml verta \cdot 100 g⁻¹ lihasta joka minuutti). (McArdle ym. 1996, 300-304.)

Levossa perifeerinen vastus on suuri. Valtimopaine laskee hitaasti ja jää koholle koko syklin ajaksi. Kuormituksen aikana systolinen verenpaine ja minuuttitilavuus voivat kasvaa 6-8 kertaiseksi lepoarvoihin nähden, diastolinen verenpaine nousee huomattavasti vähemmän. Perifeerisen verenvirtauksen vastus voi alentua dramaattisesti lepoarvoihin verrattuna. Totaalinen perifeerinen vastus = verenpaine / sydämen minuuttitilavuus, jossa verenpaine arvona käytetään keskimääräistä valtimopainetta. (McArdle ym. 1996, 269-270.)

Verenpaineen ja seinämän jännityksen kohoaminen aiheuttaa suhteellisesti suuremman hapenkulutuksen kuin saman iskutyön (iskutilavuus \cdot aortan keskipaine) tekeminen iskutilavuutta suurentamalla. "Painetyö" lisää sydänlihakseen kohdistuvaa kuormitusta suhteellisesti enemmän kuin "tilavuustyö", joka käyttää hyväksi Frank-Starling-mekanismia ainakin harjoitteleilla urheilijoilla. (Crawford ym. 1985, Graettinger 1984.)

2.6 Kaikukardiografiset tutkimukset

2.6.1 Kaikukardiografia lapsilla

Kaikukardiografisia tutkimuksia on tehty urheilua harrastaville lapsille suhteellisen vähän, ja tulokset ovat olleet osittain ristiriitaisia. Urheilua harrastavien lasten vasemman kammion loppudystolinen läpimitta (EDD) oli suurempi kuin kontrollihenkilöiden (Drescher ym. 1986, Gutin ym. 1985, Medved ym. 1986, Rowland ym. 1987). Kolmenkaan vuoden monipuolinen harjoittelu ei suurentanut EDD:tä, kun harjoitteleiden ja harjoittelemattomien EDD:t normalisoitiin luuston iän ja rasvattoman kehonpainon avulla (Telford ym. 1988). Vasta neljän vuoden säännöllinen harjoittelu sai aikaan sen, että 11-15-vuotiaiden jääkiekkoilijoiden sydän laajeni ja vasemman kammion seinämät paksuuntuivat (Meško ym. 1993).

Jo kolmen kuukauden intensiivinen koripalloharjoittelu aiheutti sen, että 10-12-vuotiailla pojilla EDD ja vasemman kammion loppusystolinen läpimitta (ESD) kasvoivat ja seinämät paksuuntuivat (Tharp 1987). EDD:ssä ei tapahtunut muutoksia kahdeksan kuukauden harjoittelun aikana 6-7-vuotiailla ei-urheiluvilla lapsilla, mutta vasemman kammion takaseinä (PWTd) paksuuntui ja vasemman kammion massa (LVM) kasvoi (Geenen ym. 1982). Tyttöjen ja poikien välillä ei ollut merkitseviä eroja vasemman kammion dimensioissa (Telford ym. 1988).

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että harjoittelu paksuntaa sekä väli- että takaseinämää (Blimkie ym. 1980, Geenen ym. 1982, Medved ym. 1986, Rowland ym. 1987). Myös päinvastaisia tutkimustuloksia on saatu (Gutin ym. 1985, Pekkarinen 1986, 153, Telford ym. 1988). Melonnan aloittaneilla 13-vuotiailla pojilla oli kahden vuoden seurannan jälkeen paksummat kammion seinämät sekä absoluuttisina arvoina että BSA:lla normalisoituina (Forster ym. 1986). Lapsena aloitettu kilpaileminen ja harjoittelu aiheuttivat n.s. urheilijan sydämen jopa ennen puberteettia. Kuitenkin näiden lasten sydämen koko oli nuoruudessa samanlainen kuin puberteetin jälkeen harjoittelun aloittaneiden nuorten. (Rost 1982.) LVM:n kokoa selitti 8-12-vuotiailla

lapsilla parhaiten rasvaton kehonpaino ja kuormituksen huippusystolinen verenpaine. Fyysinen kunto, fyysinen aktiivisuus tai systolinen verenpaine levossa eivät korreloineet LVM:n kanssa (Janz ym. 1995). Maksimaalinen hapenotto korreloi hyvin kaikukardiografisten muuttujien kanssa (Blimkie ym. 1980, Gutin ym. 1985).

2.6.2 Kaikukardiografia nuorilla

Nuorille tehdyt kaikukardiografisten tutkimusten tulokset ovat myös olleet osittain ristiriitaisia. Niissäkään ei ole ollut kuormituskaikukardiografiaa. Isometrisesti harjoittelevalla ryhmällä olivat kammion seinämät paksummat kuin isotonisesti harjoittelevalla ja kontrolliryhmällä (Morganroth ym. 1975). Vasemman kammion seinämät kasvoivat sekä aerobisesti että anaerobisesti harjoittelevilla, ja LVM kasvoi eniten aerobisella ryhmällä, mikä oli seurausta suuresta EDD:n kasvusta (Agati ym. 1985). Laajenemista ei tapahtunut yli 15-vuotiailla hiihtäjäpojoilla ja 19-vuotiailla vesipoolon- ja jalkapallonpelaajilla, mutta seinämien paksuus ja vasemman kammion massa olivat merkitsevästi suuremmat kuin vertailuryhmällä (Pekkarinen 1986, 153, Spirito ym. 1988). Drescher ym. (1986) havaitsivat sekä laajenemista että seinämien paksuuntumista aerobisten urheilulajien harrastajilla. Csanády ym. (1986) mukaan koripalloilijoille kehittyi vasemman kammion seinämien paksuuntumista jo 18. ikävuoteen mennessä. Sen sijaan heittäjien harjoittelu ei aiheuttanut muutoksia vasemmassa kammiossa (Van den Broeke & Fagard 1988).

Nuorilla tehdyissä tutkimuksissa on seuranta-aika ollut varsin lyhyt: kahdesta seitsemään kuukauteen. Jo kahden kuukauden sekä kestävyys- että nopeusharjoittelu aiheuttivat merkitseviä muutoksia aerobisessa kapasiteetissa, mutta ei vasemman kammion dimensioissa (Ricci ym. 1982). Kolmen kuukauden kestävyysharjoittelun aikana fyysisesti aktiivisten ja harjoittelemattomien nuorten maksimaalinen hapenotto parani ja EDD, keskimääräinen seinämäpaksuus (MWT) ja LVM kasvoivat (Adams ym. 1981, Taylor ym. 1979). Adaptoituminen harjoitteluun väheni iän myötä: viiden

kuukauden kestävyysharjoittelu kasvatti EDD:tä ja pideni diastolista täyttymisaikaa nuorilla, mutta ei vanhemmilla (Perrault ym. 1982).

Huipputason seniorisoutajien EDD kasvoi merkittävästi seitsemän kuukauden harjoittelun jälkeen, kun taas juniorisoutajilla sekä EDD että seinämät kasvoivat (Wieling ym. 1981). Jo viikon harjoittelun jälkeen sekä EDD että iskuvolyymi-indeksi (stroke volume index = SV-index, ml/m²) paranivat kilpauimareilla, mutta pienentyivät yhdeksän viikon harjoittelujakson lopussa, vaikka maksimaalinen hapenotto parani. PWTd kasvoi harjoittelun vaikutuksesta asteittain tutkimuksen aikana. (Ehsani ym. 1978.)

2.6.3 Kaikukardiografiset poikittaistutkimukset aikuisilla

Harjoittelu aiheutti morfologisia muutoksia sydämen dimensioissa: joko vasemman kammion läpimitassa tai seinämien paksuuden kasvussa tai molemmissa (Maron 1986, Rost 1982). Muutokset riippuivat urheilulajista (Fisher ym. 1989, Keul ym. 1981, Longhurst ym. 1980, Morganroth ym. 1975, Ricci ym. 1982, Roy ym. 1988, Spirito ym. 1983). Katsottiin, että kestävyysharjoittelu kasvattaa suhteettomasti kammion mittoja suhteessa seinämän paksuuteen (Maron 1986, Morganroth ym. 1975). Voimaharjoittelu taas aiheutti seinämäpaksuuksissa kasvua, joka oli suhteetonta verrattuna kammion muihin mittoihin (Colan ym. 1985, Fisher ym. 1989, Keul ym. 1981, Menapace ym. 1982, Morganroth ym. 1975, Urhausen ym. 1989).

Kestävyysharjoittelu vaikutti alkuvaiheessa lähinnä sydämen toimintaan. Iskuilavuus kasvoi, koska loppudiasistolinen volyymi kasvoi. Lisäksi relaksaationopeus kasvoi diastolisen vaiheen alussa, jolloin sydän täyttyi paremmin ja loppudiasistolinen volyymi kasvoi. (Keul ym. 1982.) Kun kestävyysharjoittelu jatkui ja teho lisääntyi, vasemman kammion diastolinen läpimitta jatkoi kasvuaan (Wieling ym. 1981). Kun harjoittelu tehostui, myös vasemman kammion seinämät paksuuntuivat (Adams ym. 1985, Ehsani ym. 1978, Keul ym. 1982).

Monet tutkijat ovat todenneet, että kestävyysurheilua harrastavien urheilijoiden EDD on suurempi kuin harjoittelemattomien kontrollihenkilöiden (Bekaert ym. 1981, Blair ym. 1980, Child ym. 1984, Colan ym. 1985, Di Bello ym. 1985, Dickhuth ym. 1987, Douglas 1986, Fagard ym. 1984, Granger ym. 1985, Ikäheimo ym. 1979, Moore ym. 1984, Niemelä ym. 1984, Nishimura ym. 1980, Pavlik ym. 1986, Rost 1982, Rubal ym. 1986, Sepúlveda ym. 1989, Shapiro & McKenna 1984, Snoeckx ym. 1982, Spataro ym. 1985, Swan & Spitler 1989, Turpeinen ym. 1996, Vollmer-Larsen ym. 1989). Juoksijoiden ja pyöräilijöiden EDD oli suurempi kuin painonnostajien ja kontrollihenkilöiden (Bekaert ym. 1981, Snoeckx ym. 1982). Keski-ikäisten ja entisten pyöräilijöiden EDD oli merkitsevästi suurempi kuin kontrollihenkilöiden (Vollmer-Larsen ym. 1989). Edellisistä poikkeavia tuloksia saivat Roy ym. (1988), Shapiro (1984) ja Urhausen & Kindermann (1989): voimalajien urheilijoiden EDD oli suurempi kuin kestävyysjuoksijoiden.

Ammattilaispyöräilijöiden 30-39-vuotiaiden ikäryhmän EDD oli suurin verrattuna nuoremman ja vanhemman ikäryhmän arvoihin (Nishimura ym. 1980). Suurin EDD:n keskiarvo 5.75 cm oli sillä eri lajeista koostuvalla huippu-urheiluryhmällä, jolla oli myös suurin LVM (>400 g) (Pelliccia ym. 1990). Painonnostajien ja kontrollihenkilöiden EDD:t eivät eronneet merkitsevästi (Brown & Thompson 1988). Anabolisia steroideja käyttävien kehonrakentajien EDD oli pienempi kuin anabolisia steroideja käyttämättömien kehonrakentajien (Urhausen ym. 1989).

Myös urheilijoiden vasemman kammion seinämät olivat paksummat kuin kontrollihenkilöiden (Child ym. 1984, Colan ym. 1985, Fagard ym. 1984, Ikäheimo ym. 1979, Moore ym. 1984, Niemelä ym. 1984, Pavlik ym. 1986, Rost 1982, Shapiro 1984, Shapiro & McKenna 1984). Kammioiden väliseinämän (SWTd) paksuuntuminen oli yleensä suurempaa kuin takaseinämän (PWTD) paksuuntuminen (Nishimura ym. 1980, Shapiro 1987, Spataro ym. 1985). Painonnostajien PWTD oli 17 % paksumpi kuin kontrolliryhmän (Snoeckx ym. 1982) ja pitkänmatkanjuoksijoiden seinämät olivat paksummat kuin kontrolliryhmän (Granger ym. 1985, Ikäheimo ym. 1979, Niemelä ym. 1984). Kestävyysjuoksijoiden seinämät olivat paksummat kuin

pikajuoksijoiden myös BSA:lla normalisoinnin jälkeen, mutta pikajuoksijoiden arvot eivät eronneet enää merkitsevästi kontrolliryhmän arvoista (Child ym. 1984). Brown & Thompsonin (1988) tutkimuksessa painonnostajien ja kontrollihenkilöiden seinämissä ei ollut eroja.

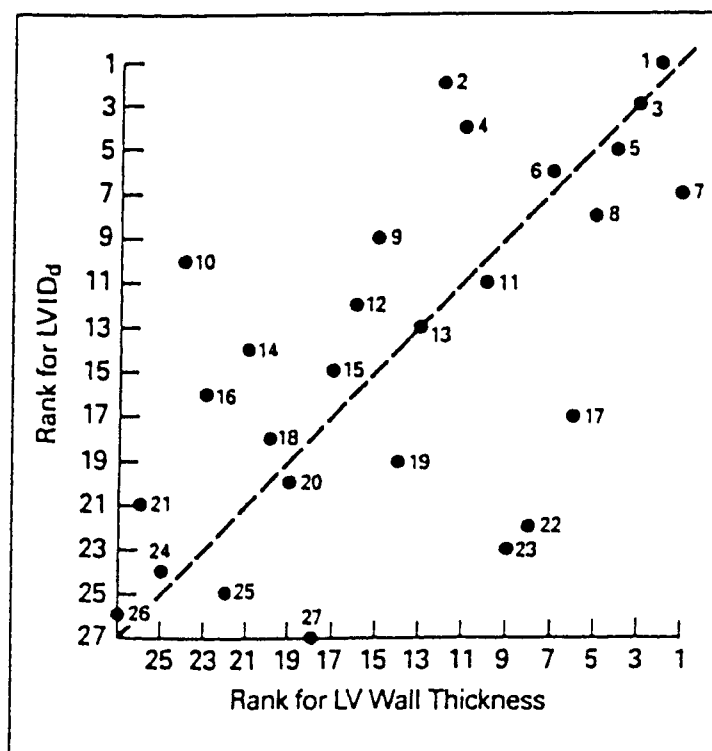
Urheilijoiden SWTd oli vähän, joskin tilastollisesti suurempi (0.96 ± 0.08 cm) kuin iältään ja BSA:ltaan samanlaisten kontrollihenkilöiden (0.90 ± 0.05 cm) ($p < 0.001$). Voimalajien urheilijoiden yli 13 mm:n seinämäpaksuudet saattoivat viitata patologiseen seinämien paksuuntumiseen eli HCM:ään. (Pelliccia ym. 1993.)

Tutkimuksessa, johon osallistui 950 erittäin hyvin harjoitellutta italialaista eri urheilulajien urheilijaa, havaittiin, että paksuimmat vasemman kammion seinämät olivat soutajilla, melojilla ja pyöräilijöillä. Suurin diastolinen seinämäpaksuus oli peräti 1.6 cm. Kaikilla näillä urheilijoilla, joilla seinämän paksuus oli ≥ 1.3 cm, myös EDD oli suurentunut (5.5-6.3 cm). Murtomaahiihtäjien EDD oli 5.45 cm ja seinämäpaksuus 0.96 cm. (Pelliccia ym. 1991.) Eliittikestävyysurheilijan EDD ylitti 6.0 cm. Väli- ja takaseinämän välillä ei ollut eroa, ja 13 %:lla seinämäpaksuus oli ≥ 1.3 cm. (Henriksen ym. 1996.) Ammattilaispyöräilijöistä ($n=40$) 21:llä oli diastolinen seinämäpaksuus ≥ 1.3 cm. Suurin PWTd:n arvo oli 1.9 cm. (Rodriguez Reguero ym. 1995.)

Spirito ym. (1994) tutkivat samaa lähes 950 urheilijan joukkoa kuin Pelliccia ym. (1991). He laskivat EDD:n keskiarvoksi 5.3 cm (40-66 mm) ja 38 %:lla EDD oli yli 5.4 cm. Seinämäpaksuus vaihteli 0.6 - 1.6 cm, sen keskiarvo oli 1.0 cm. Vain 16 urheilijan (1.7 %) seinämät olivat >1.2 cm. Heistä 12 oli soutajaa, kolme melojaa ja yksi pyöräilijä.

Spirito ym. (1994) myös laskivat eri urheilijoiden EDD:lle ja seinämäpaksuuksille vaikutustekijät ("impact") seuraavien yhtälöiden mukaan: $EDD = 21.35 + 0.19 \cdot \text{ikä} + 12.17 \cdot \text{BSA} + \text{sukupuolen kerroin} (2.0 = \text{mies}, 0 = \text{nainen}) + \text{lajikerroin};$

$seinämäpaksuus = 2.87 + 0.06 \cdot ikä + 2.11 \cdot BSA + \text{sukupuolen kerroin (0.9 = mies, 0 = nainen)} + \text{lajikerroin}$. Yhtälöillä laskettujen tulosten perusteella saatiin eri urheilulajien urheilijoiden EDD ja seinämäpaksuudet tiettyyn järjestykseen (Taulukko 1, s. 19) ja lajit sijoitettiin koordinaatistoon (Kuva 1). Pyöräily, uinti, soutu ja melonta ovat koordinaatistossa ylemmässä osassa lajin harrastajien EDD:n ja seinämien osalta, mikä osoittaa harjoittelun vaikuttaneen sydämen morfologiseen adaptaatioon. Murtomaahiihtäjien EDD on toisella sijalla, mutta seinämäpaksuus on keskivaiheilla, joten murtomaahiidolla on suurempi vaikutus kammion tilavuuteen kuin seinämäpaksuuksiin. EDD vaihteli 4.6 - 6.1 cm, keskiarvo oli 5.5 cm. Naisten EDD:n tulokset ovat 2.0 mm ja seinämäpaksuudet 0.9 mm pienemmät kuin miehillä. Harjoittelevien vanheneminen vuodella merkitsee 0.2 mm:n kasvua EDD:ssä ja 0.1 mm:n lisäystä seinämäpaksuuksissa.



Kuva 1. Kaksikymmentäseitsemän urheilulajia harrastavien vasemman kammion diastolisen läpimitan (Rank for LVIDd) ja vasemman kammion seinämäpaksuuden mukaan (Rank for LV Wall Thickness) järjestettynä koordinaatistoon. Useimmat pisteet ovat lähellä origon kautta kulkevaa 45° suoraa, joka tarkoittaa sitä, että näillä urheilulajeilla on yhdensuuntainen vaikutus vasemman kammion läpimittaan ja seinämäpaksuuksiin. Urheilulajien numerot vastaavat Taulukko 1:n numeroita (Spirito ym. 1994).

Taulukko 1. Urheilulajien lasketut vaikutustekijät (impact) vasemman kammion diastoliseen läpimittaan (EDD) ja seinämäpaksuuteen 947 urheilijalla (Spirito ym. 1994).

Urheilulaji	EDD:n impact (mm)	Urheilulaji	Seinämäpaksuuden impact (mm)
1. Maantiepyöräily	5.91	Soutu	2.13
2. Murtomaahiihto	5.41	Maantiepyöräily	2.02
3. Uinti	4.90	Uinti	1.71
4. 5-ottelu	4.35	Melonta	1.70
5. Melonta	4.23	Kestävyysjuoksu	1.49
6. Ratapyöräily	3.97	Vesipoolo	1.38
7. Soutu	3.87	Ratapyöräily	1.35
8. Kestävyysjuoksu	3.47	Painonnosto	1.23
9. Jalkapallo	3.11	Paini/judo	1.21
10. Käsipallo	2.87	Tennis	1.00
11. Tennis	2.69	5-ottelu	0.98
12. Rullaluist.jääkiekko	2.41	Murtomaahiihto	0.98
13. Nyrkkeily	2.25	Nyrkkeily	0.94
14. Alppihiihto	2.13	Rullaluistelu	0.88
15. Miekkailu	2.09	Jalkapallo	0.76
16. Taekwondo	2.07	Rullaluist.jääkiekko	0.69
17. Vesipoolo	2.02	Miekkailu	0.63
18. Sukellus	1.70	Pikajuoksu	0.54
19. Rullaluistelu	1.68	Lentopallo	0.39
20. Lentopallo	1.43	Sukellus	0.38
21. Kelkkailu	1.35	Alppihiihto	0.29
22. Painonnosto	1.32	Heittolajit	0.25
23. Paini/judo	1.25	Taekwondo	0.23
24. Ratsastus	0.43	Käsipallo	0.19
25. Heittolajit	0.18	Ratsastus	0.13
26. Purjehdus	1.10	Kelkkailu	0.07
27. Pikajuoksu	0.00	Purjehdus	0.00

Maronin (1986) yhteenvetotutkimuksessa (28 tutkimusta, yli 1000 kilpaurheilijaa) mitattiin keskimääräiseksi EDD:n kooksi melkein 5.4 cm (maksimi 6.4 cm). Kestävyysurheilijoiden kammiodimensio kasvoi eniten. Vain kahdessa tutkimuksessa pitkänmatkanjuoksijoiden vasemman kammion diastoliset arvot olivat normaaleja (Gilbert ym. 1977, Granger ym. 1985).

Perrault & Turcotte (1994) tekivät myös yhteenvetotutkimuksen vuosina 1975-1992 julkaistuista 80 tutkimuksesta. He laskivat yli 1300 kestävyysurheilijan EDD:n keskiarvoksi 5.35 cm ja 800 kontrollihenkilön keskiarvoksi 4.82 cm ja vastaavien

ryhmien PWTd:n arvoiksi 1.02 cm ja 0.87 cm. Voimaurheilijoiden keskimääräinen EDD 25 tutkimuksesta saatuna oli 5.22 cm ja PWTd 1.12 cm. EDD oli pitkittäistutkimusten alussa 4.91 cm ja PWTd 0.93 cm ja keskimäärin 18 viikon kestävyysharjoittelun jälkeen vastaavasti vain 5.10 cm ja 0.96 cm. Vasemman kammion dimensioiden muutokset eivät riippuneet harjoittelun kestosta.

2.6.4 Kaikukardiografiset pitkittäistutkimukset aikuisilla

Inaktiiveilla henkilöillä tehdyissä harjoittelututkimuksissa ovat tulokset olleet ristiriitaisia. Juoksu/polkupyöräergometriharjoittelu seitsemän viikon ajan paransi maksimaalista hapenottoa ja EDD, EDV, SV ja LVM suurentivat ja SWTd paksuuntui (Cox ym. 1986), mutta kuuden viikon juoksuharjoittelu ei vaikuttanut EDD:n suuruuteen. (Shapiro & Smith 1983.) Maksimaalinen hapenotto parantui, ja seinämäpaksuudet ja LVM kasvoivat. Vaikka osa koehenkilöistä jatkoi harjoittelua vielä toiset kuusi viikkoa, EDD:ssä ei vielääkään tapahtunut kasvua. (Shapiro & Smith 1983). Yhdentoista viikon kävely/hölkä/juoksuharjoittelu sen sijaan suurensi 26-vuotiaiden miesten ja naisten EDD:tä, seinämäpaksuuksia, LVM:ää, SV:tä ja FS:ää (DeMaria ym. 1978). Kahdenkymmenen viikon polkupyöräergometriharjoittelu ei muuttanut 40-vuotiaiden miesten EDD:tä, seinämiä eikä LVM:ää, vaikka heidän maksimaalinen hapenottonsa parani (Peronnet ym. 1980).

Naisuimareiden 13 viikon intervallityyppinen harjoittelu sai aikaan EDD:n, PWTd:n ja LVM:n kasvua (Lamont 1980). Yliharjoittelututkimuksen kaikukardiografiset tutkimustulokset osoittivat, että neljän viikon progressiivisesti lisääntyvä harjoittelu ($85.9 \text{ km:stä} \cdot \text{vko}^{-1}$ $174.6 \text{ km:iin} \cdot \text{vko}^{-1}$) suurensi juoksijoiden EDD:tä, EDV:tä ja SV:tä, mutta ei seinämäpaksuuksia (Lehmann ym. 1990). Kun seuranta-aika oli keskimäärin 23 vuotta, pieneni entisten kestävyysurheilijoiden kehon kokoon suhteutettu sydän 10.7 % ($p < 0.005$) ja inaktiivisen ryhmän 18 % ($p < 0.001$). (Dickhuth ym. 1989.)

Kaikukardiografiset tutkimukset, joita on tehty harjoittelun lopettamisen jälkeen, ovat antaneet toisistaan poikkeavia tuloksia. EDD alkoi pienentyä jo neljän päivän levon jälkeen ja kolmen viikon levon jälkeen jo huomattavasti ($p < 0.005$), ja myös PWTd oheni ($p < 0.005$) (Ehsani ym. 1978). Sen sijaan kymmenen päivän harjoittelemattomuus ei vaikuttanut kestävyysurheilijoiden kaikukardiografisiin tuloksiin (Cullinane ym. 1986). Myöskään kymmenen viikon harjoittelemattomuus ei aiheuttanut muutoksia inaktiivien sydämen dimensioihin, jos heillä oli sitä ennen kymmenen viikon harjoittelujakso (Rubal ym. 1987). Ammattilaisjalkapalloilijoilla vain EDD/BSA pysyi suurempana kuin kontrolliryhmällä 4-6 viikon harjoittelemattomuuden jälkeen ($p < 0.05$) (Galanti ym. 1987). Entisten kestävyysurheilijoiden ja murtomaahiihtäjien EDD pieneni 6.02 cm:stä 5.08 cm:iin 1 1/2 vuotta harjoittelun lopettamisesta, PWTd 1.11 cm:stä 1.00 cm:iin ja ja SV 108 ml:sta 72 ml:aan (Schumacher & Howald 1984).

2.6.5 Kuormituskaikukardiografia

Kuormituskaikukardiografia on turvallinen ja toistettavissa oleva tutkimusmenetelmä. Kaikutekniikan etuna on se, että sydäntä voidaan tutkia myös rasituksen aikana ja seinämien paksuneminen ja oheneminen ja seinämien liikkeet ovat suoraan nähtävissä. Teknisiä ongelmia tulee kuitenkin väli- ja takaseinämän kaiuissa kuormituksen aikana, koska ylävartalo liikkuu ja keuhkot laajenevat (Stein 1984), mikä vaikeuttaa tulosten tulkintaa ja toistettavuutta. Parhaimmat kaikukardiogrammit saadaan kuormituksessa selinmakuulta pienillä kuormituksilla (Berberich ym. 1984).

Sydämen reaktio riippuu siitä, onko kuormitus isotoninen vai isometrinen, ja asennosta, jossa kuormitus tapahtuu, ja kuormituksen rasittavuudesta. Isotonisessa kuormituksessa käytetään suuria lihasryhmiä suhteellisen pientä vastusta vastaan. Lihasten hapentarve lisää minuuttitilavuutta. (Keul ym. 1981.) Submaksimaalisen dynaamisen kuormituksen aikana EDD kasvoi, ESD kasvoi lisääntyneen jälkikuorman ansiosta ja SV pieneni. Maksimaalisen staattisen kuormituksen aikana EDD pysyi

muuttumattomana, ja Valsalva-ilmiöstä johtuen EDV ja ESV pienentyivät jopa huomattavasti. Sydämen onteloiden koon kasvu oli välttämätöntä suuren SV:n ja minuuttitilavuuden ylläpitämiseksi. Näitä ominaisuuksia vaaditaan useita tunteja kestävässä harjoittelussa, jolloin sydän joutuu työskentelemään volyymin alaisena. (George ym. 1991, Keul ym. 1981.)

Syke nousee vähemmän staattisessa kuin dynaamisessa kuormituksessa. Staattisessa kuormituksessa systolinen ja diastolinen verenpaine kohoavat dramaattisesti. EF ja kammiovolyymit, EDV ja ESV, pysyvät muuttumattomina verrattuna lepoarvoihin. (Stein 1984.) Sydämen minuuttitilavuuden lisääntymistä voidaan ylläpitää vain lyhyen ajan, koska vähentynyt valtimopaluu rajoittaa sydämen kapasiteettia (Keul ym. 1981).

Sekä aerobisesti että anaerobisesti harjoittelevien urheilijoiden ja kontrollihenkilöiden EDD kasvoi polkupyöräergometrikuormituksessa syketasolle 100 lyöntiä \cdot min⁻¹, mutta korkeimmilla syketasoilla EDD palasi lepotason arvoihin. ESD puolestaan pieneni progressiivisesti ja pieneneminen oli tilastollisesti merkitsevin lepoarvoihin nähden sykkeellä 100-120 lyöntiä \cdot min⁻¹. (Fedele ym. 1985.) Juoksijoiden EDD oli merkitsevästi suurempi kuin painijoiden ja kontrollihenkilöiden. Lisäksi juoksijoiden ESD oli suurempi sekä levossa että kaikilla kuormitustasoilla (25-150 W) kuin kontrollihenkilöiden. (Cohen & Segal 1985.) Sekä kestävyysjuoksijoiden että kontrolliryhmän EDD oli suurimmillaan submaksimaalisessa kuormituksessa ja maksimikuormituksessa pienempi kuin levossa. ESD pienentyi progressiivisesti levosta maksimikuormitukseen siirryttäessä. (Notaristefano ym. 1988.) EDD:n n. 10 %:n suureneminen pienillä polkupyöräergometrikuormilla havaittiin vain niillä murtomaahiihtäjillä, joilla oli suurin sydän (yli 1000 ml) (Bubenheimer ym. 1977).

Huippukestävyysurheilijoiden EDV kasvoi submaksimaalisessa polkupyöräergometrikuormituksessa merkitsevästi ja pieneni maksimikuormituksessa alle lepoarvojen. Kontrolliryhmän EDV pieneni koko kuormituksen ajan. (Notaristefano ym. 1988.) Kilpailevien ja kuntoilevien juoksijoiden EDV:n lepoarvot korreloivat ($r = .80$) maksimaalisen polkupyöräergometrikuormituksen maksimikestoajan kanssa.

Juoksijoiden EDV, SV ja EF kasvoivat kuormituksen aikana ja EDV kasvoi kuormituksessa enemmän kuin kontrollihenkilöiden. Kontrollihenkilöillä puolestaan systolinen verenpaine/ESV kasvoi enemmän, joten hyvin harjoitelleilla maratonjuoksijoilla oli suurempi hyöty Frank-Starling -mekanismista kuin vähemmän harjoitelleilla. (Crawford ym. 1985.) SV kasvoi istuma-asennossa 150 W:n kuormitukseen asti, mutta selinmakuulla SV ei muuttunut 100 ja 150 W:n kuormituksissa. Erot säilyivät myös sen jälkeen, kun SV suhteutettiin sykkeeseen. (Dickhuth ym. 1981.)

Isometrisessä kuormituksessa ei tapahtunut muutosta FS:ssä. Seinämän huippusupistusnopeus (rate of circumferential shortening = Vcf) sen sijaan laski. Isotonisessa kuormituksessa sekä FS että huippuVcf kasvoivat. (Paulsen ym. 1979.) Aerobisella ja anaerobisella ryhmällä SV kasvoi isotonisessa kuormituksessa sykkeen kohotessa $100 \text{ lyöntiä} \cdot \text{min}^{-1}$ ja palautui lepoarvoihin sykkeen edelleen noustessa (Fedele ym. 1985). Kun syke saavutti 70 % maksimista, eivät kilpailevien ja kuntoilevien koehenkilöiden SV ja EDV enää kasvaneet lepoarvoon verrattuna polkupyöräergometrikuormituksessa (Crawford ym. 1985).

Kuormituskaikukardiografisessa pitkittäistutkimuksessa 14 viikon intervallityyppisen harjoittelun vaikutuksesta EDD ($p < 0.05$) ja SD ($p < 0.05$) kasvoivat kuormituksessa ennen harjoittelua oleviin arvoihin nähden ja ESD pieneni harjoittelun jälkeisiin lepoarvoihin nähden (Stein ym. 1980).

2.6.6 Perimä

Perimällä oli osuutta siihen, kuinka harjoittelu vaikutti aerobiseen suorituskykyyn (Hamel ym. 1986, Prud'Homme ym. 1984). Sen sijaan tiedot perimän vaikutuksesta sydämen kokoon ovat ristiriitaisia. Adams ym. (1985) totesivat geneettisen vaikutuksen sydämen kokoon olevan pieni. He päättelivät, että koska 14 viikon harjoitusohjelma ei aiheuttanut merkitseviä kaikukardiografisia muutoksia, ympäristö

(koti) vaikutti enemmän sydämen koon kehittymiseen kuin genetiikka. Bielen ym. (1990) tutkimuksessa ympäristön vaikutus minimoitiin tutkimalla 6-8-vuotiaita kaksosia. Tulokseksi saatiin, että geneettistä vaikutusta oli LVM:ään, mutta ei EDD:hen eikä seinämiin. Kaksosilla (18-31 vuotta) tehdyssä submaksimaalisessa kuormituskokeessa havaittiin merkitsevää geneettistä vaikutusta MWT:ssä, mutta ei EDD:ssä eikä FS:ssä. Levossa vaikutusta ei havaittu. (Bielen ym. 1991.) Landry ym. (1985) tutkimuksessa, joka koski monozygootteja kaksosia, 20 viikon harjoittelusta seurasi, että eri kaksosparit erosivat toisistaan enemmän harjoittelun jälkeen eri muuttujilla mitattuna kuin ennen sitä ja että parien sisäiset erot pienenevät. Afman ym. (1989) eivät havainneet mono- ja dizygoottiparien välillä eroja ennen tai jälkeen harjoittelun.

2.6.7 Yhteenveto kaikukardiografisista tutkimuksista

Useat tekijät vaikuttavat sydämen dimensioihin ja niiden muutoksiin (mm. harjoittelu, antropometria, sukupuoli, perimä). Sydämen morfologisiin muutoksiin vaikuttaa voimakkaasti myös urheilulaji. Kestävyysurheilijoiden sydän työskentelee volyymin alaisena, josta seuraa EDD:n kasvu. ESD kasvaa suhteessa vähemmän. Voimalajien urheilijoiden sydän työskentelee suurempaa kuormitusta vastaan eli on painetyön alaisena, josta seuraa seinämien paksuuntuminen. Toisaalta huippusoutajat, -melojat ja -pyöräilijät joutuvat harjoittelussaan pitkäänkestävään ja yhtämittaiseen volyymi- ja painetyötyyppiseen kuormitukseen, josta seuraa sekä sydämen laajeneminen että seinämien paksuuntuminen. EDD:n muutokset ovat verrattavissa pitkänmatkanjuoksijoilla tapahtuviin muutoksiin ja seinämien suhteellinen kasvu on huomattavampaa kuin voimaurheilijoilla. Harjoittelun lopettaminen saa sydämessä nopeammin muutokset aikaan kuin harjoittelun aloittaminen.

Yhteenvetona lapsille tehdyistä kaikukardiografisista tutkimuksista voidaan todeta, että urheilua harrastavien lasten sydän oli laajentuneempi ja seinämät paksummat kuin inaktiivien lasten, joskaan kolmenkaan vuoden harjoittelu ei laajentanut sydäntä. Vasta

neljän vuoden säännöllinen harjoittelu laajensi sydäntä ja paksunsi seinämiä. Lapsena aloitetusta harjoittelusta seurasi urheilijan sydän, mutta lähtötilanne oli puberteetin jälkeen sama kuin harjoittelemattomilla. Hyvä fyysinen kunto korreloi kaikukardiografisten muuttujien kanssa. Myös seinämien ja korrelaatioiden osalta saatiin päinvastaisia tuloksia.

Isotonisesti harjoitelleiden nuorten sydän sekä laajeni että seinämät paksuuntuivat. Kahden kuukauden harjoittelu ei muuttanut kammion dimensioita, mutta kolmen kuukauden harjoittelu laajensi EDD:tä, paksunsi MWT:tä ja LVM kasvoi. Isometrisesti harjoitelleiden sydämen seinämät olivat paksummat kuin isotonisesti harjoitelleiden. Myös pitkittäistutkimuksissa tapahtui sydämen laajenemista ja seinämien paksuuntumista ja sekä urheilijoiden että kontrollihenkilöiden maksimaalinen hapenotto parani.

Aikuisten urheilijoiden harjoittelu laajensi EDD:tä tai paksunsi seinämiä tai vaikutti molempiin. Urheilulaji vaikutti kaikukardiografisiin dimensioihin: kestävyysurheilijoilla oli suurempi EDD kuin voimalajien urheilijoilla, joilla puolestaan oli paksummat seinämät kuin kestävyysurheilijoilla. Yhteenvetona eri tutkimusten perusteella kestävyysurheilijoiden EDD oli n. 5.4 cm, voimalajien urheilijoiden 5.2 cm ja kontrollihenkilöiden 4.8 cm.

Uusimman yhteenvetotutkimuksen mukaan pitkänmatkanjuoksijoiden EDD oli 5.32 cm, SWTd 1.08 cm, PWTd 1.05 cm ja LVM 216 g. Iältään vastaavien kontrollihenkilöiden arvot olivat vastaavasti 4.83 cm, 0.93 cm, 0.89 cm ja 149 g. Iältään ja BSA:aan toisiaan vastaavien pyöräilijöiden ja kontrollihenkilöiden vastaavat arvot olivat 5.51 cm, 1.17 cm, 1.16 cm, 262 g ja 5.05 cm, 0.91 cm, 0.89 cm, 159 g. Iältään ja BSA:aan toisiaan vastaavien voimalajien urheilijoiden ja kontrollihenkilöiden arvot olivat vastaavasti 5.32 cm, 1.03 cm, 0.95 cm, 198 g ja 5.19 cm, 0.89 cm, 0.84 cm, 159 g. (Fagard 1996.)

Inaktiiveille henkilöille tehdyissä pitkäkestoisuutkimuksissa voitiin osoittaa sydämen laajenemista ja seinämien paksuuntumista, joskaan 20:n viikon pituinen harjoittelujakso ei vaikuttanut vasemman kammion läpimittaan ja seinämäpaksuuksiin. Urheilijoilla harjoittelu edelleen laajensi sydäntä ja paksunsi seinämiä. Harjoittelun lopettamisen jälkeiset kaikukardiografiset tutkimustulokset ovat olleet ristiriitaisia. Jo neljän päivän levon jälkeen EDD pieneni ja kolmen viikon levon jälkeen jo huomattavasti. Toisaalta kymmenen päivän lepo ei vaikuttanut kaikukardiografisiin tuloksiin.

Kuormituksen aikaiset kaikukardiografiset muutokset johtuvat siitä, onko kuormitus isotoninen vai isometrinen sekä kuormituksen rasittavuudesta. EDD oli urheilijoilla ja kontrollihenkilöillä suurimmillaan kuormituksen submaksimaalisella tasolla ja palautui lepoarvoihin tai niitä pienemmäksi maksimikuormituksessa. Kontrollihenkilöillä EDD voi myös pienentyä koko kuormituksen ajan. Urheilijoiden EDD kasvoi kuormituksessa enemmän kuin kontrollihenkilöiden. Isometrisessä kuormituksessa EDD ja ESD pysyivät muuttumattomina lepoarvoihin nähden ja maksimikuormituksessa ne pienenevät huomattavasti.

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän pitkittäistutkimuksen tarkoituksena oli tutkia, miten ns. urheilijan sydän kehittyä kolmen vuoden kestävyysharjoittelun aikana ja miten lähtötaso (sydämen vasemman kammion loppudiaastolininen läpimitta) vaikuttaa sydämen adaptaatioon. Tutkimusjakson aikana tutkittiin murtomaahiihtäjien ja kontrollihenkilöiden sydämen rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia vuosittain tehtävin mittauksin. Erikseen selvitettiin laji+kilpailukauden hiihto- ja harjoittelun vaikutuksia sydämen rakenteeseen ja toimintaan kahtena peräkkäisenä vuonna.

4 TUTKIMUKSEN HYPOTEESIT

- H₁ Hiihtäjien sydämen koko on suurempi ja kasvaa enemmän kuin kontrollihenkilöiden.
- H₂ Sydämen koon ja maksimaalisen hapenoton välillä on yhteys.
- H₃ Sydämen toiminnallinen ero hiihtäjien ja kontrollihenkilöiden välillä tulee esille etenkin kuormitustilanteessa.
- H₄ Sydän kasvaa yhtä paljon iso- ja pienisydämisillä hiihtäjillä.
- H₅ Sydän kasvaa ja sen toiminta paranee hiihtäjillä laji+kilpailukaudella.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöt valittiin Suomen Hiihtoliiton Kulta- ja Hopeasomparyhmiin kuuluneista 15-17-vuotiaista poikahiihtäjistä, jotka olivat ikäluokkansa parhaimmista Suomessa. Osallistumishalukkuutta koskeva tiedustelu lähetettiin 99 hiihtäjälle. Tiedusteluun myönteisesti vastanneet (n = 47) kutsuttiin alkumittauksiin. Mittaustulosten, harjoittelutaustan ja kilpailumenestyksen perusteella tutkimuksen

koehenkilöiksi valittiin 39 poikaa, joille suoritettiin mittaukset kuusi kertaa. Ensimmäiseen mittauskertaan osallistui 38, toiseen 24, kolmanteen 27, neljänteen 28, viidenteen 21 ja kuudenteen mittauskertaan 21 poikaa. Tutkimuksen alussa koehenkilöiden ikä oli 15.6 ± 0.7 vuotta ja lopussa 19.0 ± 0.8 vuotta. Sekä koehenkilöt että heidän vanhempansa allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen, jossa ilmeni tutkimukseen liittyvät riskit ja hyödyt.

5.2 Kontrollihenkilöt

Tutkimuksen kontrollihenkilöinä oli 22 vapaaehtoista koulupoikaa, jotka mitattiin kolmen vuoden aikana neljä kertaa. Ensimmäiseen mittauskertaan osallistui 22, toiseen 20, kolmanteen 14 ja neljänteen mittauskertaan 14 poikaa. Tutkimuksen kontrollihenkilömääräksi otettiin jokaisella neljällä mittauskerralla mukana olleet pojat, joita oli 12. Tutkimuksen alussa kontrollihenkilöiden ikä oli 16.1 ± 1.4 vuotta ja lopussa 19.2 ± 1.4 vuotta. Kontrollihenkilöt eivät olleet minkään lajin kilpaurheilijoita, mutta olivat kuitenkin liikuntaan positiivisesti suhtautuvia ja fyysisesti aktiivisia. Myös kontrollihenkilöt allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen.

5.3 Tutkimuksen koeasetelmat

5.3.1 Vuosittaiset muutokset

Koehenkilöt mitattiin kolmen vuoden tutkimusjakson aikana neljä kertaa (mittauskerrat 1, 2, 4 ja 6). Jokaisella neljällä mittauskerralla koehenkilöistä oli mukana 16 poikaa. Ensimmäinen mittauskerta oli touko-kesäkuussa, joka ajankohta on hiihtäjien peruskuntokausi 1 (ks. taulukko 2, s. 29). Toinen mittauskerta oli seuraavana vuonna loka-marraskuussa ja kolmas ja neljäs mittauskerta olivat vuoden välein samana ajankohtana. Toisella, kolmannella ja neljännellä mittauskerralla hiihtäjillä oli

harjoittelussaan menossa peruskuntokausi 2 (taulukko 2). Kontrollihenkilöt mitattiin myös neljä kertaa vuoden välein huhti-kesäkuussa.

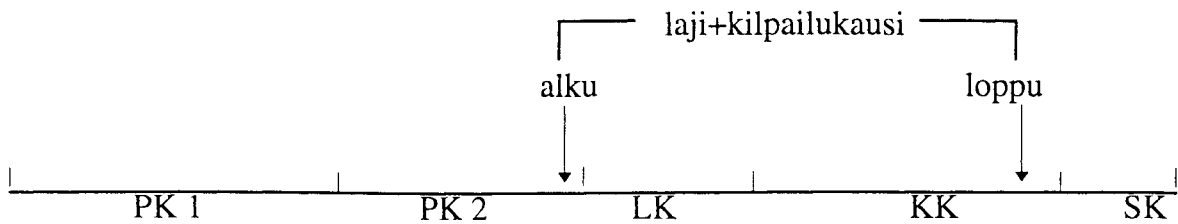
Tuloksia tarkasteltiin kolmen vuoden aikana neljällä mittauskerralla myös niin, että koehenkilöt jaettiin "iso- ja pienisydämisiin" jakoperusteena ensimmäisen mittauskerran sydämen vasemman kammion loppudiasistolinen läpimitta (= end-diastolic diameter = EDD). "Isosydämisten" (I) EDD oli ≥ 5.5 cm (n=9) ja "pienisydämisten" (P) EDD oli < 5.5 cm (n=7). Jakoperusteeseen vaikutti Maronin ym. (1986) ja Perrault & Turcotten (1994) yhteenvetotutkimusten tulos, että kestävyysurheilijoiden EDD:n keskimääräinen koko on 5.4 cm, ja se, että arvolla 5.5 cm "iso- ja pienisydämisten" ryhmät saatiin lähes samansuuruisiksi.

5.3.2 Hiihtokausittaiset muutokset

Koehenkilöt mitattiin kahtena peräkkäisenä vuonna hiihtäjien peruskuntokausi 2:n ja kilpailukauden aikana. Ensimmäisenä vuonna oli sekä peruskuntokausi 2:lla (mittauskerta 2) että kilpailukaudella (mittauskerta 3) tutkimuksessa mukana 16 hiihtäjää. Toisena vuonna oli sekä peruskuntokausi 2:lla (mittauskerta 4) että kilpailukaudella (mittauskerta 5) mukana 14 hiihtäjää. Mukana olleet 16 ja 14 hiihtäjää olivat suureksi osaksi samoja kuin kolmen vuoden seurantamittauksissa olevat 16 hiihtäjää. Taulukossa 2 on esitetty hiihtäjien harjoitteluvuosi eri kausineen ja Kaaviossa 1 (s. 30) mittauksen (peruskuntokausi 2 = alku ja kilpailukausi = loppu) ajankohdat. Tutkittavasta harjoittelukaudesta käytettiin nimeä laji+kilpailukausi.

Taulukko 2. Hiihtäjien harjoittelukaudet, niiden pituudet ja ajankohdat.

1. peruskuntokausi 1 (PK 1)	(16 vk)	viikot 17-32
2. peruskuntokausi 2 (PK 2)	(12 vk)	viikot 33-44
3. lajiharjoittelukausi (LK)	(8 vk)	viikot 45-52
4. kilpailukausi (KK)	(12 vk)	viikot 1-12
5. siirtymäkausi (SK)	(4 vk)	viikot 13-16



Kaavio 2. Mittausajankohdat hiihtäjien harjoittelukausien aikana.

5.4 Mittausmenetelmät

5.4.1 Antropometriset mittaukset

Koe- ja kontrollihenkilöiltä mitattiin pituus (cm) ja paino (kg) sekä laskettiin kehon rasvaprosentti, joka saatiin mittaamalla John Bull -ihopoimumittarilla seuraavat neljä ihopoimua: triceps, biceps, subscapularis, iliaca (Durnin & Rahaman 1967).

5.4.2 Ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio

Ortostaattisessa kokeessa koehenkilöt lepäsivät selinmakuulla 15-20 minuuttia, jonka jälkeen mitattiin leposyke sykemittarilla (Polar Sport Tester TM, Polar Electro Oy) ja lepoverenpaine elohopeaverenpainemittarilla (Erkameter). Polar Sport Tester TM :llä mitattiin sykkeet viiden sekunnin välein rintakehälle rintalihasten alapuolelle asetetulla lähettimellä ja ranteeseen asetetulla vastaanottimella, joka näytti ja tallensi sykkeet. Selinmakuuvaiheen jälkeen koehenkilöt nousivat seisomaan, jolloin mitattiin syke 15 ja 30 sekunnin ja verenpaine 30 sekunnin kuluttua. Seisomaannousun jälkeinen syke ilmoitettiin 15 ja 30 sekunnin sykkeitten keskiarvona.

5.4.3 Fyysisen suorituskyvyn mittaukset

Koe- ja kontrollihenkilöiden maksimaalinen hapenotto mitattiin juoksumatolla (Koneyhtymä) suoritettussa kuormitustestissä. Jokaisen kolmen minuutin pituisen kuormitusjakson jälkeen juoksumatto pysäytettiin noin 15 sekunniksi, ja sormenpästä otettiin kapillaariverinäyte laktaattipitoisuuden määrittämiseksi. Samalla juoksumaton nopeutta ja kulmaa lisättiin niin, että saatiin 4-6 ml · kg⁻¹ · min⁻¹ suurempi teoreettinen hapenotto (VO_{2 demand}) kuin edellisellä kuormalla (Balke & Ware 1959, Rusko 1987). Juoksumattotesteissä käytetyt koehenkilöiden kuormitusmallit ovat liitteessä 1. Kontrollihenkilöiden kuormitusmallit (mallit 1-3, liite 2) olivat kevyemmät kuin koehenkilöiden ja aloituskuorma vaihteli kontrollihenkilöiden kunnon mukaan. Teoreettinen hapenotto (VO_{2 demand}) oli ensimmäisen kuormituksen aikana koehenkilöillä 26 ml · kg⁻¹ · min⁻¹ ja sitä lisättiin 6 ml · kg⁻¹ · min⁻¹ aina jokaisen kolmen minuutin jakson jälkeen. Vastaavasti kontrollihenkilöiden alkukuormitus vastasi 15-20 ml · kg⁻¹ · min⁻¹ teoreettista hapenottoa kuntotasosta riippuen ja kuormitus lisääntyi kolmen minuutin välein 4-6 ml · kg⁻¹ · min⁻¹. Verinäytteistä analysoitiin laktaattipitoisuus entsyymaattis-amperometrisellä menetelmällä (Roche Lactate Analyzer 640) tai elektrodimääritykseen perustuvalla menetelmällä (YSI Model 23L). Kuormitustestit tehtiin juoksumatolla sauvakävelynä. Vain ensimmäisellä mittauskerralla hiihtäjät juoksivat juoksumatolla, koska sen jälkeen he osallistuivat 13 viikon harjoitteluinterventiotutkimukseen, jossa pääpaino oli juoksuharjoitteilla. Sen vuoksi myös maksimaalisen hapenoton testaukset tehtiin juoksumatolla juosten. Harjoitteluinterventiotutkimuksen ensimmäiset mittaukset olivat myös tämän tutkimuksen ensimmäiset mittaukset. Kontrollihenkilöiden kuormitustestit tehtiin joka kerta sauvakävelynä.

Koe- ja kontrollihenkilöiden sykettä seurattiin EKG-laitteen (piirturi Simonsen & Weel SCR-521 ja monitori S & W Medico Teknik A/S DS-521 ja Hellige Servomed SMS 182) avulla koko juoksumattotestin ajan. Hapenotto (VO₂) mitattiin koko testin ajan uupumukseen asti hengityskaasuanalysointilaitteella (Oxycon Mijnhardt OX-4, Sensor Medics 2900Z), joka kalibroitiin kalibrointikaasuilla ennen ja jälkeen jokaisen testin.

Maksimaaliseksi hapenotoksi (VO_{2max}) määritettiin suurin minuutin ajan ylläpidetty maksimaalinen hapenkulutus ($l \cdot min^{-1}$, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Maksimaalinen hapenotto laskettiin myös kaavalla $ml \cdot kg^{-2/3} \cdot min^{-1}$. Laskutapa eliminoi koe- ja kontrollihenkilöiden kokoerojen vaikutuksen maksimaaliseen hapenottoon (Bergh 1987). Koe- ja kontrollihenkilöille määritettiin hengityskaasumuutosten (VE , $\%O_2$, $\%CO_2$, RQ) ja veren laktaattipitoisuuden perusteella myös aerobinen ja anaerobinen kynnystaso, joita tietoja hiihtäjät käyttivät harjoittelussaan. Molemmille kynnystasoille määritettiin syke-, hapenkulutus- ja laktaattiarvot sekä teoreettisen hapenkulutuksen arvo ($VO_{2 demand}$). (Aunola & Rusko 1984, Balke & Ware 1959, Skinner & McLellan 1980.)

5.4.4 Koehenkilöiden harjoittelu

Koehenkilöiden harjoittelupäiväkirjoista laskettiin eri harjoittelukausilta (peruskuntokaudet 1 ja 2, lajiharjoittelukausi, kilpailukausi, siirtymäkausi) kilometrit, harjoitteluun käytetyt tunnit ja harjoituskerrat. Taulukossa 2 (s. 29) on esitetty eri harjoittelukausien pituudet ja ajankohdat. Kaikilta koehenkilöiltä ei saatu harjoittelutietoja, koska osa heistä ei pitänyt harjoittelupäiväkirjaa eikä eri mittauskerroilla henkilökohtaisestikaan kysymällä saatu riittävästi tietoja heidän harjoittelustaan. Lisäksi osa koehenkilöistä kirjasi harjoittelustaan ylös vain tunnit ja harjoituskerrat ja osa pelkät tunnit.

5.4.5 Kontrollihenkilöiden fyysinen aktiivisuus

Kontrollihenkilöiden fyysisen aktiivisuuden selville saamiseksi heiltä tiedusteltiin kyselylomakkeella vuoden aikana harrastetut eri liikuntalajit, niiden harrastusjaksojen kesto vuodessa (kuukaudet, viikot), harrastustiheys ($krt \cdot kk^{-1}$, $krt \cdot vk^{-1}$) ja aika kullakin harrastuskerralla (minuutit).

5.4.6 Kaikukardiografiset mittaukset

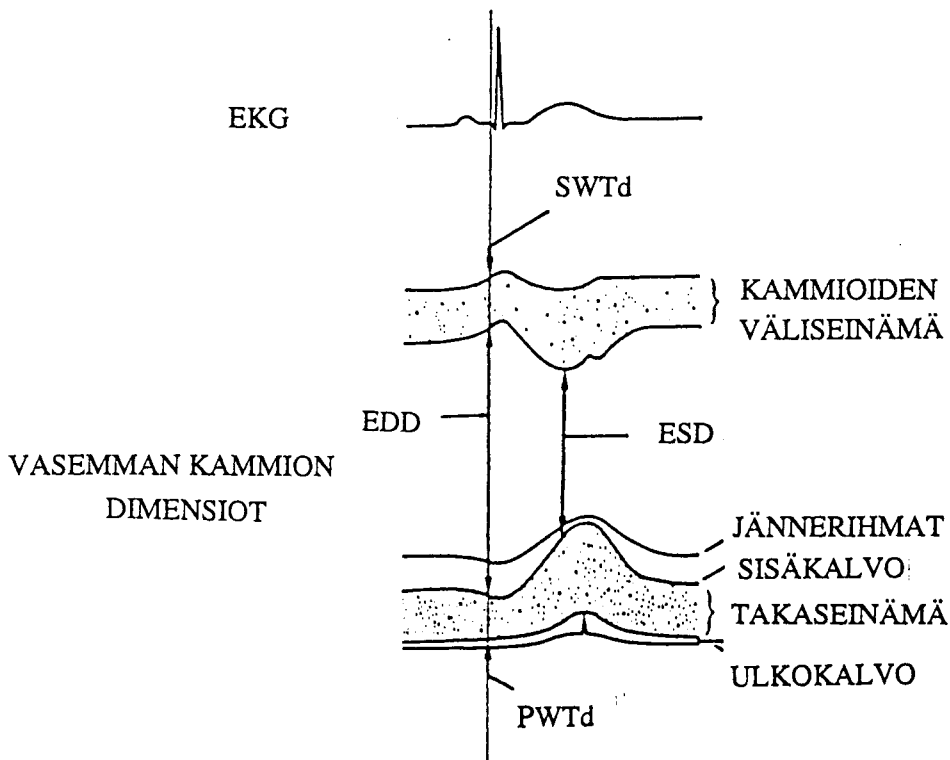
Kaikukardiografiset mittaukset tehtiin kaikukameralla (Aloka ECHO CAMERA LS, malli SSD-280 LS) ja anturina oli 3.0 MHz:n anturi. Laite antoi reaaliaikaisen tai pysäytetyn B- (sektorikuva) (Liite 3) ja M-kuvan (liikkuva tolppa) (Liite 4). Piirturia (Aloka ULTRASONO RECORDER, SSZ-95) käytettiin B- ja M-kuvan tallentamiseen erikoispaperille (3M, 7772 Dry Silver).

Sydämen tutkimuskohta oli 1-3 cm rintalastan vasemmasta reunasta kolmannen ja neljännen kylkiluun välissä. Vasemman kammion kuva rekisteröitiin aivan mitraaliläppäpurjeiden kärkien apikaalipuolelta ennen papillaarilihastasoja mahdollisimman keskeltä kammiota ja mahdollisimman kohtisuoraan sekä väli- että takaseinämää kohden. Kaiut mitattiin käyttämällä "leading edge eli reunasta reunaan"-menetelmää, jossa mittaus tapahtuu kaiun etureunasta (lähinnä anturia oleva kaiun reuna) seuraavan kaiun etureunaan (Feigenbaum 1986, 117).

Ultraäänitutkimuksessa koehenkilöiltä otettiin lepokaikukardiogrammit vasemmassa kylkiasennossa (left). Sen jälkeen koehenkilöt polkivat polkupyöräergometrillä (50 rpm) puoli-istuvassa (kulma 30°) asennossa kolmella eri kuormalla ja kullakin kuormalla kolme minuuttia. Kuormat (50, 100, 150, 175, 200 W) määräytyivät syketasojen 80-100, 100-120, 115-140 krt · min⁻¹ mukaan. Verenpaine mitattiin levossa ja kunkin kuormitustason loppupuolella. Koehenkilön EKG:tä tarkkailtiin koko testin ajan.

5.4.6.1 Kaikukardiogrammien analysointi

Kaikukardiogrammit analysoitiin ASE:n (American Society of Echocardiography) suositusten mukaan (Feigenbaum 1986, 625) (Kuva 2).



Kuva 2. ASE:n (American Society of Echocardiography) mittausmenetelmät kaikukardiogrammien analysoimiseksi (Feigenbaum 1986, 625).

Lepo- ja kuormituskaikukardiogrammeista määritettiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksella kehitetyn tietokoneohjelman avulla digitointipöydällä ja kursorilla kaikukardiografiset muuttujat. Jos mittauskohta B-kuvasta (liite 3) tarkasteltuna ei ollut kohtisuoraan vasemman kammion seinämiä vasten, tehtiin kulmakorjaus, jolloin tulokset M-kuvasta (liite 4) digitoiduille muuttujille saatiin oikean suuruiseksi. Digitoinnit tehtiin 3-5 syklin ajalta. M-kuvasta kalibroitiin paperin nopeus- ja vahvistusvälien suuruus. Syke saatiin M-kuvassa olevasta EKG:stä.

5.4.6.2 Kaikukardiografiset muuttujat

M-kuvasta määritettiin seuraavat kaikukardiografiset muuttujat:

1. vasemman kammion loppudiaastolinen läpimitta = end-diastolic diameter (**EDD**)
2. vasemman kammion loppusystolinen läpimitta = end-systolic diameter (**ESD**)
3. kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa = septal wall thickness in diastole (**SWTd**)
4. vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa = posterior wall thickness in diastole (**PWTd**)

Kun edellä olevat muuttujat oli digitoitu ja tulostettu tietokoneohjelman avulla, saatiin niitä hyväksi käyttäen seuraavat laskennalliset muuttujat:

1. iskudimensio = stroke dimension (**SD**) = $EDD - ESD$
2. vasemman kammion prosentuaalinen systolinen lyhenemä = fractional shortening (**FS**) =
$$\frac{EDD + ESD}{EDD} \times 100$$
3. seinämien paksuuden suhde läpimittaan = hypertrophy index (**HI**) =
$$\frac{SWTd + PWTd}{EDD}$$
 (Fagard ym. 1984)
4. wall stress-indeksi (**WS**) =
$$\frac{\text{systolinen verenpaine}}{2} \times \frac{1}{PWTd}$$
 (Graettinger 1984)
5. vasemman kammion massa = left ventricular mass (**LVM**) =
$$0.80 \times (1.04 ((SWTd + EDD - PWTd)^3 - EDD)^3) + 0.06 \text{ g}$$
 (Devereux ym. 1986)
6. kontraktiiteetti-indeksi = index of contractility (**IC**) =
$$\frac{\text{systolinen verenpaine}}{ESV}$$
 (Crawford ym. 1985)

Kaikukardiografisten muuttujien absoluuttiset arvot normalisoitiin koe- ja kontrollihenkilöiden kehon pinta-alalla (BSA, $m^2 = (\text{paino kg})^{0.425} \cdot (\text{pituus cm})^{0.725} \cdot 0.007184$) (DuBois & DuBois 1916), pituudella ja painolla.

Sekä fyysisen kunnon muuttujia että kaikukardiografisia muuttujia tarkasteltiin myös erotusmuuttujina (loppuarvot - alkuarvot).

5.5 Tilastotieteelliset menetelmät

Tutkimuksen muuttujien arvoille laskettiin keskiarvot ja -hajonnat. Keskiarvojen erojen merkitsevyyttä tarkasteltaessa käytettiin sekä paritonta että parillista Studentin t-testiä. Toistettujen mittausten, ryhmäerojen ja yhdysvaikutuksen selville saamiseksi käytettiin multivarianssianalyysiä (MANOVA). Tuloksista saatiin mittauskertojen väliset muutokset eli mittauskerran päävaikutus (= muutos). Ryhmäero kuvaa ryhmien tilastollista eroa yleiskeskivälistä (= ryhmäero) ja yhdysvaikutus ryhmän vaikutusta eri mittauskerroilla (= yhdysvaikutus). Muunnosmatriisina käytettiin SIMPLE(1), jolloin verrattiin muita mittauskertoja ensimmäiseen mittauskertaan. Varianssianalyysiä (ANOVA) käytettiin ryhmien sisäisten mittauskertojen välisten merkitsevyyksien tarkasteluun, jolloin muita mittauskertoja verrattiin ensimmäiseen mittauskertaan ja t-testiä ryhmien välisten merkitsevyyksien selvittämiseksi eri mittauskerroilla. Muuttujien välisiä yhteyksiä tutkittiin korrelaatiokertoimilla (Pearson), lineaarisella regressiolla ja monimuuttujaisella lineaarisella regressiolla. Kaikki tilastolliset analyysit tehtiin SPSS for Windows (5.0) ohjelmalla.

6 TULOKSET

6.1 Vuosittaiset muutokset hiihtäjillä ja kontrollihenkilöillä

6.1.1 Antropometriset mittaukset ja ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio

Pituus, paino ja BSA lisääntyivät ($p < 0.001$) kolmen vuoden aikana sekä hiihtäjillä että kontrollihenkilöillä (taulukko 3).

Taulukko 3. Antropometriset tulokset hiihtäjillä (H, $n = 16$) ja kontrollihenkilöillä (K, $n = 12$) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) $p < 0.001$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	MANOVA		
						1	2	3
Pituus (cm)	H	179.7 ± 6.5	182.0 ± 6.2	182.2 ± 6.6	182.5 ± 6.6	***	n.s.	*
	K	177.8 ± 8.3	180.1 ± 7.8	181.4 ± 8.2	182.0 ± 8.3			
Paino (kg)	H	67.2 ± 7.9	70.9 ± 8.3	73.8 ± 9.5	75.0 ± 9.5	***	n.s.	n.s.
	K	61.9 ± 8.8	64.5 ± 8.4	67.0 ± 7.5	68.7 ± 7.9			
BSA (m ²)	H	1.85 ± 0.13	1.92 ± 0.14	1.95 ± 0.15	1.96 ± 0.15	***	n.s.	n.s.
	K	1.77 ± 0.16	1.82 ± 0.15	1.86 ± 0.14	1.96 ± 0.15			
Rasvaprosentti	H	9.6 ± 2.4	9.5 ± 2.4	9.8 ± 2.8	9.9 ± 2.3	n.s.	n.s.	n.s.
	K	10.5 ± 2.7	10.0 ± 2.3	10.3 ± 2.5	10.9 ± 2.7			

Hiihtäjien ja kontrollihenkilöiden leposyke aleni tutkimuksen aikana ($p < 0.001$), ja se oli koehenkilöillä jokaisella mittauskerralla alhaisempi kuin kontrollihenkilöillä ($p < 0.05 - 0.01$). Molempien ryhmien leposyke oli alhaisimmillaan kahden vuoden jälkeen: hiihtäjät 53.9 ± 9.7 lyöntiä $\cdot \text{min}^{-1}$, kontrollihenkilöt 64.4 ± 10.2 lyöntiä $\cdot \text{min}^{-1}$. Systolisessa lepoverenpaineessa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia, mutta seisomaannousun jälkeinen systolinen verenpaine oli labiili ($p < 0.001$). Se oli molemmilla ryhmillä alhaisin tutkimuksen lopussa (hiihtäjät 124.5 ± 7.9 mmHg, kontrollihenkilöt 122.4 ± 5.8 mmHg) (liite 5).

6.1.2 Maksimaalinen hapenotto

Kaikissa maksimaalisen hapenoton muuttujissa oli erot mittauskertojen ($p < 0.05 - 0.001$) ja ryhmien ($p < 0.001$) välillä. Hiihtäjien hapenotto ($l \cdot \text{min}^{-1}$) parani tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.001$) jokaisella mittauskerralla lähtöarvoihin nähden (1. mittaus: $4.6 \pm 0.5 l \cdot \text{min}^{-1}$, 4. mittaus: $5.1 \pm 0.6 l \cdot \text{min}^{-1}$). Kontrollihenkilöillä tilastollinen merkitsevyys oli suurin tutkimuksen alku- ja loppumittauksen välillä (1. mittaus: $3.5 \pm 0.4 l \cdot \text{min}^{-1}$, 4. mittaus $3.9 \pm 0.5 l \cdot \text{min}^{-1}$, $p < 0.001$). Hiihtäjillä oli suurempi maksimaalinen hapenotto kuin kontrollihenkilöillä jokaisella mittauskerralla ($p < 0.001$). Koon erot ja muutokset eliminoiva maksimihapenoton muuttuja ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$) parani hiihtäjillä eniten ja oli arvoltaan suurin ($286.9 \pm 19.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$) ensimmäisen vuoden jälkeen ($p < 0.01$). Teoreettisessa maksimaalisessa hapenotossa ($\text{VO}_{2\text{max demand}}$) oli yhdysvaikutus ($p < 0.05$). Hiihtäjillä jokaisen mittauskerran teoreettisen maksimaalisen hapenoton tulokset paranivat tilastollisesti merkitsevästi lähtöarvoihin nähden ($p < 0.001$). Kontrollihenkilöiden teoreettinen maksimaalinen hapenotto parani lähtöarvoihin nähden eniten kahden vuoden jälkeen ($p < 0.001$). Teoreettinen maksimaalinen hapenotto oli suurin sekä hiihtäjillä ($69.3 \pm 4.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) että kontrollihenkilöillä ($56.7 \pm 5.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) kahden vuoden jälkeen (taulukko 4, s. 39).

6.1.3 Hiihtäjien harjoittelu

Vuosittainen harjoittelukilometrimäärä lisääntyi tutkimusjakson aikana $74.3 \pm 39.5 \text{ km:stä} \cdot \text{viikko}^{-1}$ $103.3 \pm 58.5 \text{ km:iin} \cdot \text{viikko}^{-1}$ ($p < 0.05$), ja harjoitteluun käytetty tuntimäärä lisääntyi $8.3 \pm 3.7 \text{ h:sta} \cdot \text{viikko}^{-1}$ $11.0 \pm 2.8 \text{ h:iin} \cdot \text{viikko}^{-1}$ ($p < 0.01$). Ennen mittauksia olleiden peruskuntokausien 1 + 2 aikana hiihtäjien harjoittelukilometrit ($p < 0.001$) ja harjoitteluun käytetty aika ($p < 0.01$) lisääntyivät merkitsevästi kolmen vuoden aikana (taulukko 5, s. 40).

Taulukko 4. Maksimaalinen suorituskyky hiihtäjillä (H, n = 16) ja kontrollihenkilöillä (K, n = 12) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkisevä).

		mittaus				MANOVA		
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	1	2	3
VO _{2max} (l · min ⁻¹)	H ^a	4.6 ± 0.5	4.9 ± 0.6	5.0 ± 0.6	5.1 ± 0.6	***	***	n.s.
	K ^b	3.5 ± 0.4	3.9 ± 0.5	3.9 ± 0.6	3.9 ± 0.5			
VO _{2max} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	H ^a	67.4 ± 2.7	69.0 ± 3.8	67.8 ± 4.4	67.7 ± 4.8	*	***	n.s.
	K ^b	55.5 ± 6.1	59.5 ± 7.2	57.2 ± 8.6	56.9 ± 5.8			
VO _{2max} (ml · kg ^{-2/3} · min ⁻¹)	H ^a	274.5 ± 11.6	286.9 ± 19.8	284.8 ± 18.1	284.4 ± 17.8	**	***	n.s.
	K ^b	221.9 ± 20.6	238.2 ± 27.3	234.1 ± 32.6	232.4 ± 21.2			
VO _{2max} teor. (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	H ^a	58.5 ± 3.2	65.1 ± 3.3	69.3 ± 4.0	68.7 ± 4.0	***	***	*
	K ^b	50.8 ± 5.6	55.4 ± 7.0	56.7 ± 5.7	56.2 ± 5.7			
Maksimisyyke (lyönti · min ⁻¹)	H	193.1 ± 7.6	194.6 ± 6.8	192.9 ± 6.4	194.7 ± 7.6	n.s.	n.s.	n.s.
	K	196.5 ± 7.1	197.1 ± 6.7	200.5 ± 6.3	197.8 ± 5.0			
Maksimilaktaatti (mmol · l ⁻¹)	H	6.3 ± 1.3	8.4 ± 1.4	10.5 ± 1.9	9.9 ± 1.8	***	n.s.	n.s.
	K	5.8 ± 1.3	7.5 ± 1.5	10.3 ± 2.4	10.3 ± 1.8			

(^a n=15, ^b n=11)

Taulukko 5. Hiihtäjien harjoittelu tutkimuksen alussa ja lopussa. T-testi (***) $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitystä).

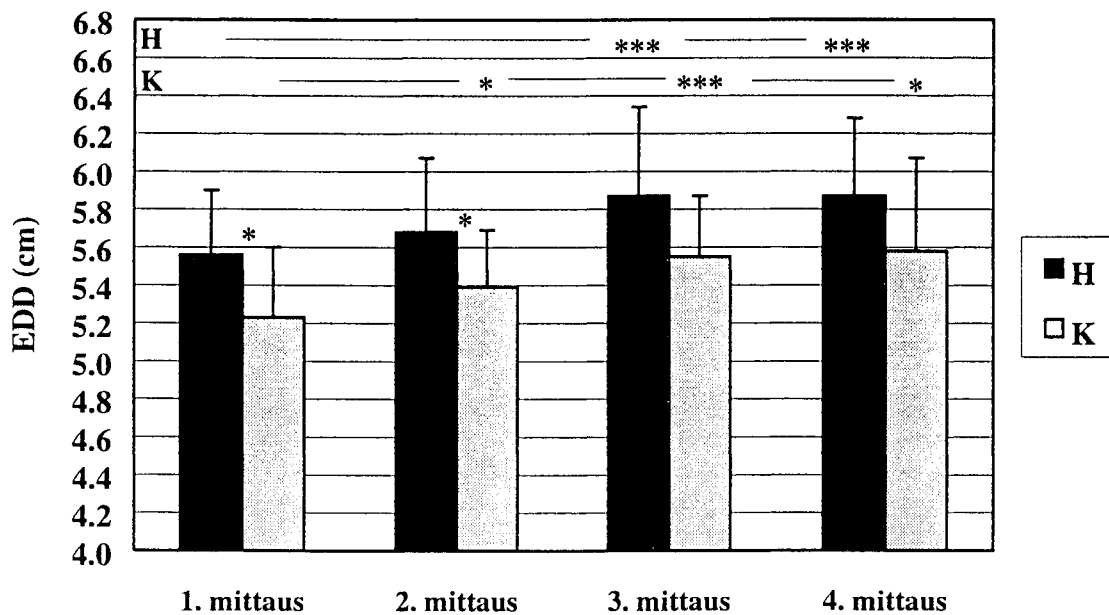
		n	1. vuosi	4. vuosi	t-testi
Peruskuntokausi 1 (16 viikkoa)	km · vko ⁻¹	9	69.2 ± 38.3	114.0 ± 41.1	**
	h · vko ⁻¹	12	7.8 ± 4.2	11.7 ± 3.7	**
	krt · vko ⁻¹	12	7.0 ± 4.2	8.1 ± 3.6	n.s.
Peruskuntokausi 2 (12 viikkoa)	km · vko ⁻¹	9	83.4 ± 40.9	127.0 ± 61.3	**
	h · vko ⁻¹	12	9.2 ± 4.3	12.6 ± 4.1	*
	krt · vko ⁻¹	12	8.0 ± 4.2	8.5 ± 3.2	n.s.
Lajikausi (8 viikkoa)	km · vko ⁻¹	9	73.1 ± 26.6	107.4 ± 39.9	**
	h · vko ⁻¹	12	6.7 ± 2.5	9.0 ± 2.2	**
	krt · vko ⁻¹	12	5.1 ± 2.5	5.8 ± 1.9	n.s.
Kilpailukausi (12 viikkoa)	km · vko ⁻¹	9	69.5 ± 21.5	94.5 ± 46.2	n.s.
	h · vko ⁻¹	12	6.3 ± 3.6	7.7 ± 2.7	n.s.
	krt · vko ⁻¹	11	6.1 ± 5.4	6.1 ± 2.5	n.s.
Siirtymäkausi (4 viikkoa)	km · vko ⁻¹	8	114.4 ± 73.9	84.9 ± 66.4	n.s.
	h · vko ⁻¹	12	9.5 ± 8.1	7.8 ± 4.8	n.s.
	krt · vko ⁻¹	11	10.3 ± 7.0	6.5 ± 4.6	n.s.
Peruskuntokausi 1+2 (28 viikkoa)	km · vko ⁻¹	9	75.3 ± 37.9	119.6 ± 47.7	***
	h · vko ⁻¹	12	8.4 ± 4.1	12.1 ± 3.6	**
	krt · vko ⁻¹	12	7.5 ± 4.1	8.3 ± 3.4	n.s.
Koko vuosi (52 viikkoa)	km · vko ⁻¹	8	74.3 ± 39.5	103.3 ± 58.5	*
	h · vko ⁻¹	12	8.3 ± 3.7	11.0 ± 2.8	**
	krt · vko ⁻¹	11	7.3 ± 4.4	7.7 ± 3.0	n.s.

6.1.4 Kontrollihenkilöiden fyysinen aktiivisuus

Kontrollihenkilöiden fyysinen aktiivisuus oli kahden ensimmäisen vuoden aikana keskimäärin 3.6 h · viikko⁻¹, ja he harrastivat keskimäärin kolmea eri liikuntalajia vuoden aikana. Viimeisen vuoden aikana harrastusmäärä oli 2.3 h · viikko⁻¹. Liikuntaaktiivisuuden väheneminen johtui asepalveluksesta, joka kuitenkin on fyysisesti aktiivista toimintaa ja saattoi vaikuttaa kontrollihenkilöiden fyysisen suorituskyvyn paranemiseen. Harrastetuimpia liikuntalajeja olivat lenkkeily, erilaiset pallopelit (mm. kaukalopallo, sähly, lentopallo, tennis), pyöräily ja kuntosalissa käynti.

6.1.5 Lepokaikukardiografiset tulokset

Molempien ryhmien vasemman kammion loppudiasolinen läpimitta (EDD) kasvoi tutkimusjakson aikana ($p < 0.001$). Hiihtäjien EDD kasvoi kahden ensimmäisen vuoden aikana 5.56 ± 0.34 cm:stä 5.87 ± 0.47 cm:iin ($p < 0.001$), mutta pysyi viimeisen vuoden aikana muuttumattomana. Kontrollihenkilöiden EDD kasvoi merkitsevästi jo vuoden jälkeen ($p < 0.05$). Muuten heidän EDD:nsä käyttäytyi samalla tavalla kuin hiihtäjien eli kasvoi kaksi vuotta (5.23 ± 0.37 cm:stä 5.55 ± 0.32 cm:iin, $p < 0.001$), mutta sen jälkeen kasvu pysähtyi. Ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla hiihtäjillä oli suurempi EDD kuin kontrollihenkilöillä ($p < 0.05$) (kuva 3, taulukko 6, s. 43). Kun EDD normalisoitiin pituudella, hiihtäjillä oli kontrollihenkilöitä suurempi EDD tutkimuksen alussa ja kahden vuoden jälkeen ($p < 0.05$) (taulukko 7, s. 44). Kun EDD normalisoitiin BSA:lla, tilastolliset erot hävisivät (liite 6).



Kuva 3. Vasemman kammion loppudiasolinen läpimitta (EDD) hiihtäjillä (H) ja kontrollihenkilöillä (K) eri mittauskerroilla. Tilastolliset merkitsevyydet ryhmien välillä ja ryhmien sisällä (verrattu ensimmäiseen mittaukseen), *** $p < 0.001$, * $p < 0.05$.

Vasemman kammion loppusystolisessa läpimitassa (ESD) esiintyi yhdysvaikutus ($p < 0.05$), johon vaikutti hiihtäjien ESD:n vaihtelevat muutokset tutkimusjakson aikana

($p < 0.001$) ja kontrollihenkilöiden ESD:n tulosten muuttumattomuus (n.s.) (taulukko 6, s. 43). Yhdysvaikutus säilyi vielä BSA:lla normalisoinnin jälkeen ($p < 0.05$) (liite 6), mutta hävisi, kun ESD normalisoitiin pituudella (taulukko 7, s. 44).

Diastolisissa seinämän paksuuksissa oli yhdysvaikutus ($p < 0.01$): kammioiden väliseinämä diastolisessa vaiheessa (SWTd) kasvoi kontrollihenkilöillä 0.75 ± 0.07 cm:stä 0.88 ± 0.07 cm:iin ($p < 0.001$), mutta pysyi hiihtäjillä muuttumattomana (n.s.) tutkimuksen aikana. Hiihtäjien SWTd:n arvo 0.89 ± 0.05 cm oli suurin kahden vuoden jälkeen. Myös vasemman kammion takaseinämä diastolisessa vaiheessa (PWTd) kasvoi kontrollihenkilöillä kolmen vuoden aikana (0.78 ± 0.05 cm:stä 0.86 ± 0.06 cm:iin, $p < 0.001$), mutta hiihtäjillä vain kahden ensimmäisen vuoden aikana (0.84 ± 0.05 cm:stä 0.90 ± 0.06 cm:iin, $p < 0.01$). Hiihtäjillä oli paksumpi SWTd ja PWTd ($p < 0.05 - 0.001$) kuin kontrollihenkilöillä viimeistä mittauskertaa lukuunottamatta (taulukko 6, s. 43).

Vasemman kammion massa (LVM) kasvoi kontrollihenkilöillä kolmen vuoden aikana 139.9 ± 25.3 g:sta 183.8 ± 31.5 g:aan ($p < 0.001$) ja hiihtäjillä kaksi ensimmäistä vuotta 173.7 ± 18.5 g:sta 206.6 ± 25.6 g:aan ($p < 0.001$). Hiihtäjillä oli suurempi LVM kuin kontrollihenkilöillä ($p < 0.001$) lukuunottamatta viimeistä mittauskertaa (n.s.) (taulukko 8 s. 45). Kun LVM normalisoitiin painolla, tilastollinen merkitsevyys säilyi mittauskertojen ($p < 0.01$), mutta ei ryhmien välillä (n.s.) (taulukko 7, s. 44).

Wall stress -indeksin (WS) yhdysvaikutus ($p < 0.05$) johtui siitä, että hiihtäjien WS kasvoi kahden ensimmäisen vuoden aikana ($p < 0.001$), kontrollihenkilöiden tulosten pysyessä koko ajan muuttumattomina. Myös kontraktiiteetti-indeksissä (IC) oli yhdysvaikutus ($p < 0.05$), joka johtui siitä, että molempien ryhmien arvot välillä suurenivat ja välillä pienenevät, mutta eri mittauskerroilla. Kontrollihenkilöillä oli suurempi kontraktiiteetti-indeksi kuin hiihtäjillä toista mittauskertaa lukuunottamatta ($p < 0.05 - 0.01$) (taulukko 8, s. 45).

Taulukko 6. Kaikukardiografiset muuttujat vasemmassa kylkiasennossa hiihtäjillä (H, n = 16) ja kontrollihenkilöillä (K, n = 12) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		mittaus				MANOVA		
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	1	2	3
EDD (cm)	H	5.56 ± 0.34	5.68 ± 0.39	5.87 ± 0.47	5.87 ± 0.41	***	*	n.s.
	K	5.23 ± 0.37	5.39 ± 0.30	5.55 ± 0.32	5.58 ± 0.49			
ESD (cm)	H ^a	4.10 ± 0.35	4.02 ± 0.31	4.25 ± 0.26	4.27 ± 0.28	*	**	*
	K ^b	3.77 ± 0.20	3.87 ± 0.18	3.91 ± 0.30	3.78 ± 0.33			
SD (cm)	H ^a	1.37 ± 0.09	1.43 ± 0.07	1.40 ± 0.07	1.39 ± 0.07	n.s.	n.s.	n.s.
	K ^b	1.41 ± 0.10	1.40 ± 0.09	1.43 ± 0.06	1.47 ± 0.12			
SWTd (cm)	H	0.84 ± 0.05	0.88 ± 0.07	0.89 ± 0.05	0.86 ± 0.05	***	**	**
	K	0.75 ± 0.07	0.79 ± 0.07	0.84 ± 0.05	0.88 ± 0.07			
PWTd (cm)	H	0.84 ± 0.05	0.85 ± 0.06	0.90 ± 0.06	0.88 ± 0.07	**	**	**
	K	0.78 ± 0.05	0.80 ± 0.06	0.81 ± 0.06	0.86 ± 0.06			

EDD = vasemman kammion diastolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, SD = iskudimensio, SWTd = kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, ^a n=15, ^b n=11)

Taulukko 7. Normalisoidut kaikukardiografiset muuttujat vasemmassa kylkiasennossa hiihtäjillä (H, n = 16) ja kontrollihenkilöillä (K, n = 12) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		mittaus				MANOVA		
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	1	2	3
EDD/pituus (cm)	H	0.031 ± 0.002	0.031 ± 0.002	0.032 ± 0.002	0.032 ± 0.002	**	*	n.s.
	K	0.030 ± 0.002	0.030 ± 0.002	0.031 ± 0.002	0.031 ± 0.003			
ESD/pituus (cm)	H ^a	0.023 ± 0.002	0.022 ± 0.002	0.023 ± 0.001	0.023 ± 0.001	*	**	n.s.
	K ^b	0.021 ± 0.002	0.021 ± 0.001	0.022 ± 0.002	0.021 ± 0.002			
LVM/paino (g)	H	2.61 ± 0.35	2.65 ± 0.35	2.82 ± 0.38	2.69 ± 0.39	**	n.s.	n.s.
	K	2.29 ± 0.42	2.41 ± 0.43	2.54 ± 0.36	2.70 ± 0.55			

EDD = vasemman kammion loppudiasistolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen lyhenemä, LVM = vasemman kammion massa
(^a n=15, ^b n=11)

Taulukko 8. Kaikukardiografiset muuttujat vasemmassa kylkiasennossa hiihtäjillä (H, n = 16) ja kontrollihenkilöillä (K, n = 12) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		mittaus			MANOVA			
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus		4. mittaus		
LVM (g)	H	173.7 ± 18.5	187.2 ± 24.7	206.6 ± 25.6	199.8 ± 25.3	***	***	n.s.
	K	139.9 ± 25.3	153.5 ± 23.0	169.0 ± 19.6	183.8 ± 31.5	n.s.	n.s.	*
FS (%)	H ^a	26.8 ± 4.4	29.7 ± 3.7	28.3 ± 3.8	28.1 ± 3.4	n.s.	n.s.	*
	K ^b	28.5 ± 5.0	28.2 ± 4.7	30.0 ± 3.2	31.5 ± 5.8	n.s.	n.s.	**
HI	H	0.30 ± 0.03	0.31 ± 0.03	0.31 ± 0.03	0.30 ± 0.03	n.s.	n.s.	**
	K	0.29 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.31 ± 0.03	*	n.s.	*
WS (mmHg)	H	36.8 ± 4.8	38.4 ± 6.1	41.4 ± 5.6	39.8 ± 5.8	n.s.	n.s.	*
	K	38.7 ± 5.1	38.0 ± 5.1	38.8 ± 5.0	40.3 ± 4.9	n.s.	**	*
IC	H ^a	1.14 ± 0.21	1.23 ± 0.22	1.16 ± 0.17	1.15 ± 0.17	n.s.	**	*
	K ^b	1.39 ± 1.17	1.32 ± 0.10	1.36 ± 0.20	1.39 ± 0.15	n.s.	**	*

LVM = vasemman kammin massa, FS = fractional shortening = vasemman kammin prosentuaalinen systolinen lyhenemä, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress-indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi
(^a n=15, ^b n=11)

Hiihtäjien EDD:n ja maksimaalisen hapenoton välillä oli korrelaatio kolmella ensimmäisellä mittauskerralla: 1. *mittaus* ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$), $r = .64$, $p < 0.01$; ($1 \cdot \text{min}^{-1}$), $r = .59$, $p < 0.05$; 2. *mittaus* ($1 \cdot \text{min}^{-1}$), $r = .53$, $p < 0.05$; 3. *mittaus* ($1 \cdot \text{min}^{-1}$), $r = .53$, $p < 0.05$. Hiihtäjien PWTd:n ja systolisen lepoverenpaineen erotusmuuttujien välinen positiivinen riippuvuussuhde ilmeni regressioanalyysin tuloksista ($\text{PWTd} = 0.0058 \cdot (\text{syst. verenpaine, lepo}) + 0.010$, $r = .55$, $p < 0.05$). Korrelaatiotulokset ovat liitteessä 7.

Kontrollihenkilöillä oli negatiivinen korrelaatio EDD:n ja ortostaattisen leposykkeen välillä toisella ($r = -.77$, $p < 0.01$) ja viimeisellä ($r = -.72$, $p < 0.01$) mittauskerralla. (liite 8).

6.1.6 Kuormituskaikukardiografiset tulokset

Hiihtäjien ja kontrollihenkilöiden lukumäärät kuormitusmittauksissa olivat pienemmät kuin lepotilanteessa, koska joiltakin henkilöiltä oli mahdoton mitata riittävän selviä digitoitaviksi kelpaavia kuormituskaikukardiogrammeja. Vaikka polkemisasento oli suhteellisen stabiili, ylävartalon ja sydämen liikkuvuudesta johtuen kuormituskaikukardiogrammien rekisteröimisessä oli vaikeuksia. Koehenkilöitä pyydettiin välttämään liiallista hengityksen kiihtymistä kuormituksen aikana. Joidenkin koe- ja kontrollihenkilöiden hengitys kuitenkin kiihtyi niin paljon, että keuhkot tulivat sydämen eteen, jolloin oli mahdoton saada riittävän hyvää kaikukardiogrammia.

Kuormituskaikukardiogrammeja tarkasteltiin kontrollihenkilöillä 50 W:n ja hiihtäjillä 100 W:n kuormalta. Syketason perusteella edellä mainittujen kuormitusten katsottiin vastaavan toisiaan.

Hiihtäjien syke oli kolmen vuoden jälkeen $24 \text{ krt} \cdot \text{min}^{-1}$ ja kontrollihenkilöiden syke $9 \text{ krt} \cdot \text{min}^{-1}$ alhaisempi kuin tutkimuksen alussa. Hiihtäjillä systolinen verenpaine oli korkeimmillaan ($166.1 \pm 14.7 \text{ mmHg}$) ensimmäisen vuoden jälkeen. Tutkimuksen lopussa hiihtäjien systolinen verenpaine oli 15 mmHg korkeampi ($157.1 \pm 7.1 \text{ mmHg}$)

kuin tutkimuksen alussa (142.2 ± 12.8 mmHg) ($p < 0.01$). Kontrollihenkilöiden systolinen verenpaine pysyi lähes samana (keskimäärin 143 mmHg) koko tutkimusjakson ajan (liite 9).

Hiihtäjillä EDD pysyi ensimmäisen vuoden muuttumattomana, mutta kasvoi kahden ja kolmen vuoden jälkeen lähtötilanteeseen verrattuna ($p < 0.01$). Kontrollihenkilöiden EDD kasvoi lähtötilanteeseen nähden jokaisella mittauskerralla ($p < 0.05 - 0.001$). Hiihtäjien EDD oli jokaisella mittauskerralla suurempi kuin kontrollihenkilöiden ($p < 0.05$) viimeistä mittauskertaa lukuunottamatta. Hiihtäjien EDD oli tutkimuksen alussa 5.72 ± 0.47 cm ja lopussa 6.14 ± 0.39 cm ($p < 0.01$) ja kontrollihenkilöiden vastaavasti 5.26 ± 0.34 cm ja 5.68 ± 0.54 cm ($p < 0.05$) (taulukko 9, s. 48). Iskudimensiossa (SD) ja vasemman kammion prosentuaalisessa systolisessa lyhenemässä (FS) ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia (taulukot 9 ja 10, s. 48 ja 49).

Hiihtäjillä kuormitus-EDD:n ja maksimaalisen hapenoton ($l \cdot \text{min}^{-1}$) välillä oli korrelaatio kolmella ensimmäisellä mittauskerralla: 1. *mittaus* ($l \cdot \text{min}^{-1}$), $r = .55$, $p < 0.05$; 2. *mittaus* ($l \cdot \text{min}^{-1}$), $r = .69$, $p < 0.05$; 3. *mittaus* ($l \cdot \text{min}^{-1}$), $r = .78$, $p < 0.01$. (Liite 10). Kontrollihenkilöiden EDD korreloi negatiivisesti ortostaattisen leposykkeen kanssa ($r = -.75$, $p < 0.01$) ja seisoen mitatun sykkeen kanssa ($r = -.58$, $p < 0.05$) viimeisellä mittauskerralla (liite 11).

6.1.7 Lepo- ja kuormituskaikukardiografian väliset erot

Levon ja kuormituksen väliset erot olivat molemmissa ryhmissä suhteellisen vähäisiä. Hiihtäjien EDD kasvoi levossa kahden ($p < 0.01$) ja kolmen vuoden jälkeen ($p < 0.01$) lähtötilanteeseen verrattuna, mutta 100 W:n kuormituksessa ei ollut muutoksia (liite 12). Kontrollihenkilöillä EDD kasvoi levossa kahden vuoden jälkeen ($p < 0.01$) ja 50 W:n kuormituksessa jokaisella mittauskerralla lähtötilanteeseen verrattuna ($p < 0.05 - 0.001$) (liite 14). Erot levon ja rasituksen välillä FS:ssä, HI:ssä, WS:ssä ja IC:ssä olivat molemmilla ryhmillä vähäisiä (liitteet 13 ja 15).

Taulukko 10. Kaikukardiografiset muuttujat polkupyöräergometrikuormituksessa hiihtäjillä (H, 100 W, n = 8) ja kontrollihenkilöillä (K, 50 W, n = 9) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (* p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	MANOVA		
						1	2	3
FS (%)	H	29.6 ± 5.0	31.4 ± 1.9	30.6 ± 3.5	30.3 ± 3.4	n.s.	n.s.	n.s.
	K	33.6 ± 5.0	30.0 ± 5.4	31.6 ± 4.7	33.5 ± 5.7			
HI	H	0.28 ± 0.03	0.28 ± 0.04	0.28 ± 0.02	0.27 ± 0.03	n.s.	n.s.	n.s.
	K	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.02	0.29 ± 0.04	0.30 ± 0.03			
WS (mmHg)	H	40.4 ± 5.1	46.2 ± 7.7	44.5 ± 4.3	43.6 ± 4.0	n.s.	n.s.	n.s.
	K	42.9 ± 6.0	43.5 ± 7.1	42.1 ± 7.2	42.2 ± 5.0			
IC	H	1.40 ± 0.21	1.60 ± 0.25	1.41 ± 0.26	1.37 ± 0.29	n.s.	*	n.s.
	K	1.81 ± 0.23	1.65 ± 0.31	1.57 ± 0.23	1.61 ± 0.23			

FS = fractional shortening = vasemman kammin prosentuaalinen systolinen lyhenemä, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress-indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi

6.2 Vuosittaiset muutokset iso- ja pienisydämisillä hiihtäjillä

6.2.1 Antropometriset mittaukset ja ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio

Pituus ($p < 0.01$), paino ($p < 0.001$) ja BSA ($p < 0.001$) kasvoivat kolmen vuoden aikana (taulukko 11). Leposyke vaihteli isosydämisillä mittauskertojen välillä ja aleni pienisydämisillä ($p < 0.001$). Pienisydämisillä leposyke aleni kolmessa vuodessa ($15 \text{ lyöntiä} \cdot \text{min}^{-1}$) enemmän kuin isosydämisillä ($2 \text{ lyöntiä} \cdot \text{min}^{-1}$) (liite 16).

Taulukko 11. Antropometriset tulokset iso- (I, $n = 9$) ja pienisydämisillä hiihtäjillä (P, $n = 7$) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, n.s. = ei merkitsevä).

		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	MANOVA		
						1	2	3
Pituus (cm)	I	181.2 ± 7.3	183.5 ± 6.3	184.0 ± 6.7	184.3 ± 6.7	**	n.s.	n.s.
	P	177.7 ± 5.1	180.0 ± 5.9	179.9 ± 6.2	180.1 ± 6.2			
Paino (kg)	I	70.0 ± 8.7	73.6 ± 8.4	77.2 ± 9.7	78.2 ± 9.8	***	n.s.	n.s.
	P	63.5 ± 5.3	67.5 ± 7.4	69.5 ± 7.8	70.8 ± 8.0			
BSA (m ²)	I	1.89 ± 0.15	1.96 ± 0.13	2.00 ± 0.15	2.01 ± 0.15	***	n.s.	n.s.
	P	1.79 ± 0.10	1.86 ± 0.13	1.88 ± 0.13	1.90 ± 0.14			
Rasvaprosentti	I	9.8 ± 2.4	9.8 ± 2.0	10.3 ± 2.5	10.3 ± 2.2	n.s.	n.s.	n.s.
	P	9.2 ± 2.5	9.1 ± 2.9	9.1 ± 3.3	9.4 ± 2.4			

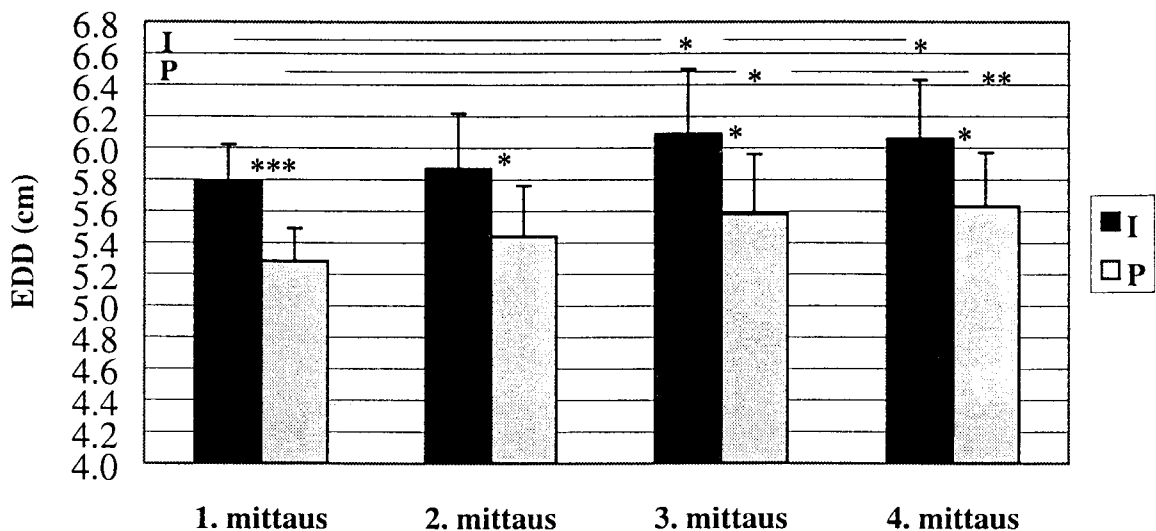
6.2.2 Maksimaalinen hapenotto ja harjoittelu

Sekä iso- että pienisydämisten hiihtäjien maksimaalinen hapenotto kasvoi jokaisella mittauskerralla lähtötilanteeseen verrattuna ($p < 0.05 - 0.01$). Tutkimuksen lopussa pienisydämiset saavuttivat isosydämisten maksimaalisen hapenoton lähtöarvot ($4.8 \pm 0.5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$). Isosydämisten maksimaalinen hapenotto oli $5.3 \pm 0.6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ tutkimuksen lopussa. Isosydämisillä hiihtäjillä oli suuremmat maksimaalisen hapenoton arvot kuin pienisydämisillä hiihtäjillä kahdella ensimmäisellä

mittauskerralla ($p < 0.05$). Teoreettinen maksimaalinen hapenotto ($VO_{2\max \text{ demand}}$) parani sekä iso- ($p < 0.001$) että pienisydämisillä ($p < 0.05 - 0.001$) koko tutkimuksen ajan alkuarvoihin nähden. Ryhmien välillä ei ollut eroja millään mittauskerralla (taulukko 12, s. 53). Iso- ja pienisydämisten harjoittelu ei poikennut tilastollisesti merkitsevästi tutkimusjakson aikana.

6.2.3 Lepokaikukardiografiset tulokset

Koko tutkimusjakson ajan ryhmien välinen ero EDD:ssä (n. 0.5 cm) säilyi merkitseväenä ($p < 0.05 - 0.001$). Isosydämisten EDD oli tutkimuksen alussa 5.79 ± 0.23 cm ja tutkimuksen lopussa 6.06 ± 0.37 cm ($p < 0.05$) ja pienisydämisten vastaavasti 5.28 ± 0.21 cm ja 5.63 ± 0.34 cm ($p < 0.01$) (kuva 4, taulukko 13 s. 54). Kun EDD normalisoitiin pituudella, mittauskertojen välillä ei tapahtunut muutoksia, mutta isosydämisten arvot olivat suuremmat kuin pienisydämisten arvot koko tutkimusjakson ajan ($p < 0.05 - 0.01$) (taulukko 14, s. 55). Tilastolliset merkitsevyydet hävisivät, kun EDD normalisoitiin BSA:lla (liite 17).



Kuva 4. Vasemman kammion loppudiasistolinen läpimitta (EDD) iso- (I) ja pienisydämisillä (P) hiihtäjillä eri mittauskerroilla. Tilastolliset merkitsevyydet ryhmien välillä ja ryhmien sisällä (verrattu ensimmäiseen mittauskertaan), *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

Vasemman kammion seinämissä havaittiin vain seuraava muutos: pienisydämisten PWTd kasvoi kahden vuoden jälkeen 0.84 ± 0.04 cm:stä 0.93 ± 0.03 cm:iin ($p < 0.01$) (taulukko 13, s. 54).

Isosydämisten LVM suureni kahden vuoden aikana 181.7 ± 18.0 g:sta 215.4 ± 26.5 g:aan ($p < 0.05$) ja pienisydämisten 163.4 ± 14.4 g:sta 195.3 ± 21.0 g:aan ($p < 0.001$) (taulukko 15, s. 56).

Monimuuttujaisen lineaarisen regressioanalyysin tuloksista ilmeni, että isosydämisten LVM ja systolinen lepoverenpaine ja seisomaannoususyke olivat positiivisessa riippuvuussuhteessa viimeisellä mittauskerralla ($LVM = 1.711 \cdot \text{syst. lepoverenpaine} + 0.936 \cdot \text{seisomaannoususyke} - 22.151$, $r = .92$, $p < 0.01$). Selitysprosentti oli 85, josta systolinen lepoverenpaine selitti 63 % ja seisomaannoususyke 22 %.

Isosydämisten EDD korreloi leposykkeen kanssa negatiivisesti toisella mittauskerralla ($r = -.68$, $p < 0.05$). Kolmannella mittauskerralla isosydämisten SWTd korreloi maksimaalisen hapenoton kanssa ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ($r = .75$, $p < 0.05$) ja PWTd maksimaalisen teoreettisen hapenoton ($\text{VO}_2 \text{ max demand}$)($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) kanssa ($r = .71$, $p < 0.05$). Pienisydämisillä ei ollut korrelaatioita muuttujien välillä.

Ryhmäjako iso- ja pienisydämiin tehtiin myös normalisoimalla EDD:n arvot koehenkilöiden pituudella, jolloin ryhmät muodostuivat seuraavanlaisiksi: isosydämiset $\text{EDD/pituus} \geq 0.032$ cm ($n = 8$), pienisydämiset $\text{EDD/pituus} \leq 0.031$ cm ($n = 8$). Kun muutokset laskettiin normalisoinnin jälkeen, osoittautuivat ne tilastollisesti samoiksi kuin absoluuttisten EDD:n arvojen mukaan iso- ja pienisydämisillä lasketut muutokset.

Taulukko 12. Maksimaalinen suorituskyky iso- (I, n = 9) ja pienisydämisillä (P, n = 7) hiihtäjillä eri mittauskerroilla MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkisevä).

		MANOVA						
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus			
$VO_{2\max}$	I ^a	4.8 ± 0.5	5.2 ± 0.5	5.3 ± 0.7	5.3 ± 0.6	1	2	3
(l · min ⁻¹)	P	4.2 ± 0.2	4.6 ± 0.6	4.7 ± 0.4	4.8 ± 0.5	**	*	n.s.
$VO_{2\max}$	I ^a	68.0 ± 2.7	69.9 ± 3.9	67.3 ± 5.1	66.9 ± 4.8	n.s.	n.s.	n.s.
(ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	P	66.7 ± 2.8	68.0 ± 3.7	68.4 ± 3.8	68.6 ± 4.9	n.s.	n.s.	n.s.
$VO_{2\max}$	I ^a	280.0 ± 10.4	295.5 ± 16.8	288.4 ± 22.2	285.6 ± 19.3	n.s.	n.s.	n.s.
(ml · kg ^{-2/3} · min ⁻¹)	P	265.8 ± 7.2	277.0 ± 19.2	280.8 ± 12.3	283.1 ± 17.4	n.s.	n.s.	n.s.
$VO_{2\max}$ teor.	I ^a	57.5 ± 2.8	65.6 ± 3.2	69.1 ± 4.2	67.4 ± 4.4	***	n.s.	n.s.
(ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	P	59.7 ± 3.4	64.6 ± 3.6	69.4 ± 4.1	70.3 ± 3.1	n.s.	n.s.	n.s.
Maksimisyke	I	196.6 ± 3.3	196.7 ± 4.4	195.2 ± 5.2	196.9 ± 5.9	n.s.	n.s.	n.s.
(krt · min ⁻¹)	P	188.7 ± 9.4	192.0 ± 8.7	189.9 ± 6.8	191.9 ± 9.1	n.s.	n.s.	n.s.
Maksimilaktaatti	I	6.4 ± 0.9	8.1 ± 1.2	10.8 ± 2.4	9.5 ± 2.2	***	n.s.	n.s.
(mmol · l ⁻¹)	P	6.0 ± 1.7	8.7 ± 1.6	10.2 ± 1.2	10.4 ± 1.3	***	n.s.	n.s.

(* n=8)

Taulukko 13. Kaikukardiografiset muuttujat vasemmassa kylkiasennossa iso- (I, n = 9) ja pienisydämisillä (P, n = 7) hiihtäjillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (** p<0.01, n.s. = ei merkitsevä).

		MANOVA			
		1	2	3	
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus
EDD (cm)	I	5.79 ± 0.23	5.87 ± 0.35	6.09 ± 0.41	6.06 ± 0.37
	P	5.28 ± 0.21	5.44 ± 0.32	5.58 ± 0.38	5.63 ± 0.34
ESD (cm)	I	4.15 ± 0.41	4.08 ± 0.30	4.33 ± 0.24	4.36 ± 0.32
	P ^a	4.02 ± 0.24	3.94 ± 0.33	4.14 ± 0.25	4.13 ± 0.14
SD (cm)	I	1.40 ± 0.09	1.44 ± 0.05	1.41 ± 0.08	1.39 ± 0.08
	P ^a	1.33 ± 0.06	1.41 ± 0.10	1.38 ± 0.06	1.40 ± 0.04
SWTd (cm)	I	0.82 ± 0.04	0.87 ± 0.07	0.87 ± 0.05	0.86 ± 0.05
	P	0.87 ± 0.05	0.89 ± 0.07	0.91 ± 0.04	0.87 ± 0.06
PWTd (cm)	I	0.83 ± 0.05	0.85 ± 0.07	0.89 ± 0.07	0.85 ± 0.05
	P	0.84 ± 0.04	0.85 ± 0.04	0.93 ± 0.03	0.90 ± 0.08

EDD = vasemman kammion loppudiastolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, SD = iskudimensio, SWTd = kammion väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa (^a n=6)

Taulukko 14. Normalisoidut echokardiografiset muuttujat vasemmassa kylkiasennossa iso (I, n = 9) ja pienisydämisillä (P, n = 7) hiihtäjillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		MANOVA						
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus			
EDD/pituus (cm)	I	0.032 ± 0.001	0.032 ± 0.002	0.033 ± 0.002	0.033 ± 0.001	1	2	3
	P	0.030 ± 0.001	0.030 ± 0.001	0.031 ± 0.002	0.031 ± 0.002	n.s.	**	n.s.
ESD/pituus (cm)	I	0.023 ± 0.002	0.022 ± 0.002	0.023 ± 0.001	0.024 ± 0.001	*	n.s.	n.s.
	P ^a	0.023 ± 0.001	0.022 ± 0.002	0.023 ± 0.001	0.023 ± 0.001	*	n.s.	n.s.
LVM/paino (g)	I	3.33 ± 0.47	3.38 ± 0.52	3.55 ± 0.46	3.36 ± 0.37	*	n.s.	n.s.
	P	3.28 ± 0.45	3.29 ± 0.37	3.59 ± 0.53	3.45 ± 0.66	*	n.s.	n.s.

EDD = vasemman kammion loppudiasistolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, LVM = vasemman kammion massa (* n=6)

Taulukko 15. Kaikukardiografiset muuttujat vasemmassa kylkiasennossa iso- (I, n = 9) ja pienisydämisillä (P, n = 7) hiihtäjillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (*** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		MANOVA			
		1. mittausta	2. mittausta	3. mittausta	4. mittausta
LVM (g)	I	181.7 ± 18.0	196.2 ± 23.9	215.4 ± 26.5	206.4 ± 20.3
	P ^a	163.4 ± 14.4	175.6 ± 21.9	195.3 ± 21.0	191.3 ± 30.0
FS (%)	I	28.3 ± 4.6	30.5 ± 2.5	28.7 ± 4.3	28.0 ± 4.1
	P ^a	24.6 ± 3.3	28.5 ± 5.1	27.6 ± 3.1	28.2 ± 2.3
HI	I	0.29 ± 0.01	0.29 ± 0.03	0.29 ± 0.03	0.28 ± 0.03
	P	0.33 ± 0.02	0.32 ± 0.02	0.33 ± 0.03	0.32 ± 0.02
WS (mmHg)	I	34.8 ± 1.9	37.6 ± 7.5	39.5 ± 4.9	37.9 ± 5.6
	P	39.3 ± 6.2	39.4 ± 4.2	43.9 ± 5.7	42.2 ± 5.3
IC	I	1.12 ± 0.22	1.21 ± 0.21	1.31 ± 0.15	1.11 ± 0.18
	P ^a	1.17 ± 0.23	1.25 ± 0.25	1.20 ± 0.20	1.21 ± 0.15

LVM = vasemman kammin massa, FS = fractional shortening = vasemman kammin prosentuaalinen systolinen lyhenemä, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress-indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi
(^a n=6)

6.3 Laji+kilpailukauden muutokset hiihtäjillä

6.3.1 Antropometriset mittaukset ja ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio

Koehenkilöiden paino nousi ensimmäisenä vuonna laji+kilpailukauden aikana keskimäärin 1.3 kg ($p < 0.01$) (taulukko 16). Leposykkeessä ei tapahtunut muutoksia kumpanakaan vuonna. Sekä systolinen että diastolinen lepoverenpaine nousivat ensimmäisen vuoden aikana ($p < 0.05$). Toisena vuonna systolinen lepoverenpaine aleni ($p < 0.05$) ja diastolinen lepoverenpaine puolestaan nousi ($p < 0.05$) (liite 18).

Taulukko 16. Antropometriset tulokset hiihtäjillä 1. ($n = 16$) ja 2. ($n = 14$) harjoitteluvuoden laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. T-testi (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

	1. vuosi			2. vuosi		
	alku	loppu	t-testi	alku	loppu	t-testi
Pituus (cm)	182.0 ± 6.2	182.4 ± 6.4	*	180.5 ± 4.9	180.7 ± 4.9	*
Paino (kg)	70.9 ± 8.3	72.2 ± 8.8	**	72.0 ± 8.5	71.8 ± 8.0	n.s.
BSA (m ²)	1.91 ± 0.14	1.93 ± 0.14	*	1.91 ± 0.12	1.91 ± 0.12	n.s.

6.3.2 Maksimaalinen hapenotto

Ensimmäisen vuoden laji+kilpailukauden aikana kaikki maksimaalisen hapenoton muuttujien tulokset paranivat ($p < 0.05 - 0.001$). Tilastollisesti merkitsevin muutos tapahtui teoreettisessa maksimaalisessa hapenotossa ($VO_{2\max\ demand}$), joka parani 65.1 ± 3.3 ml:sta \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ 69.2 ± 3.4 ml:aan \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ ensimmäisenä vuonna ($p < 0.001$) ja 69.7 ± 3.7 ml:sta \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ 71.4 ± 3.7 ml:aan \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ ($p < 0.05$) toisena vuonna (taulukko 17, s. 58).

Taulukko 17. Maksimaalinen suorituskyky hiihtäjillä 1. (n = 16) ja 2. (n = 14) harjoitteluvuoden laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. T-testi (*** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

	1. vuosi			2. vuosi		
	alku	loppu	t-testi	alku	loppu	t-testi
$l \cdot \text{min}^{-1}$	4.9 ± 0.6	5.2 ± 0.6	**	4.9 ± 0.6	5.0 ± 0.6	n.s.
$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	69.0 ± 3.8	70.8 ± 3.0	*	68.4 ± 4.3	69.5 ± 3.9	n.s.
$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$	286.9 ± 19.8	295.9 ± 14.8	*	284.5 ± 18.8	288.5 ± 17.5	n.s.
$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (teor.)	65.1 ± 3.3	69.2 ± 3.4	***	69.7 ± 3.9	71.4 ± 3.7	*
Maksimisyke (krt $\cdot \text{min}^{-1}$)	195.0 ± 6.9	192.4 ± 6.7	*	192.9 ± 6.3	194.3 ± 9.1	n.s.
Maksimilaktaatti ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)	8.5 ± 1.4	9.3 ± 2.2	n.s.	10.6 ± 2.0	11.6 ± 2.3	n.s.

6.3.3 Hiihtäjien harjoittelu

Vuoden aikana hiihtäjien harjoittelussa merkitsevät muutokset tapahtuivat kilpailukaudella kilometrien ($p < 0.01$), tuntien ($p < 0.001$) ja harjoittelukertojen määrissä ($p < 0.01$). Kun tarkasteltiin tutkimusjaksona olleen laji+kilpailukauden harjoittelua, oli vuoden aikana kilometrimäärä lisääntynyt keskimäärin 18 km ($p < 0.05$), harjoitteluun käytetty aika keskimäärin 1.6 h ($p < 0.05$) ja harjoittelukerrat keskimäärin 2.2 krt ($p < 0.01$) viikossa (taulukko 18, s. 59).

6.3.4 Lepokaikukardiografiset tulokset

Ensimmäisen vuoden laji+kilpailukaudella useimmissa kaikukardiografisissa muuttujissa tapahtui muutoksia. Muutokset olivat suurempia ja tilastollisia merkitsevyyksiä oli enemmän kuin toisen vuoden laji+kilpailukaudella. Ensimmäisen vuoden aikana EDD kasvoi 5.68 ± 0.41 cm:stä 5.84 ± 0.45 cm:iin ($p < 0.01$). LVM kasvoi 186.6 ± 25.4 g:sta 202.6 ± 26.2 g:aan ($p < 0.001$) ensimmäisen vuoden laji+kilpailukaudella. Toisen vuoden huomattavin muutos tapahtui wall stress - indeksissä (WS), joka pieneni 4.2 mmHg ($p < 0.001$). Pienenemiseen vaikutti eniten systolisen verenpaineen aleneminen 6.1 mmHg ($p < 0.01$). Kun ensimmäisen vuoden

EDD:n tulokset normalisoitiin pituudella, tilastollinen merkitsevyys ($p < 0.05$) ei ollut niin suuri kuin absoluuttisissa EDD:n arvoissa ($p < 0.01$). Kun ESD normalisoitiin pituudella ja LVM painolla, merkitsevyydet pysyivät ensimmäisenä vuonna samoina kuin absoluuttisissa arvoissa (taulukot 19 ja 20, s. 60 ja 61).

Kun EDD normalisoitiin BSA:lla, merkitsevyys pieneni ensimmäisenä vuonna ($p < 0.05$) absoluuttisiin arvoihin nähden ($p < 0.01$). Muiden muuttujien osalta tulosten tilastollinen merkitsevyys säilyi ensimmäisenä vuonna samana BSA:lla normalisoinnin jälkeen kuin mitä se oli absoluuttisissa arvoissa. Toisena vuonna normalisointi ei aiheuttanut muutoksia absoluuttiarvojen tuloksiin nähden (liite 19).

Ensimmäisenä vuonna EDD korreloi maksimaalisen hapenoton kanssa ($l \cdot \text{min}^{-1}$) laji+kilpailukauden alussa ($r = .53$, $p < 0.05$) ja lopussa ($r = .61$, $p < 0.05$). Toisen vuoden laji+kilpailukauden lopussa leposyke korreloi negatiivisesti EDD:n kanssa ($r = -.59$, $p < 0.05$). Korrelaatiotulokset on esitetty liitteessä 20.

Taulukko 18. Hiihtäjien harjoittelu peruskunto- (PK), laji- (LK), kilpailukaudella (KK) ja laji+kilpailukaudella (LK+KK). T-testi (***) $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

	n	1. vuosi	2. vuosi	t-testi	
PK 1	km · vko ⁻¹	11	94.3 ± 44.3	84.8 ± 46.6	n.s.
	h · vko ⁻¹	11	9.7 ± 3.6	10.0 ± 4.4	n.s.
	krt · vko ⁻¹	11	7.9 ± 4.0	8.5 ± 4.9	n.s.
PK 2	km · vko ⁻¹	11	81.6 ± 33.1	91.8 ± 49.7	n.s.
	h · vko ⁻¹	11	9.9 ± 2.4	10.7 ± 4.3	n.s.
	krt · vko ⁻¹	11	8.3 ± 3.5	8.7 ± 4.1	n.s.
LK	km · vko ⁻¹	12	111.9 ± 40.0	122.2 ± 49.6	n.s.
	h · vko ⁻¹	12	11.0 ± 2.7	12.1 ± 4.0	n.s.
	krt · vko ⁻¹	12	8.6 ± 3.5	9.7 ± 4.3	n.s.
KK	km · vko ⁻¹	9	63.6 ± 22.3	95.5 ± 38.0	**
	h · vko ⁻¹	12	6.0 ± 2.3	8.1 ± 3.3	***
	krt · vko ⁻¹	12	5.9 ± 3.9	7.4 ± 4.1	**
LK+KK	km · vko ⁻¹	9	90.9 ± 30.9	108.9 ± 44.3	*
	h · vko ⁻¹	12	8.5 ± 2.2	10.1 ± 3.5	*
	krt · vko ⁻¹	12	7.3 ± 3.6	8.5 ± 4.1	**

Taulukko 19. Kaikukardiografiset muuttujat hiihtäjillä vasemmassa kylkiasennossa 1. ja 2. harjoitteluvuoden laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. T-testi (***) $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

	1. vuosi				2. vuosi			
	n	alku	loppu	t-testi	n	alku	loppu	t-testi
EDD (cm)	15	5.68 ± 0.41	5.84 ± 0.45	**	14	5.76 ± 0.40	5.82 ± 0.38	n.s.
ESD (cm)	13	3.97 ± 0.30	4.27 ± 0.27	***	13	4.19 ± 0.21	4.27 ± 0.16	n.s.
SD (cm)	13	1.43 ± 0.07	1.38 ± 0.08	*	13	1.39 ± 0.07	1.38 ± 0.06	n.s.
SWTd (cm)	15	0.87 ± 0.07	0.87 ± 0.06	n.s.	14	0.90 ± 0.04	0.87 ± 0.05	n.s.
PWTd (cm)	15	0.85 ± 0.06	0.91 ± 0.07	**	14	0.92 ± 0.05	0.87 ± 0.07	**
LVM (g)	15	186.6 ± 25.4	202.6 ± 26.1	***	14	204.1 ± 25.1	197.1 ± 30.2	n.s.
FS (%)	13	30.1 ± 3.7	27.2 ± 4.1	*	13	28.1 ± 4.1	27.3 ± 3.4	n.s.
HI	15	0.31 ± 0.03	0.30 ± 0.03	n.s.	14	0.32 ± 0.03	0.30 ± 0.02	*
WS (mmHg)	15	38.7 ± 6.2	37.8 ± 4.7	n.s.	14	42.1 ± 5.5	37.9 ± 5.1	***
IC	13	1.26 ± 0.22	1.05 ± 0.17	***	13	1.17 ± 0.18	1.08 ± 0.14	*

EDD = vasemman kammion loppudiatolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, SD = iskudimensio, SWTd = kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, LVM = vasemman kammion massa, FS = fractional shortening = vasemman kammion prosentuaalinen systolinen lyhenemä, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress -indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi

6.3.5 Kuormituskaikukardiografiset tulokset

Kuormituskaikukardiografisia tilastollisesti merkitseviä muutoksia oli vähän 50 W:n ja 100 W:n kuormituksissa ja kaikki muutokset tapahtuivat ensimmäisen vuoden laji+kilpailukaudella. EDD kasvoi (5.80 ± 0.51 cm:stä 6.01 ± 0.55 cm:iin) merkitsevästi vain 100 W:n kuormituksessa ensimmäisen vuoden aikana ($p < 0.05$) (taulukot 21 ja 22, s. 61 ja 62). Kuvissa 3 ja 4 (s. 63) on nähtävissä EDD:n muutokset levossa ja kuormituksessa eri kausina molempina vuosina.

Ensimmäisenä vuonna laji+kilpailukauden alussa ($r = .69$, $p < 0.05$) ja lopussa ($r = .73 - .80$, $p < 0.01$) 100 W:n kuormituksella EDD korreloi maksimaalisen hapenoton kanssa (liite 21).

Taulukko 20. Normalisoidut kaikukardiografiset muuttujat vasemmassa kylkiasennossa 1. ja 2. harjoitteluvuoden laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. T-testi (*** $p < 0.001$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

	1. vuosi				2. vuosi			
	n	alku	loppu	t-testi	n	alku	loppu	t-testi
EDD/pituus (cm)	15	0.031 ± 0.002	0.032 ± 0.002	*	14	0.032 ± 0.002	0.032 ± 0.002	n.s.
ESD/pituus (cm)	13	0.022 ± 0.002	0.024 ± 0.002	***	13	0.023 ± 0.001	0.024 ± 0.001	n.s.
LVM/paino (g)	15	2.65 ± 0.37	2.83 ± 0.54	***	14	2.85 ± 0.39	2.75 ± 0.41	n.s.

EDD = vasemman kammion loppudastolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, LVM = vasemman kammion massa

Taulukko 21. Kaikukardiografiset muuttujat hiihtäjillä 50 W:n polkupyöraergometrikuormituksessa 1. ja 2. harjoitteluvuoden laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. T-testi (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

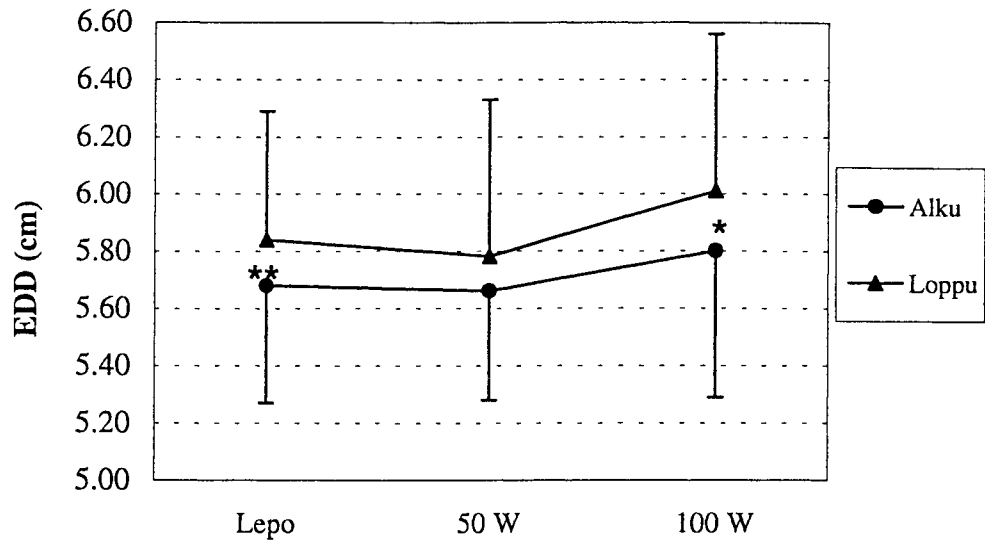
	1. vuosi				2. vuosi			
	n	alku	loppu	t-testi	n	alku	loppu	t-testi
EDD (cm)	7	5.66 ± 0.38	5.78 ± 0.55	n.s.	6	5.64 ± 0.06	5.73 ± 0.17	n.s.
ESD (cm)	8	3.86 ± 0.37	4.06 ± 0.41	*	5	4.12 ± 0.24	4.19 ± 0.17	n.s.
SD (cm)	7	1.46 ± 0.09	1.41 ± 0.08	n.s.	5	1.37 ± 0.07	1.38 ± 0.04	n.s.
SWTd (cm)	7	0.90 ± 0.05	0.87 ± 0.05	n.s.	5	0.87 ± 0.05	0.85 ± 0.06	n.s.
PWTd (cm)	7	0.84 ± 0.10	0.90 ± 0.07	**	6	0.87 ± 0.06	0.86 ± 0.05	n.s.
FS (%)	7	31.3 ± 3.8	29.2 ± 3.9	n.s.	5	27.1 ± 3.7	27.6 ± 2.0	n.s.
HI	7	0.31 ± 0.03	0.31 ± 0.03	n.s.	5	0.31 ± 0.02	0.30 ± 0.02	n.s.
WS (mmHg)	7	42.9 ± 6.2	43.6 ± 6.3	n.s.	6	44.7 ± 6.7	41.1 ± 4.2	n.s.
IC	8	1.53 ± 0.32	1.37 ± 0.33	**	5	1.36 ± 0.24	1.21 ± 0.15	n.s.

EDD = vasemman kammion loppudastolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, SD = iskudimensio, SWTd = kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, LVM = vasemman kammion massa, FS = fractional shortening = vasemman kammion prosentuaalinen systolinen lyhenemä, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress -indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi

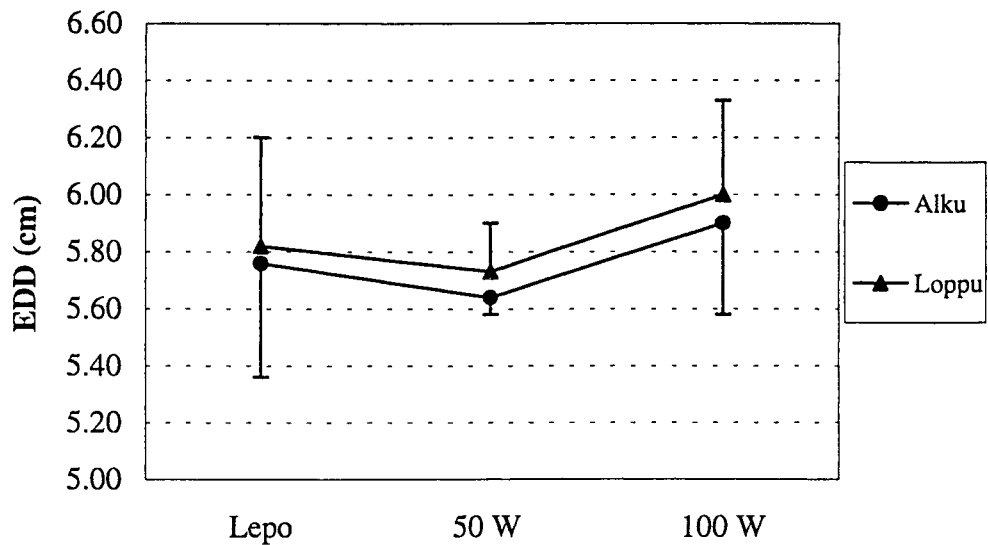
Taulukko 22. Kaikukardiografiset muuttujat hiihtäjillä 100 W:n polkupyöraergometrikuormituksessa 1. ja 2. harjoitteluvuoden laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. T-testi (* $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

	1. vuosi				2. vuosi			
	n	alku	loppu	t-testi	n	alku	loppu	t-testi
EDD (cm)	11	5.80 ± 0.51	6.01 ± 0.55	*	8	5.90 ± 0.32	6.00 ± 0.33	n.s.
ESD (cm)	11	3.87 ± 0.46	4.05 ± 0.50	*	9	4.08 ± 0.26	4.09 ± 0.27	n.s.
SD (cm)	11	1.51 ± 0.10	1.49 ± 0.11	n.s.	8	1.47 ± 0.07	1.48 ± 0.10	n.s.
SWTd (cm)	11	0.87 ± 0.08	0.83 ± 0.07	*	7	0.86 ± 0.04	0.85 ± 0.06	n.s.
PWTd (cm)	11	0.83 ± 0.08	0.88 ± 0.06	n.s.	8	0.88 ± 0.07	0.87 ± 0.04	n.s.
FS (%)	11	33.5 ± 4.0	32.7 ± 4.8	n.s.	8	31.6 ± 3.3	31.9 ± 4.4	n.s.
HI	11	0.29 ± 0.03	0.29 ± 0.03	n.s.	7	0.30 ± 0.02	0.29 ± 0.02	n.s.
WS (mmHg)	11	47.7 ± 7.0	46.7 ± 4.6	n.s.	8	48.0 ± 7.5	44.5 ± 4.5	n.s.
IC	11	1.72 ± 0.42	1.54 ± 0.39	*	9	1.53 ± 0.26	1.41 ± 0.22	n.s.

EDD = vasemman kammion loppudastolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, SD = iskudimensio, SWTd = kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, LVM = vasemman kammion massa, FS = fractional shortening = vasemman kammion prosentuaalinen systolinen lyhenemä, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress -indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi



Kuva 5. Vasemman kammion loppudiasastolinen läpimitta (EDD) laji+kilpailukauden alussa ja lopussa levossa ja kuormituksessa (50 ja 100 W) ensimmäisenä vuonna (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$).



Kuva 6. Vasemman kammion loppudiasastolinen läpimitta (EDD) laji+kilpailukauden alussa ja lopussa levossa ja kuormituksessa (50 ja 100 W) toisena vuonna.

7 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa haluttiin tutkia urheilijan sydämen kehittymistä kolmen vuoden tutkimusjakson aikana. Yleensä huomattava hapenoton kehitys ja sydämen koon kasvu nuorilla hiihtäjillä tapahtuu 16-20 ikävuoden välillä (Rusko 1987). Dynaamisen harjoittelun seurauksena sydämen adaptoitumisessa on aluksi havaittavissa vain toiminnallisia muutoksia ilman mitattavissa olevia dimensionaalisia muutoksia (Keul ym. 1982, Urhausen & Kinderman 1992). Harjoittelu vähentää sydämen jälkikuormaa ja sydän tyhjenee paremmin, mistä seuraa pienempi systolinen tilavuus. Ilman sydämen koon kasvua iskuutilavuus voi näin ollen kasvaa. Kun kestävyysharjoittelu on intensiivistä, $\geq 12 \text{ h} \cdot \text{vko}^{-1}$, sydämen dimensiot kasvavat. Iskuutilavuus kasvaa rasiuksessa enemmän harjoitelleilla kuin harjoittelemattomilla. Intensiivinen, $\geq 12 \text{ h} \cdot \text{vko}^{-1}$, staattinen harjoittelu paksuntaa sydämen seinämiä, kasvattaa lihasmassaa ja pienentää onteloita, jolloin sydämessä tapahtuu konsentrista seinämien paksuuntumista. (Keul ym. 1982.)

Aikaisemmissa tutkimuksissa kaikukardiografisia tuloksia on yleensä käsitelty absoluuttisina arvoina, mutta mieluummin tulisi käyttää normalisoituja arvoja (Urhausen & Kinderman 1992). Yleisimmin normalisoidaan kehon pinta-alalla (BSA), pituudella tai painolla. Normalisoinnista seuraa, että esim. kestävyysurheilijoiden ja painonnostajien seinämät eivät eroa paksuudeltaan (Fisher ym. 1989, Hagan ym. 1985). Yleisesti käytössä oleva BSA:lla normalisointi on kyseenalainen, koska yksidimensionaalisia muuttujia on jaettu kaksidimensionaalisella muuttujalla (Hagan ym. 1985, Schaible & Scheuer 1981, Wolfe ym. 1979).

Tässä tutkimuksessa kaikukardiografisten muuttujien tuloksia tarkasteltiin pääasiassa absoluuttisina arvoina ja lisäksi käytettiin suhteellisen runsaasti erilaisia normalisointeja. Kun nuorten koehenkilöiden tuloksia normalisoidaan, on otettava huomioon, että heidän pituutensa ja painonsa muuttuvat nopeasti, mikä vaikuttaa tuloksiin. Monissa aikaisemmissa tutkimuksissa koehenkilöt ovat olleet melko vähän

harjoitelleita urheilijoita ja seuranta-aika on ollut suhteellisen lyhyt toisin kuin tässä tutkimuksessa.

7.1 Sydämen rakenteelliset muutokset

Eri kaikukardiografisten tutkimusten yhteenvetotuloksista on urheilijoiden keskimääräiseksi EDD:ksi saatu 5.4 cm (Maron, 1986) ja 5.35 cm. (Perrault & Turcotte, 1994). Pitkanmatkanjuoksijoiden EDD oli 5.32 cm, pyöräilijöiden 5.51 cm ja voimalajien urheilijoiden 5.32 cm meta-analyysitutkimuksessa (Fagard 1996). Tämän tutkimuksen hiihtäjillä oli jo tutkimuksen alussa urheilijan sydän, koska EDD oli 5.56 cm. Hiihtäjien sydän oli alkanut harjoittelun myötä kehittyä ennen 15-16 vuoden ikää ja/tai he edustivat luonnostaan valikoitunutta kyvykkäiden hiihtäjien ryhmää, jolla oli jo tutkimuksen alussa suuremmat sydämen dimensiot. Hiihtäjien harjoittelu oli tutkimusta ennen ja sen aikana etupäässä volyyimityötyyppistä, koska sydämessä oli tapahtunut ja tapahtui pääasiassa laajenemista. Edellä mainittua päätelmää tuki myös hiihtäjien hypertrofiaindeksin muuttumattomuus tutkimuksen aikana. Tämän tutkimuksen lopussa EDD:n arvo 5.87 cm oli melkein sama kuin 24.5-vuotiailla kestävyysjuoksijoilla (5.72 cm) (MacFarlane ym. 1991), joten tämän tutkimuksen hiihtäjiä voidaan pitää hyvin harjoitelleina kestävyysurheilijoina.

Urhausen & Kindermanin (1992) mukaan kestävyysurheilijoiden EDD oli pienempi kuin 6.0 cm ja se on harvoin ollut yli 6.2 cm. Suurin ammattilaispyöräilijöiden EDD oli 6.2 cm (Rodriguez Reguero ym. 1995). Pelliccian ym. (1995) mukaan 7 cm on EDD:n fysiologinen yläraja. Bienmüller ym. (1982) tutkimuksessa 16-22-vuotiailla murtomaahiihtäjillä EDD oli 5.2 cm, joka ei kasvanut 4-5 kuukauden harjoittelun jälkeen. Nuorten jääkiekkoilijoiden sydän laajeni vasta neljännen harjoitteluvuoden jälkeen (Meško ym. 1993).

EDD:n muutoksia tarkasteltaessa oli merkillepantavaa, että EDD:n kasvu pysähtyi kahden vuoden jälkeen kummallakin ryhmällä. Kontrollihenkilöiden EDD:n arvot

saavuttivat tutkimuksen lopussa hiihtäjien lähtöarvot. EDD:n ero ryhmien välillä säilyi samana (0.3 cm) koko tutkimusjakson ajan, joten hiihtäjien ja kontrollihenkilöidenkin sydän oli kehittynyt jo ennen tutkimusjakson alkua. Seurantajakson aikana tapahtui vain normaalia kasvun mukanaan tuomaa kehitystä. Harjoittelu piti yllä jo saavutettuja sydämen dimensioita. Forsterin ym. (1986) ja Rost & Hollmannin (1983) pitkittäistutkimuksissa EDD oli suurempi 11-13-vuotiailla urheilijapojilla kuin kontrollihenkilöillä ja 1-2 vuoden aikana sydämen dimensiot kasvoivat molemmilla ryhmillä.

Kontrollihenkilöiden jatkuva fyysinen aktiivisuus vaikutti heidän kaikukardiografisten tulostensa paranemiseen normaalin kasvun lisäksi. Hiihtäjien tuloksiin saattoi vaikuttaa myös harjoittelusta johtuvat syyt: yliharjoittelu, liian vähäinen tai "väärä" harjoittelu. Mahdolliseen yliharjoitteluun viittasivat kuormitustilanteessa verenpaineitten vaihtelut, jotka heijastelevat häiriöistä kardiovaskulaarisessa säätelyssä. Vaikka leposyke pyrki tutkimuksen aikana pienenemään, oli kuitenkin ortostaattisessa testissä ylirasitukseen viittaavia muutoksia (syke-ero 25.8 lyöntiä \cdot min⁻¹ seisomaannoususykkeen ja leposykkeen välillä), jotka olivat suurimmillaan toisella mittauskerralla.

Lepoverenpaineissa ei ylirasitusoireita esiintynyt, mutta kuormituksessa systolinen verenpaine oli toisella mittauskerralla 23.9 mmHg korkeampi kuin ensimmäisellä mittauskerralla. Myös kolmannella ja neljännellä mittauskerralla systolinen verenpaine kuormituksessa oli edelleen korkealla ja kolmannella mittauskerralla myös lepoverenpaine oli korkeimmillaan ensimmäiseen mittauskertaan verrattuna.

Normaalisti kestävyysharjoittelu vähentää sympaattista ja lisää parasympaattista aktivaatiotasoa levossa ja submaksimaalisessa rasituksessa (Crawford ym. 1985, Fagard ym. 1983, Keul ym. 1982). Yliharjoittelun oireita ovat verenpaineen nousu (Kuipers & Keizer 1988) ja häiriöt kardiovaskulaarisen toiminnan autonomisessa säätelyssä (Piha 1988, Rusko ym. 1989). Yliharjoittelussa voidaan erottaa lyhyt- ja pitkäaikainen harjoittelusta johtuva tila. Lyhytaikainen yliharjoittelusta johtuva tila (overreaching) kestää muutamasta päivästä kahteen viikkoon ja häviää muutamassa

päivässä. Pitkäaikainen yliharjoittelutila (overtraining) kestää viikkoja tai kuukausia ja vaatii palautuakseen viikkoja ja kuukausia. Yliharjoittelun parasympaattinen muoto on dominoiva kestävyysurheilussa. (Lehmann ym. 1993.)

Kahden ensimmäisen vuoden aikana runsas voimaharjoittelu on voinut vaikuttaa siihen, että joidenkin urheilijoiden sydämen läpimitat pienenevät ja seinämät paksuuntuivat. Harjoittelun lisäksi varusmiespalvelus saattoi olla syy siihen, että sydän ei enää laajentunut. Varusmiespalveluksessa hiihtäjät eivät voineet harjoitella yhtä paljon kuin aikaisemmin. On ilmeistä, että 18 ikävuoden jälkeen vuosia jatkuvan harjoittelun on kovennuttava huomattavasti, ennen kuin sydän laajenee lisää.

Kontrollihenkilöiden fyysinen aktiivisuus tutkimuksen aikana oli niin suuri, ettei heitä voitu pitää varsinaisina inaktiiveina kontrollihenkilöinä. Korkein mittauskerran keskimääräinen maksimaalisen hapenoton tulos oli $59.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ja paras henkilökohtainen arvo oli $65 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Tavallisten koulupoikien maksimaalinen hapenotto oli 15-vuotiaana $49.1 \pm 4.41 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($2.61 \pm 0.29 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) ja 18-vuotiaana $51.8 \pm 6.31 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($3.05 \pm 0.38 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) (Kobayashi ym. 1978). Kontrollihenkilöt harrastivat tutkimuksen alkupuoliskon aikana keskimäärin neljä tuntia viikossa eri liikuntalajeja ja loppupuoliskon aikana kolme tuntia viikossa. Tutkimusjakson loppupuolella liikunnan harrastaminen väheni, mutta toisaalta fyysistä aktiivisuutta lisäsi varusmiespalvelus. Myös kontrollihenkilöiden leposyke aleni tutkimuksen aikana ($14 \text{ lyöntiä} \cdot \text{min}^{-1}$). Tutkimuksen leposykkeen loppuarvo $65 \text{ lyöntiä} \cdot \text{min}^{-1}$ yhdessä hyvän maksimaalisen hapenoton kanssa kertoo, että ryhmää voitiin pitää fyysisesti aktiivisena ja hyväkuntoisena. Kontrollihenkilöiden fyysiseen aktiivisuuteen viittasi myös heidän pienet rasvaprosenttinsa, jotka eivät tutkimuksen aikana eronneet tilastollisesti merkitsevästi hiihtäjien rasvaprosenteista.

Kontrollihenkilöiden EDD, 5.23 cm , oli jo tutkimuksen alussa suurempi kuin yhteenvetotutkimuksesta saatu harjoittelemattomien henkilöiden EDD:n arvo 4.82 cm (Perrault & Turcotte 1994). Pitkänmatkanjuoksijoita vastaavien kontrollihenkilöiden

EDD oli 4.83 cm, pyöräilijöitä vastaavien 5.05 cm ja voimaurheilijoita vastaavien 5.19 cm (Fagard 1996).

Yllättävää oli kontrollihenkilöiden sydämen seinämien kasvu siten, että tutkimuksen alussa ryhmien välillä olleet tilastolliset merkitsevyydet SWTd:ssä ja PWTd:ssä hävisivät tutkimuksen lopussa. Yhtenä selityksenä voidaan pitää viimeisen vuoden varusmiespalvelusta, jossa oli painetyötyyppistä kuormitusta (mm. varusteiden kanto). Toisena selityksenä saattaisi olla se, että kontrollihenkilöiden vähemmän harjoiteltu sydän adaptoitui helpommin fyysisessä harjoittelussa kuin jo monen vuoden intensiivisen harjoittelun läpikäynyt hiihtäjien sydän. Pekkarisen (1986, 152) tutkimuksen samanikäisten (16.6 vuotta) hiihtäjäpoikien seinämät olivat paksummat kuin vertailuryhmällä. Pitkänmatkanjuoksijoiden (20.3 vuotta) ja kontrollihenkilöiden seinämäpaksuuksissa ei ollut eroja (Osborne ym. 1992).

Ensimmäinen hypoteesi, että hiihtäjien sydän on kontrollihenkilöiden sydäntä suurempi, piti paikkansa. Sen sijaan hypoteesi, että hiihtäjien sydän kasvaisi enemmän kuin kontrollihenkilöiden sydän, ei toteutunut.

7.2 Maksimaalinen hapenotto ja yhteydet sydämen kokoon

Tämän tutkimuksen hiihtäjät olivat tutkimuksen alussa 15-16-vuotiaita ja olivat harjoitelleet keskimäärin seitsemän vuotta ennen ensimmäisiä mittauksia. Tutkimuksen alkumittausten maksimaalinen hapenotto, $67 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, osoitti, että hiihtäjät olivat hyvin harjoitelleita urheilijoita jo tutkimuksen alkaessa. Vastaava arvo kontrollihenkilöillä oli $56 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Maksimaalinen hapenotto oli 24.5-vuotiailla kestävyysjuoksijoilla $74.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, joilla myös EDD (5.72 cm) oli lähellä tämän tutkimuksen hiihtäjien EDD:tä (MacFarlane ym.). Koehenkilöiden maksimaalisen hapenoton tuloksissa oli huomioitava se, että ensimmäinen mittaus tehtiin juoksumatolla juosten ja loput mittaukset sauvakävelynä. Sauvakävelynä suoritettussa testissä on saatu 2-3 % paremmat maksimaalisen hapenoton arvot kuin

ylämäkeen (3°) juosten (Hermansen 1973), joten hapenotto olisi todennäköisesti ollut $0.1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ parempi tutkimuksen alussa, jos testaus olisi tehty sauvakävelynä. Myös tottumattomuus juoksumattoon ensimmäisellä mittauskerralla saattoi vaikuttaa maksimaalista hapenottoa pienentävästi.

Kobayashin ym. (1978), Murasen ym. (1981) ja Ruskon (1987) tutkimuksissa maksimaalinen hapenotto parantui nuorilla vuosia harjoitelleilla urheilijoilla. Cunningham ym. (1984) neljän vuoden seurantatutkimuksessa maksimaalinen hapenotto ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$) parani 67 %, mutta kehon painoon suhteutettu maksimaalinen hapenotto parani vain vähän, kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi. Myös lähtötason on todettu vaikuttaneen siihen, miten nopeasti kunto nousee (Wenger & Bell 1986).

Vuosittainen edustushihtäjän maksimaalisen hapenoton paraneminen iän ja harjoittelun myötä oli $1\text{-}3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ikävuosina 15-20 (Rusko 1992). Hiihtäjien maksimaalinen hapenotto ja sydämen tilavuus alkavat tasaantua 20. ikävuoden jälkeen (Rusko 1987). Huipputaso hiihtäjien sekä maksimaalinen hapenotto että sydämen suhteellinen tilavuus kasvoivat myös 20. ikävuoden jälkeen, kun harjoittelumäärät ja -tehot lisääntyivät (Rusko 1992).

Hiihtäjien ja kontrollihenkilöiden nopea fyysinen kasvu ja painon nousu voidaan huomioda paremmin tuloksissa, kun maksimaalisen hapenoton tuloksia tarkastellaan muuttujalla $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$. Hiihtäjien maksimaalinen hapenotto parani vähittäin tutkimuksen aikana ja kontrollihenkilöiden maksimaalisen hapenoton kasvu pysähtyi ensimmäisen seurantavuoden jälkeen. Yllättävää tämän tutkimuksen tuloksissa oli se, että toisen maksimaalisen hapenoton muuttujan ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) tulokset käyttäytyivät samalla tavalla sekä hiihtäjillä että kontrolliryhmällä. Ryhmien välillä oli kuitenkin erittäin merkitsevä ero ($p < 0.001$). Suurin kasvu hapenotossa saavutettiin vuoden jälkeen, jonka jälkeen hapenoton arvot pienenevät. Vaikuttaa siltä, että maksimaalinen hapenotto, $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$, kuvasi paremmin nuorten hiihtäjien maksimaalisen hapenoton kehittymistä kuin $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Kun tuloksia tarkastellaan erityisesti murtomaahiihtäjille sopivalla maksimaalisen hapenoton muuttujalla, on tämän tutkimuksen hiihtäjien tulos, $287 \text{ ml} \cdot$

$\text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$, vielä kaukana menestyneitten hiihtäjien tuloksista, $358 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$ (Bergh 1987).

Hiihtäjillä koon vaikutuksen eliminoivan maksimaalisen hapenoton muuttuja ja kaikukardiografiset muuttujat korreloivat vain ensimmäisellä mittauskerralla. Vaikka kehon koon vaikutus murtomaahiihdon suorituskapasiteettiin ei ole kovin merkittävä, korreloivat muilla mittauskerroilla muut maksimaalisen hapenoton muuttujat, etenkin $l \cdot \text{min}^{-1}$, kaikukardiografisten muuttujien kanssa. Tämä osoitti, että isokokoisilla oli myös läpimitaltaan isoimmat sydämet ja että absoluuttisella maksimaalisella hapenotolla oli yhteyttä sydämen rakenteeseen ja toimintaan sekä levossa että kuormituksessa. Hiihtäjillä oli jo luultavasti tapahtunut sydämessä toiminnallisia muutoksia, jotka johtuivat heidän aikaisemmasta harjoittelustaan. Harjoittelun edelleen lisääntyessä myös rakenteellisia muutoksia oli havaittavissa. Kontrollihenkilöillä eivät maksimaalisen hapenoton muuttujat ja kaikukardiografiset muuttujat korreloineet keskenään, mikä johtunee siitä, että heidän fyysinen aktiivisuutensa vaihteli suuresti riippuen vuodenaajasta ja henkilöstä.

Wielingin ym. (1981) tutkimuksessa aloittelevilla ja huipputason soutajilla ei seitsemän kuukauden harjoittelujakson jälkeen esiintynyt tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita kaikukardiografisten muuttujien ja maksimaalisen hapenoton välillä. Urheilijoiden ja ei-urheilijoiden vasemman kammion läpimitta, vasemman kammion massa korreloivat maksimaalisen hapenoton kanssa (Bekaert ym. 1981, Dickhuth ym. 1983, Milliken ym. 1988, Osborne ym. 1992, Pannier ym. 1982). Maksimaalinen hapenotto parantui harjoittelulla ilman samanaikaisia muutoksia EDD:ssä (Perrault ym. 1982, Ricci ym. 1982, Thompson ym. 1981, Wieling ym. 1981). Vaikka EDD:ssä ei ollut eroja, vanhempien kestävyysurheilijoiden maksimaalinen hapenotto oli merkitsevästi pienempi kuin nuorempien (Heath ym. 1981). 1991). LVM korreloi maksimaalisen hapenoton ($l \cdot \text{min}^{-1}$) kanssa 12-17 -vuotiailla hiihtäjillä. Vanhemmilla (15-17 vuotta) pojilla LVM:n ja $\text{VO}_{2\text{max}}$:n ($l \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) välinen korrelaatio oli parempi kuin nuoremmilla (12-14 vuotta) pojilla. (Pekkarinen 1986, 152.)

Hiihtäjien maksimaalinen suorituskyky, joka laskettiin maksimitestissä tehtynä työnä ($\text{VO}_2 \text{ max demand}$) parani, vaikka maksimaalinen hapenotto kasvoi vain vähän. Suorituskyky parani kolmen vuoden aikana $10\text{-}11 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (17.4 %). Hiihtäjien hyötysuhde oli siis parantunut huomattavasti. Tätä selitti myös maksimilaktaatin kohoaminen tutkimuksen aikana eli laktaatin sietokyky oli parantunut. Hyötysuhteen paranemista havaittiin myös nuorilla keskipitkänmatkan juoksijoilla (Daniels ym. 1978).

Voidaan todeta, että toinen hypoteesi sydämen koon ja maksimaalisen hapenoton välisestä yhteydestä toteutui hiihtäjien osalta, joilla oli viimeistä mittauskertaa lukuunottamatta korrelaatioita EDD:n ja maksimaalisen hapenoton välillä. Kontrollihenkilöiden osalta hypoteesi ei toteutunut, koska heillä ei esiintynyt korrelaatioita.

7.3 Sydämen toiminnalliset muutokset kuormituksessa

Tässä tutkimuksessa sydämen kaikukardiografiset muuttujat mitattiin sekä lepotilassa että kuormituksessa. Kuormituksessa hiihtäjien 100 W:n ja kontrollihenkilöiden 50 W:n kuormat vastasivat ensimmäistä mittauskertaa lukuunottamatta rasittavuudeltaan toisiaan. EDD muuttui tutkimuksen aikana samalla tavoin sekä levossa että kuormituksessa. Hiihtäjien ja kontrollihenkilöiden EDD:n arvot eivät poikenneet toisistaan levon ja kuormituksen välillä. Se, että kontrollihenkilöiden EDD pyrki pienenemään jo 50 W:n kuormituksessa, kertoi hyvin sen eron, joka kuormitustilanteessa ilmeni, kun kontrollihenkilöitä verrattiin harjoitelleisiin hiihtäjiin, joilla EDD pyrki laajenemaan 100 W:n kuormituksessa lepoarvoihin nähden. Näin ollen hiihtäjät pystyivät hyödyntämään paremmin Frank-Starling-mekanismia kuin kontrollihenkilöt. Lisäksi kolmella ensimmäisellä mittauskerralla hiihtäjien kuormitus-EDD ja maksimaalinen hapenotto ($l \cdot \text{min}^{-1}$) korreloivat.

Pitkänmatkan juoksijoiden EDD oli merkitsevästi suurempi kuin kontrollihenkilöiden erilaisilla kuormitustasoilla (25-150 W) (Cohen & Segal 1985, DiBello ym. 1987) ja kuormitussykkeillä (110, 130, 150) (Schairer ym. 1992). Dickhuthin ym. (1981) tutkimuksen koehenkilöillä, joilla oli lähes sama fyysinen aktiivisuus ($2\text{h} \cdot \text{vko}^{-1}$) kuin tämän tutkimuksen kontrollihenkilöillä, EDD kasvoi 50 W:n kuormalla, pienentyi 100 W:n kuormalla ja kasvoi jälleen 150 W:n kuormalla.

Tutkimuksen kolmas hypoteesi sydämen toiminnallisesta erosta hiihtäjien ja kontrollihenkilöiden välillä toteutui eli kuormitustilanteessa ryhmät käyttäytyivät eri tavalla. Hiihtäjien EDD pyrki 100 W:n kuormituksessa laajenemaan. Kontrollihenkilöiden EDD pieneni jo 50 W:n kuormituksessa lepoarvoihin nähden.

7.4 Sydämen rakenteelliset muutokset iso- ja pienisydämisillä hiihtäjillä

Ei ole olemassa aikaisempia kaikukardiografisia tutkimuksia, joissa olisi verrattu, kuinka erikokoiset urheilijan sydämet ovat kehittyneet monivuotisen harjoittelun vaikutuksesta. EDD kasvoi kolmen vuoden aikana levossa lähes yhtä paljon sekä iso- että pienisydämisten ryhmällä, ja ero ryhmien välillä säilyi koko tutkimuksen ajan. Tuloksista näkyy, että sydämen dimensioiden kasvu jatkui kaksi ensimmäistä vuotta, mutta pysähtyi kolmantena vuotena. Ilmeisesti 18 vuoden iässä molemmat ryhmät saavuttivat harjoittelullaan EDD:n kasvussa jonkinlaisen "ylärajan".

Pienisydämisten maksimaalinen hapenotto ($l \cdot \text{min}^{-1}$) parani ($p < 0.01$) tutkimuksen aikana enemmän kuin isosydämisten ($p < 0.05$) hapenotto. Kuormituskaikukardiografisia mittaustuloksia ei kuitenkaan ollut käytettävissä riittävästi, että tulosten tilastollinen tarkastelu olisi ollut mahdollinen. Vaikutti kuitenkin siltä, että myös kuormitustilanteessa pienisydämisten sydämen toiminta parani enemmän kuin isosydämisten. EDD:n suhteellisen kasvun tarkastelu osoitti, että EDD kasvoi pienisydämisillä vähän enemmän kuin isosydämisillä. Koska molemmat ryhmät harjoittelivat yhtä paljon ja sydän oli laajentunut yhtä paljon, pienisydämisten sydän

adaptoitui harjoitteluun suhteellisesti enemmän kuin isosydämisten. Isosydämisillä esiintyi muuttujien välillä korrelaatioita, mutta ne eivät olleet niin merkittäviä, että niiden avulla olisi voinut tehdä selviä johtopäätöksiä. Pienisydämisillä ei korrelaatioita havaittu.

Suuri sydämen tilavuus näyttäisi olevan yhteydessä saavutettuihin tuloksiin. Suurin sydämen tilavuus suhteessa kehon painoon, $20 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$, oli 3000, 5000 ja 10000 metrin maailmanennätysjuoksijalla (Henry Rono) (Keul ym. 1982) ja yhdellä kaikkien aikojen menestyneimmistä pyöräilijöistä (Eddy Merckx) oli sydämen tilavuus 1600 ml (Hollmann ym. 1986). Tavallisten henkilöiden sydämen tilavuus suhteessa kehon painoon on $10\text{-}11 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ ja absoluuttinen sydämen tilavuus noin 800 ml (Keul ym. 1981).

Iso- ja pienisydämisten EDD:n lähtötilanteen arvot normalisoitiin koehenkilöiden pituudella. Eroja absoluuttisiin kaikukardiografisiin tuloksiin ei kuitenkaan kolmen vuoden aikana syntynyt. Tutkimuksen kolmen vuoden seuranta myös ainakin osittain takasi sen, että koehenkilöiden biologinen kasvu tutkimuksen lopussa oli samassa kehitysvaiheessa kaikilla koehenkilöillä.

Tutkimuksen neljäs hypoteesi iso- ja pienisydämisten samansuuruisesta kasvusta toteutui absoluuttisissa ja pituudella suhteutetussa tarkastelussa, mutta pienisydämisten EDD:n absoluuttiset arvot kasvoivat suhteellisesti enemmän kuin isosydämisten.

7.5 Sydämen rakenteelliset ja toiminnalliset muutokset laji+kilpailukaudella

Peruskuntokaudet 1 ja 2 ja kilpailukausi eroavat harjoituksellisesti toisistaan siten, että peruskuntokausilla harjoitellaan määrällisesti paljon ja peruskuntokausi 2:lla tulee mukaan myös tehoharjoittelua (1-2 %). Peruskuntokauden harjoittelu sisältää paljon mm. rullasuksihiihtoa. Kun käsiergometrillä tehty työ lisättiin maksimaaliseen jalkaergometrillä tehtyyn työhön, kasvoi maksimaalinen hapenotto $3.09 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$:sta

3.39 l · min⁻¹ :aan eli 10 % (p<0.002) (Gleser ym. 1974). Myös Reybrouck ym. (1975), Secher ym. (1974) ja Taylor ym. (1955) saivat samansuuntaisia tuloksia päinvastoin kuin Stenberg ym. (1967). Kilpailuihin valmistavan lajiharjoittelukauden loppupuolella harjoittelumäärät laskevat. Tällöin myös jo kilpaillaan ja kuormitukset ovat siten kovempia ja tehoharjoittelua on 5-7 %. Lajiin valmistavalla ja kilpailukaudella tulee mukaan yhdistettyä käsi- ja jalkatyötä yhdessä intensiivisen ylä- ja alamäkihihdon kanssa. Harjoittelu on täten sekä isotonista että isometristä (Pelliccia ym. 1991). Hiihtäjät saivat merkitsevästi (p<0.005) paremmat maksimaalisen hapenoton arvot ylämäkihihdossa kuin juoksumatolla (3^o) juosten. Ero naisilla oli 2.9 % ja miehillä 3.1 %. (Strømme ym. 1977.) Kilpailukaudella harjoittelussa on aerobisia ja vauhtikestävyysharjoitteita ja tehoharjoittelu lisääntyy 10-15 %. Tämän tutkimuksen hiihtäjien ympärivuotisessa harjoittelussa oli yllättävää se, että harjoittelu lisääntyi ainoastaan kilpailukaudella.

Maksimaalinen hapenotto (l · min⁻¹) parani vain ensimmäisen vuoden aikana. Toisen vuoden alkaessa lähtöarvot olivat lähes samat kuin ensimmäisenä vuonna. Kahdella muulla maksimaalisen hapenoton muuttujalla (ml · kg⁻¹ · min⁻¹, ml · kg^{-2/3} · min⁻¹) olivat toisen vuoden lähtöarvot jopa alhaisemmat kuin ensimmäisenä vuonna, ja parannusta oli tapahtunut vain ensimmäisenä vuonna. Näin ollen maksimaalisen hapenoton osalta toisen vuoden lähtötilanne laji+kilpailukauden alussa oli huonompi kuin ensimmäisen vuoden alussa. Fagardin ym. (1983) ja Snoeckxin ym. (1983) tutkimuksissa pyöräilijöiden ja pitkänmatkanjuoksijoiden maksimaalinen hapenotto oli korkeimmillaan juuri kilpailukaudella. Tämän tutkimuksen hiihtäjien maksimaalinen suorituskyky, joka laskettiin teoreettisena maksimaalisena hapenottona (VO_{2max demand}), parani molempina vuosina laji+kilpailukaudella, vaikka maksimaaliset hapenotot eivät toisena vuonna parantuneetkaan.

Ensimmäisenä vuonna laji+kilpailukaudella maksimaalinen hapenotto parani ja vasemman kammion diastolinen läpimitta kasvoi. Edellä mainitut muuttujat myös korreloivat keskenään laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. Toisena vuonna

muutokset olivat vähäiset sekä kaikukardiografisissa että maksimaalisen hapenoton muuttujissa.

Kaikukardiografisten ja maksimaalisen hapenoton tulosten muuttumattomuus laji+kilpailukaudella edellisen vuoden tuloksiin verrattuna viittaa siihen, että sydämen toiminta on pienentynyt ennen kaikkea kuormitustilanteessa. Vaikka kuormitukset olivat submaksimaalisia, on oletettavaa, että tulokset huononevat myös maksimaalisessa kuormituksessa ja siten myös kilpailutilanteessa. Tulosten muuttumattomuus ja jopa huononeminen viittaisivat harjoittelun muuttumiseen toisen vuoden aikana. Pyöräilijöiden EDD pysyi kilpailukaudella samana, mutta seinämät kasvoivat (Fagard ym. 1983). Sen sijaan pitkänmatkanjuoksijoiden EDD kasvoi kilpailukaudella, mutta seinämien mitat pysyivät muuttumattomina (Snoeckx ym. 1983). Naiskoripalloilijoiden EDD ja SWTd kasvoivat merkitsevästi harjoituskaudella, mutta seuranneella kilpailukaudella EDD, SWTd, PWTd ja LVM pienenivät (Crouse ym. 1992). Kansallisen tason mies- ja naissoutajilla ei ollut tapahtunut kaikukardiografisia muutoksia neljän eri harjoittelukauden aikana (Spataro ym. 1996). Hiihtäjillä seinämät kasvoivat siirryttäessä lepokaudesta intensiiviseen harjoittelukauteen, mutta EDD pysyi muuttumattomana (Bienmüller ym. 1982).

Vaikka harjoittelu kilpailukaudella on erilaista kuin peruskuntokaudella, saavutettu kuntotaso on tarkoitus säilyttää juuri kilpailukaudelle ja jopa parantaa suorituskyykyä. Koska toisen vuoden kaikukardiografiset tulokset pysyivät samoina, näyttäisi olevan aihetta kilpailukauden harjoittelun tarkistamiseen ja kehittämiseen.

Syynä tulosten vähäisiin parannuksiin ennen kaikkea toisena vuonna näyttäisi olevan harjoittelun pysyminen kilpailukautta lukuunottamatta samana. Toisaalta voitiin olettaa, että nuorten poikien harjoittelu ei ollut vielä monista harjoitteluvuosista huolimatta niin spesialisoitunutta säilyttämään ja kehittämään eri kausille tarvittavat ominaisuudet. Laji+kilpailukausi kestää 4.5-5 kuukautta, jona aikana hyvän kilpailusuorituksen varmistamiseksi täytyisi kunnan kaikkien tekijöiden olla

parhaimmillaan. Kyseinen ajanjakso on niin pitkä, että muutokset aina kaikukardiografisia muuttujia myöten tulisi olla nähtävissä.

Ensimmäisen vuoden kilpailukauden harjoittelu näytti onnistuvan hyvin. Maksimaalisen hapenoton ja kaikukardiografisten muuttujien arvot paranivat. Tämä vastasi tutkimuksen viidettä hypoteesia. Toisen vuoden tulosten muuttumattomuutta ei voi selittää yliharjoittelulla, koska ortostaattisen testin sykkeissä ja verenpaineissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Myöskään kuormitustilanteessa ei sykkeissä ja verenpaineissa löytynyt yliharjoitteluun viittaavia merkkejä. Ainoaksi selitykseksi jäänee se, että laji+kilpailukauden harjoittelu ei ollut kuitenkaan lisääntynyt riittävän paljon aiheuttaakseen muutoksia sydämen dimensioihin, joten hypoteesi ei toteutunut enää toisena vuonna.

8 YHTEENVETO

8.1 Yleistä

Tutkimuksen koehenkilöt olivat hyvin harjoitelleita hiihtäjiä jo tutkimuksen alussa, sillä heillä oli jo hyvät maksimaalisen hapenoton arvot ($67.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Myös heidän vasemman kammion loppudastolinen läpimittansa (EDD) 5.56 cm osoitti, että heille oli jo kehittynyt urheilijan sydän 15-16 vuoden iässä. Urheilijan sydän oli kehittynyt vuosia jatkuneesta etupäässä volyyymityötyyppisestä harjoittelusta. Tutkimuksen alussa myös kontrollihenkilöiden EDD oli jo suuri (5.23 cm), mikä johtui siitä, että he olivat fyysisesti aktiivisia ja positiivisesti liikuntaan suhtautuvia verrattuna muihin samanikäisiin henkilöihin. Hyvä maksimaalinen hapenotto ($59.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) osoitti heidän todella olevan hyväkuntoisia kontrollihenkilöitä.

Molemmilla ryhmillä EDD:n kasvu loppui kahden vuoden jälkeen. Yhtenä oletuksena voitiin pitää sitä, että EDD oli hiihtäjillä saavuttanut kasvussaan jonkinlaisen "ylärajan", johon senhetkiselällä harjoittelulla oli päästy. Myöskään maksimaalinen

hapenotto ei kasvanut enää viimeisenä vuonna. Kontrollihenkilöt saavuttivat hiihtäjien EDD:n lähtöarvot tutkimuksen lopussa. Toisena oletuksena hiihtäjien EDD:n kasvun pysähtymiseen saattoi olla myös yliharjoittelu, johon antoi epäilyjä verenpaineitten vaihtelut etenkin rasitustilanteessa ja sykereaktiot ortostaattisessa kokeessa.

Vaikka maksimaalinen hapenotto ei hiihtäjillä juurikaan kasvanut kolmen vuoden aikana, tapahtui maksimaalisessa suorituskyvyssä (VO_{2max} demand) paranemista. Suorituskyky parani $10 - 11 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (17.4 %). Hyötysuhde oli siis parantunut, mitä hieman selitti maksimilaktaatin kohoaminen tutkimuksen aikana.

Hiihtäjillä lepokaikukardiografisten muuttujien ja koon vaikutuksen eliminoivan maksimaalisen hapenoton muuttujien välillä oli korrelaatioita vain ensimmäisellä mittauskerralla ja muilla mittauskerroilla muiden maksimaalisen hapenoton muuttujien kanssa.

Hiihtäjillä oli paksummat vasemman kammion seinämät kuin kontrollihenkilöillä. Kontrollihenkilöillä seinämät kuitenkin kasvoivat tutkimuksen aikana niin paljon, että tutkimuksen lopussa ei ryhmien välillä enää ollut tilastollista eroa.

Kuormituksessa EDD muuttui samalla tavalla tutkimuksen aikana kuin levossa. Levossa ja kuormituksessa mitatut EDD:n arvot eivät poikenneet kummallakaan ryhmällä toisistaan. Kontrollihenkilöiden sydän ei pystynyt kuormitustilanteessa laajenemaan. Hiihtäjien sydän pyrki laajenemaan kuten urheilijan sydämen tuleekin toimia, mikä viittasi siihen, että he pystyivät hyötymään Frank-Starling -mekanismista.

Lähtötasoltaan pienisydämiset hiihtäjät eivät saavuttaneet kolmen vuoden aikana isosydämisten hiihtäjien EDD:n lähtöarvoja. Isosydämisillä oli korrelaatioita kaikukardiografisten ja fyysisen kunnon muuttujien välillä. Pienisydämisillä ei ollut ollenkaan korrelaatioita. Kun jakoperusteena iso- ja pienisydämiin hiihtäjiin käytettiin EDD:n normalisointia pituudella, muuttuivat kaikukardiografiset tulokset samalla tavalla kuin absoluuttiset kaikukardiografiset tulokset.

Pienisydämisten hiihtäjien maksimaalinen hapenotto ($l \cdot \text{min}^{-1}$) parani enemmän ($p < 0.01$) kuin isosydämisten ($p < 0.05$) tutkimuksen aikana, ja pienisydämiset saavuttivat vasta tutkimuksen lopussa isosydämisten lähtöarvot. Tutkimuksen lopussa teoreettinen maksimaalinen hapenotto ($\text{VO}_{2\text{max demand}}$) oli pienisydämisillä $70.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ja isosydämisillä $67.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ja koon erot eliminoiva maksimaalinen hapenotto oli pienisydämisillä $283.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$ ja isosydämisillä $285.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$ (n.s.).

Laji+kilpailukaudella ensimmäisenä vuonna maksimaalisen hapenoton ja lepokaikukardiografisten muuttujien tulokset paranivat ja myös korreloivat keskenään. Toisena vuonna muutokset olivat huomattavan vähäiset. Kuormituskaikukardiografisia muutoksia oli vähän, ja muutokset tapahtuivat ensimmäisenä vuonna. Maksimaalinen suorituskyky ($\text{VO}_{2\text{max demand}}$) parani molempina vuosina. LVM kasvoi laji+kilpailukaudella ensimmäisen vuoden aikana levossa, mutta toisena vuonna laji+kilpailukauden lopussa arvot olivat pienemmät kuin ensimmäisen vuoden vastaavana aikana. Laji+kilpailukauden harjoittelussa kilometrimäärä ($p < 0.05$), harjoitteluun käytetty aika ($p < 0.05$) ja harjoittelukerrat ($p < 0.01$) lisääntyivät tutkimusjakson aikana.

Tämän tutkimuksen tulokset olivat samansuuntaiset kuin aikaisempien tutkimusten tulokset eli sydän oli laajentunut kestävyysharjoittelun vaikutuksesta ja laajeni edelleen harjoittelun jatkuessa. Hiihtäjien EDD (5.87 cm) tutkimuksen lopussa oli suurempi kuin muiden tutkimusten kestävyysurheilijoiden. Myös kontrollihenkilöiden EDD (5.58 cm) oli suurempi kuin muissa tutkimuksissa saadut arvot. Yllättävää oli kuitenkin se, että sydämen laajeneminen pysähtyi kahden vuoden jälkeen eli koehenkilöiden ollessa 17-18-vuotiaita. Nämä tulokset eivät ole vertailtavissa muiden tutkimustuloksiin, koska aikaisemmin ei ole tehty vastaavaa.

Hiihtäjien vasemman kammion seinämät olivat ohuemmat kuin muiden tutkimusten kestävyysurheilijoiden. Seinämät eivät myöskään kasvaneet niin paljon kuin mitä olisi kolmen vuoden kestävyysharjoittelun vaikutuksesta voinut odottaa. Yllättävää oli

kontrollihenkilöiden seinämien kasvu tutkimuksen aikana niin, että viimeisellä mittauskerralla ei ryhmien välillä ollut tilastollista eroa. Hiihtäjien EDD:n ja maksimaalisen hapenoton väliset korrelaatiot olivat yhdenmukaisia muiden tutkimustulosten kanssa.

Kuormituksessa hiihtäjien EDD käyttäytyi kuten aikaisemmissakin tutkimuksissa eli kasvoi syketasolle $100 \text{ lyöntiä} \cdot \text{min}^{-1}$. Sen sijaan kontrollihenkilöiden EDD ei kasvanut 50 W:n kuormituksessa kuten muissa tutkimuksissa, vaan pyrki jopa pienenemään.

Uutta tässä tutkimuksessa oli, kun seurattiin harjoittelun vaikutusta sydämen adaptaatioon lähtötilanteessa iso- ja pienisydämisillä hiihtäjillä. Molempien ryhmien EDD kasvoi kolmen vuoden aikana yhtä paljon. Pienisydämisten ryhmä ei saavuttanut tutkimuksen lopussakaan isosydämisten lähtöarvoja.

Laji+kilpailukauden aikana EDD suureni ja PWTd paksuni, mutta vain ensimmäisenä vuonna. Muiden tutkimuksissa EDD on kilpailukaudella suurentunut ja seinämät pysyneet muuttumattomina tai päinvastoin. Myös kuormituskaikukardiografisissa tuloksissa muutokset tapahtuivat ensimmäisenä vuonna. Tuloksia ei voi verrata muiden tutkimustuloksiin, koska niitä ei ole.

On mahdollista, että kaikukardiografisissa tuloksissa on yhtenä tekijänä vaikuttanut ultraäänilaitteen resoluutio eli erotuskyky, joka on 1-2 mm. Koska kaikukardiografisia mittauksia ei toistettu samalla mittauskerralla, jättää avoimeksi sen, kuinka paljon mittausvirheet vaikuttivat tuloksiin.

8.2 Yhteenveto hypoteeseista

Tutkimuksen ensimmäinen hypoteesi, että hiihtäjien sydämen koko on suurempi kuin kontrollihenkilöiden, toteutui. Hiihtäjien EDD oli 0.3 cm suurempi kuin

kontrollihenkilöiden koko tutkimusjakson ajan. Sen sijaan hypoteesi, että hiihtäjien sydän kasvaa enemmän kuin kontrollihenkilöiden, ei pitänyt paikkaansa. EDD kasvoi tutkimuksen aikana molemmilla ryhmillä n. 0.3 cm.

Toinen hypoteesi sydämen koon ja maksimaalisen hapenoton välisestä yhteydestä toteutui hiihtäjien, mutta ei kontrollihenkilöiden osalta. Hiihtäjillä oli edellä mainittujen muuttujien välillä korrelaatioita kaikilla muilla mittauskerroilla paitsi viimeisellä. Kontrollihenkilöillä ei ollut korrelaatioita koko tutkimusjakson aikana.

Tutkimuksen kolmas hypoteesi, että sydämen toiminnallinen ero hiihtäjien ja kontrollihenkilöiden välillä tulee esille etenkin kuormitustilanteessa, oli oikea. EDD pyrki kontrollihenkilöillä pienenemään jo 50 W:n kuormituksessa, kun taas hiihtäjillä 100 W:n kuormituksessa EDD pysyi samana ja pyrki jopa suurenemaan lepoarvoihin nähden.

Neljännän hypoteesin mukaan iso- ja pienisydämisten hiihtäjien sydän kasvaa yhtä paljon. Hypoteesi toteutui EDD:n absoluuttisten ja pituudella normalisoitujen tulosten osalta, mutta EDD:n absoluuttiset arvot kasvoivat suhteellisesti enemmän pieni- kuin isosydämisillä hiihtäjillä.

Tutkimuksen viides hypoteesi sydämen koon kasvusta ja toiminnan paranemisesta laji+kilpailukaudella osoittautui oikeaksi ensimmäisenä vuonna, mutta ei enää toisena vuonna. Sydämen kokoon ja toimintaan liittyvät muutokset olivat suurimmat ja tilastollisesti merkityksellisemmät ensimmäisen vuoden aikana sekä levossa että kuormituksessa.

nopeuden välistä yhteyttä ne eivät korreloineet toisiinsa. Niillä urheilijoilla, jotka reagoivat voimakkaalla hypoksiolla korkeaan ilmanalaan, havaittiin hidas laktaatin poisto merenpinnan tasolla.

6.4. Yhteenveto

- glykolyysi, ja nimenomaan glukoneogeneesi, näyttää kiihtyvän akuutissa hypoksiassa.
- lisääntynyt beeta-adrenerginen erityys avainasemassa
- akklimaation myötä lihasten laktaattituotanto submaksimaalisilla kuormilla alenee (katekolieritys pienenee)
- veren sokerin merkitys energianlähteenä lisääntyy akklimaation myötä
- laktaatin eliminaatio paranee vuoristoharjoittelussa(?)

7. KESTÄVYSHARJOITTELU JA NUOREN URHEILIJAN SYDÄN

Margareetta Tummuori

7.1. Johdanto

Sydämen koon kasvaminen on harjoittelusta johtuva fysiologinen reaktio. Kestävyys-harjoittelu vaikuttaa alkuvaiheessa lähinnä sydämen toimintaan, mm. iskuvolyymiin. Kestävyys-harjoittelun jatkuessa ja tehostuessa sydämen vasemman kammion loppu-diastolinen läpimitta (EDD = end-diastolic diameter) kasvaa. Kestävyys-harjoittelun edelleen jatkuessa ja tehon lisääntyessä alkavat sydämen vasemman kammion seinämät l. kammioiden väliseinän paksuus diastolessa (SWTd = septal wall thickness in diastole) ja vasemman kammion takaseinän paksuus diastolessa (PWTd = post wall thickness in diastole) paksuuntua. Kestävyys-harjoittelun vieläkin lisääntyessä vasemman kammion läpimitan (EDD) kasvu jatkuu. Edellä mainitut kestävyys-harjoittelun aikaansaamat muutokset vaativat monien vuosien intensiivisen kestävyys-harjoittelun.

Maron (1986) teki laajan yhteenvetoraportin echokardiografisesti tehdyistä urheilijan sydämen dimensioihin kohdistuvista tutkimuksista (28 tutkimusta yli 1000:lle urheilijalle). Päähuomiot olivat:

- pitkään harjoitelleilla urheilijoilla EDD oli n. 10%, SETd n. 14% (10.4 mm), PWTd n. 19% (10.6 mm) ja LVM n. 45% suuremmat kuin tavallisilla ihmisillä
- kestävyysurheilijan "urheilijan sydämen" EDD 54-56 mm
- myös sydämen oikean puolen dimensiot suuremmat kestävyysurheilijoilla kuin tavallisilla ihmisillä

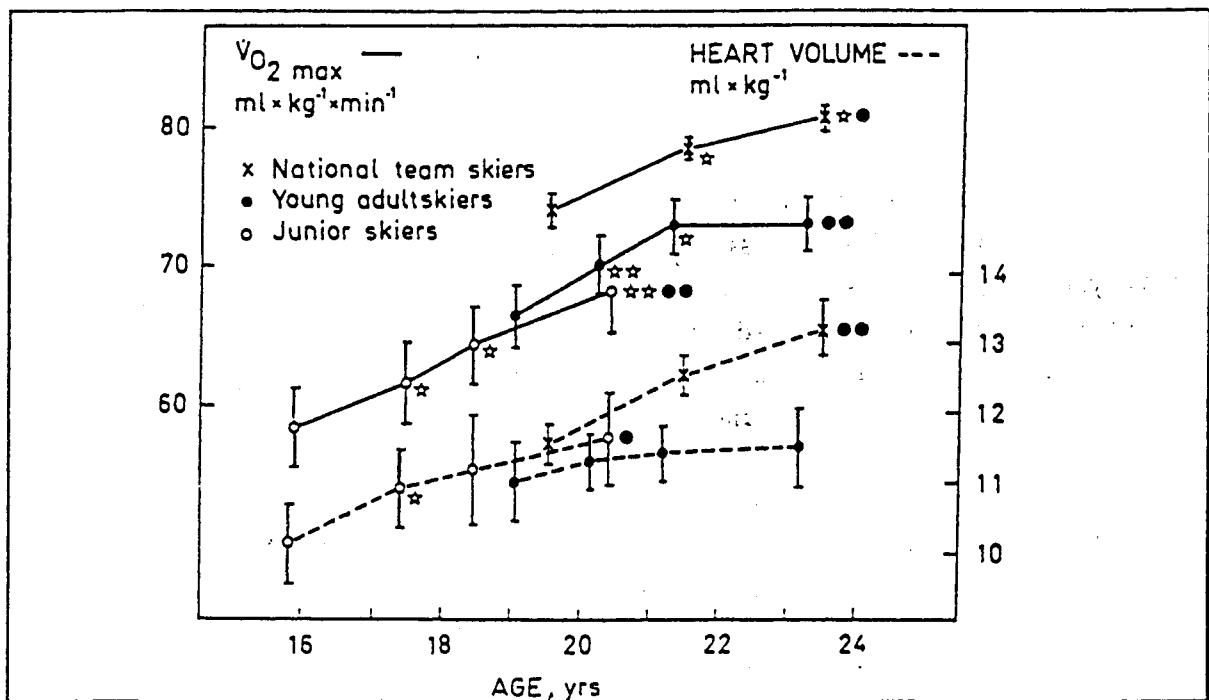
Urheilijan sydän kasvaa eri tavalla riippuen siitä, onko harjoittelu kestävyystyyppistä (ns. volyymytyö) vai voimaharjoittelutyyppistä (ns. painetyö) harjoittelua. Kestävyysurheilijoilla EDD on suurempi kuin voimalajien urheilijoilla, joilla puolestaan seinämät ovat paksummat kuin kestävyysurheilijoilla. Kestävyysurheilijoiden sydän on suurempi kuin voimaurheilijoiden sekä absoluuttisesti mitattuna että kehon painoon suhteutettuna. Nuorena

aloitettu harjoittelu johtaa aikuisena suurempaan sydämen koon kasvuun kuin vasta aikuisena aloitettu harjoittelu. Myös perimä vaikuttaa sydämen kokoon.

7.2. Nuorten kestävyys- ja harjoittelututkimus

Rusko (1987) *The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers*. Journal of Sports Sciences 5: 273-286.

Koehenkilöinä oli hiihtäjiä ja ampumahiihtäjiä. Sydämen tilavuus (HV = heart volume) määritettiin edestä ja sivulta otetuista röntgenkuvista. Nuorimmat hiihtäjät (n. 16v.) pystyivät 4.4 vuoden aikana eniten lisäämään absoluuttista ($p < 0.01$) ja suhteellista HV:tä ($p < 0.05$), mutta suhteellisen HV:n kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Vanhemmilla (19.5v.) kansainvälisesti menestyneillä edustustason hiihtäjillä suhteellinen HV lisääntyi $11.5 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1}$:sta $13.2 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1}$:aan ($p < 0.01$). Samanaikaisesti maxVO_2 parani $74.5 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1}$:sta $81.2 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1}$:aan ($p < 0.05$) (Kuva 1.).



Kuva 1. Muutokset VO_2 :ssa ja suhteellisessa sydämen tilavuudessa eri ikäisillä ja eri tavoin harjoittelevilla ryhmillä neljän vuoden harjoitusjakson aikana ($\text{ka} \pm \text{S.D.}$). Avoimet tähdet osoittavat tilastollisesti merkitseviä muutoksia, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. Mustat ympyrät osoittavat tilastollisesti merkitseviä muutoksia lähtöarvoista, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

7.2.1. Ultraäänitutkimukset

Harjoitteluinterventiotutkimus

Koehenkilöinä oli 35 hiihtäjää (15.8v.), joille tehtiin fyysisen kunnon ja ultraäänitutkimukset neljä kertaa 13:n viikon aikana (alku, 4, 9 ja 13 viikkoa). Koehenkilöt oli jaettu määrä-, teho-, ja kontrolliryhmiin, joiden harjoittelu näkyy taulukosta 1.

Taulukko 1 Kaikkien koehenkilöiden ja erilaisten ryhmien keskimääräisen harjoittelun kuvaus 13:n viikon aikana. IT = intensive training group, DT = distance training group, C = control group. Arvot ovat keskiarvoja \pm SD.

	IT	DT	C	All
Total volume of training				
h/wk	6.4 ± 1.1	13.6** ± 2.0	7.7 ± 2.2	9.4 ± 3.7
times/wk	9.1 ± 1.3	9.5 ± 1.3	6.6** ± 1.6	8.4 ± 1.9
Volume of intensive training				
h/wk	1.5 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.7 ± 0.6

times/wk	2.5** ± 0.8	0.6 ± 0.1	1.4# ± 0.7	1.4 ± 1.0

significant difference as compared to DT group, $p < 0.05$

** significant difference as compared to the other groups, $p < 0.01$

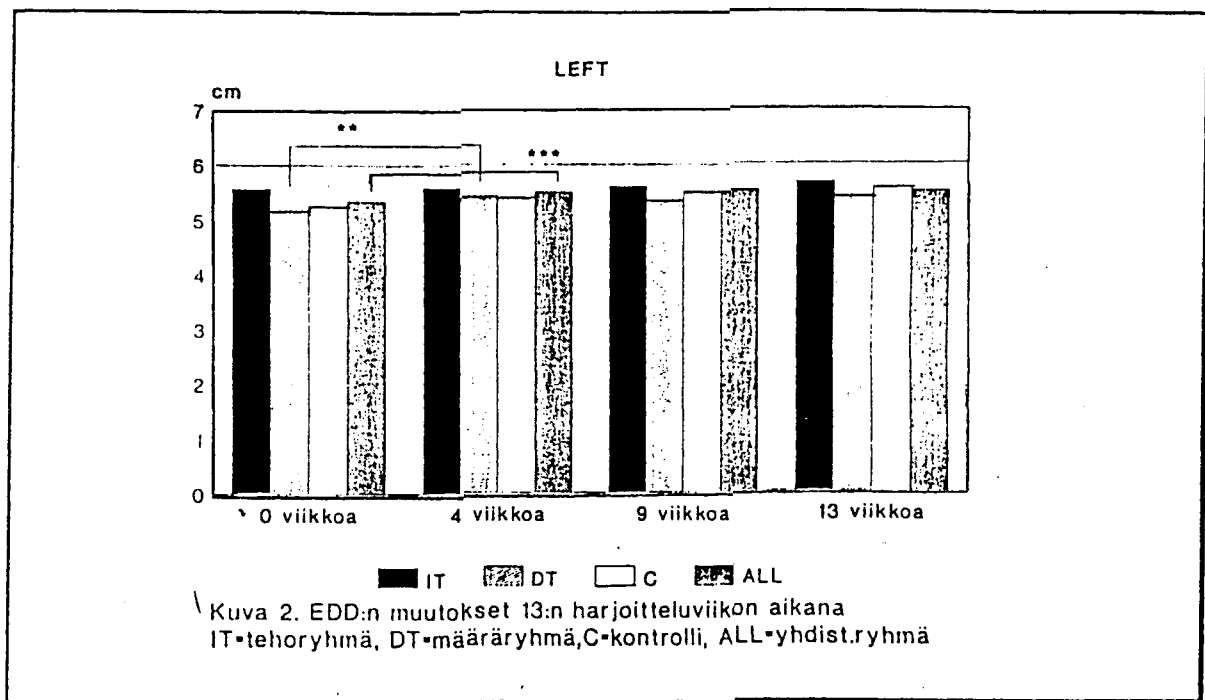
*** significant difference between every group, $p < 0.001$

Echokardiogrammit otettiin levossa sekä 50 että 100 W:n polkupyöräergometrikuorimituksissa.

7.3. Tuloksia

Tehoryhmällä ja yhdistetyllä ryhmällä $\max VO_2$ parani ensimmäisen neljän viikon aikana ($p < 0.01$), mutta pieneni lähtöarvoihin tutkimuksen loppuun mennessä. Syke ortostaattisessa sykereaktiossa nousi 4-9:n harjoitteluviikon välillä, mutta syke laski tutkimusjakson loppuun mennessä, kun koehenkilöitä pyydettiin ylikunto-oireiden vuoksi keventämään harjoitteluaan.

EDD kasvoi neljän viikon harjoittelun jälkeen 5.31 cm:stä 5.53 cm:iin ($p < 0.001$) levossa yhdistetyllä ryhmällä. Myös määräryhmällä EDD kasvoi neljän ensimmäisen harjoitteluviikon aikana ($p < 0.01$). Molemmilla ryhmillä EDD pysyi 4:nneellä viikolla saavutetuissa arvoissa tutkimusjakson loppuun asti (Kuva 2.). Sydämen vasemman kammion loppusystolinen läpimitta (ESD = endsystolic diameter), SWTd, PWTd, hypertrofia-indeksi (HI) ja kontraktiiteetti-indeksi (IC) pysyivät tilastollisesti muuttumattomina koko tutkimusjakson ajan. Fractional shortening (FS) suureni määräryhmällä ja yhdistetyllä ryhmällä. Rasittava 13:n viikon harjoittelu oli aiheuttanut vasemman kammion dilataation, ei seinämämuutoksia.



7.4. Tutkimus II

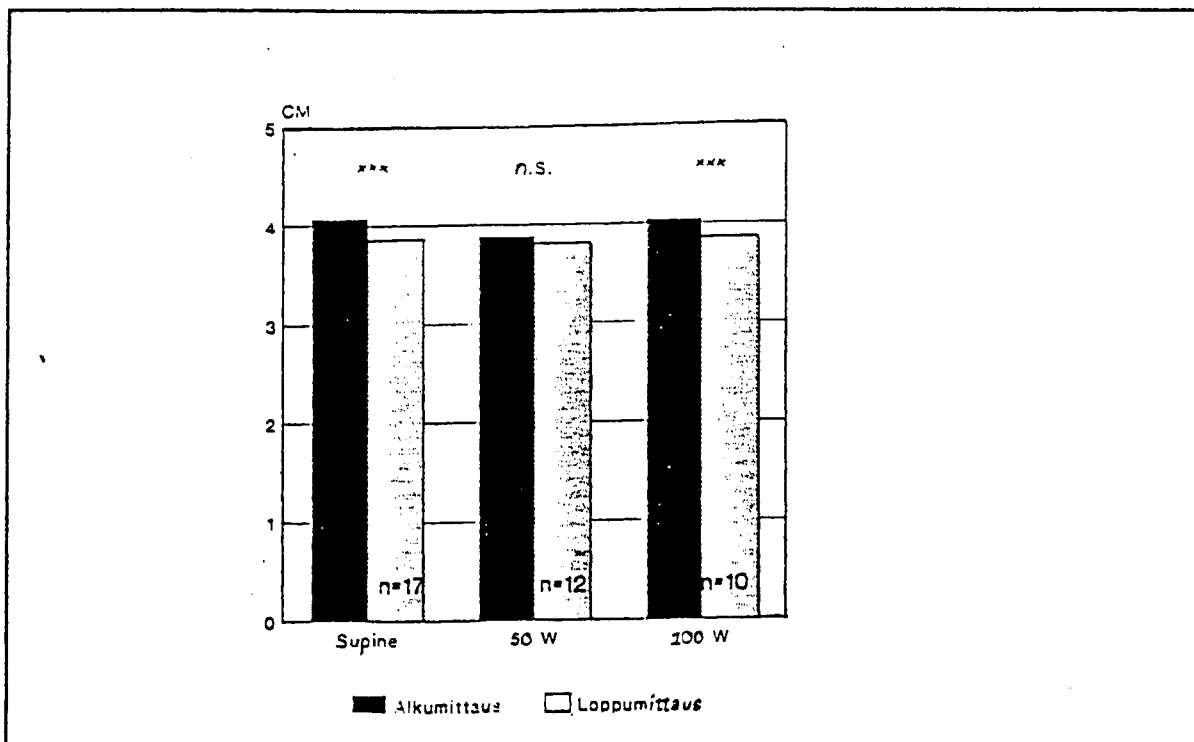
Toisen tutkimuksen aiheena oli echokardiografiset muutokset nuorilla hiihtäjillä vuoden intensiivisen harjoittelun jälkeen

Koehenkilöinä oli samoja hiihtäjiä kuin 13:n viikon harjoitteluinterventiotutkimuksessa (n=24). Koehenkilöt saivat harjoitella omien harjoitteluohjelmiansa mukaan. Alkumittaukset olivat = 13:n viikon harjoitteluinterventiotutkimuksen loppumittaukset ja loppumittaukset vuoden päästä. Ennen mittauksia hiihtäjien harjoittelu oli peruskuntokausien I ja II mukaista harjoittelua (28 viikkoa), jona aikana koehenkilöt harjoittelivat keskimäärin 100 km/vko, 10.8 h/vko ja 8.6 krt/vko. Ultraäänimittaukset tehtiin levossa sekä 50 ja 100 W:n polkupyöräergometrikuormituksessa selinmakuulla.

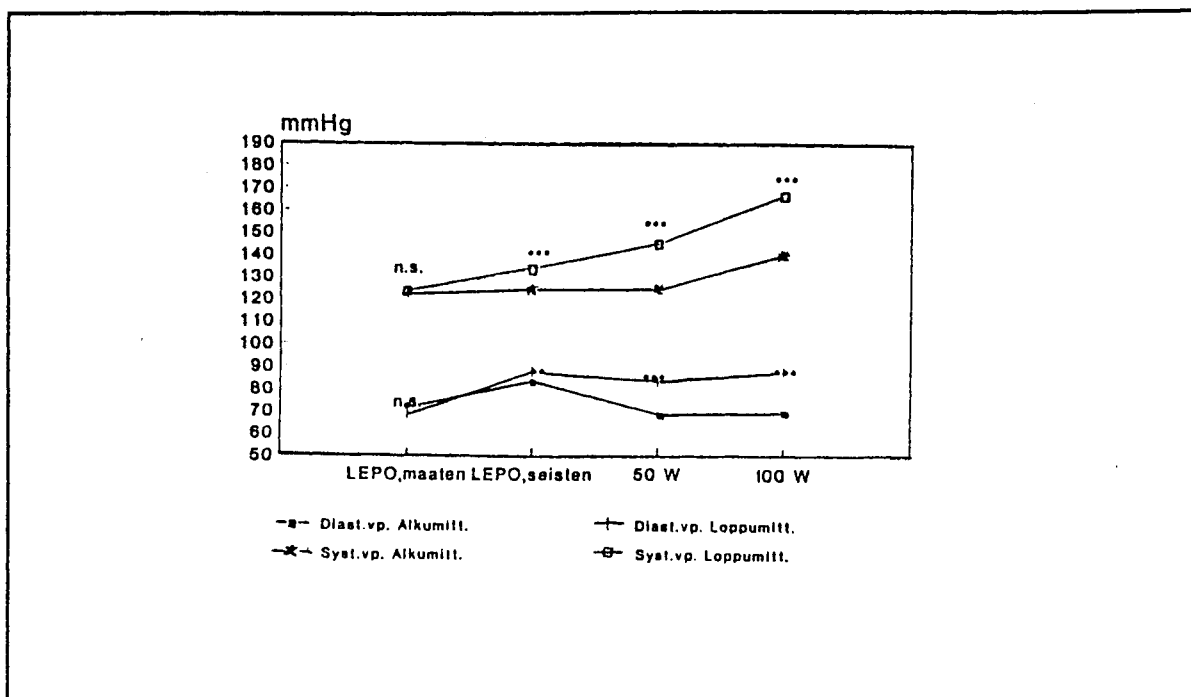
7.5. Tuloksia

MaxVO₂ ja anaerobinen kynnyks paranivat vuoden harjoittelun aikana. EDD:ssä ei tapahtunut muutosta levossa eikä kuormituksessa. ESD pieneni 2 mm levossa (p<0.001) ja 100 W:n kuormituksessa (p<0.01), joten myös FS kasvoi (p<0.01) (Kuva 3.). PWTd kasvoi levossa (p<0.05) ja SWTd 50 W:n kuormituksessa (p<0.01). Keskimääräinen seinämän paksuus diastolessa (MWTd = mean wall thickness in diastole) kasvoi vasemmassa kylkiasennossa (left lateral) mitattuna (p<0.01), 50 W:n kuormalla (p<0.001) ja 100 W:n kuormalla (p<0.05) poljettaessa. WA ja IC kasvoivat levossa (left supine) ja kuormituksessa tilastollisesti merkitsevästi ja HI kuormituksessa. Verenpaine nousi ortostaattisessa kokeessa seisomaannousteissa (syst. p<0.001, diast. p<0.01) sekä 50 ja 100 W:n kuormituksissa (syst.

$p < 0.001$, diast. $p < 0.001$) (Kuva 4.). Vuoden intensiivinen harjoittelu ei ollut vaikuttanut dilatoitumiseen. Sen sijaan seinämät olivat kasvaneet, jotka muutokset ovat saattaneet johtaa parempaan sydämen kontraktiilitiettykyyn, josta johtuen myös ESD oli pienentynyt.



Kuva 3. ESD:n muutokset vuoden harjoittelun jälkeen levossa ja kuormituksessa (** $p < 0.001$)



Kuva 4. Verenpaineen muutokset levossa ja kuormituksessa vuoden harjoittelun jälkeen (** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Rasitusechokardiografinen tutkimuksemme kestää 5 vuotta. On mielenkiintoista nähdä, miten nuorten poikien urheilijan sydän kehittyy, kun harjoittelumäärät edelleen lisääntyvät ja mitä tapahtuu niiden urheilijoiden sydämille, jotka ovat kokonaan lopettaneet harjoittelun.



EDD	= vasemman kammion loppudiasistolinen läpimitta
ESD	= vasemman kammion loppusystolinen läpimitta
SD	= EDD - ESD
SWT _d	= kammioiden väliseinän paksuus diastoleessa
PWT _d	= vasemman kammion takaseinän paksuus diastoleessa
MWT _d	= mean wall thickness = $\frac{SWT_d + PWT_d}{2}$
LVM	= vasemman kammion massa = $1.055 \times (EDD + SWT_d + PWT_d)^3 - EDD^3$ (Reichek 1982)
EDV	= loppudiasistolinen tilavuus = $0.922 \times EDD^3 + 72$
ESV	= loppusystolinen tilavuus = $0.96 \times ESD^3 + 42$
SV	= iskutilavuus = EDV - ESV
EF	= ejektiofraktio $\frac{EDD^3 - ESD^3}{EDD^3} \times 100$
FS	= fractional shortening = $\frac{EDD - ESD}{EDD} \times 100$
HI	= hypertrofiaindeksi, eli seinämien paksuuden suhteellinen läpimitan säteeseen ja läpimittaan $\frac{SWT_d + PWT_d}{EDD}$ (Keul et al. 1982, Graettinger 1984, Cohen & Segal 1985, Fagard et al. 1984)
WS	= wall stress -indeksi l. systolinen verenpaine suhteessa ESV:hen afterloadin arvioimiseksi $\frac{svst. \text{ verenpaine mmHg}}{\frac{EDD}{2} \times \frac{1}{PWT_d}}$ (Fagard et al. 1983, Graettinger 1984, Crawford et al. 1985, Grossman et al. 1977)
index of contractility	= $\frac{svst. \text{ VP}}{ESV}$ (Crawford et al. 1985)

KIHU
7/7

7.6. Keskustelu

Kys. Tarvitseeko verenpaineen nousun olla negatiivinen seikka? Voisiko se vain kertoa sitä, että sydämen työkyky on noussut?

Vast. Kysymys on hyvin mielenkiintoinen, mekin oletimme, että verenpaine laskee. Asian tekee mielenkiintoiseksi se, että mikä muu seikka voisi vaikuttaa sydämen vasemman kammion seinämän paksuuntumiseen. Vastausta kysymykseen on vaikea antaa, mutta asia täytyy selvittää.

Abstrakti 2

THE IMPACT OF SHORT- AND LONG-TERM ENDURANCE TRAINING ON THE ECHOCARDIOGRAPHIC DIMENSIONS OF YOUNG ATHLETES

Tummavuori, E.A.M., Rusko, H.K. and Kärkkäinen R.J. Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland.

Summary

Echocardiographic changes after 13 weeks' and 3 years' endurance training were examined in young male cross-country skiers. End-diastolic diameter increased both after the short ($p < 0.001$) and the long ($p < 0.01$) training period but no changes were observed in the wall thicknesses.

Purpose

The purpose of this study was to examine the echocardiographic changes in young male endurance athletes after a short- (13 weeks) and thereafter a long-term (3 years) intensive endurance training period.

Methods

The experimental group for 13 weeks' training consisted of 34 young male cross-country skiers: age 15.8 ± 0.7 years, height 177.6 ± 5.8 cm and weight 64.9 ± 6.8 kg. Twenty of them were investigated after additional 3 years. Resting echocardiograms were recorded in left lateral position and analysed according to the recommendations of the A.S.E. for end-diastolic diameter (EDD), end-systolic diameter (ESD), septal wall thickness in diastole (SWTd), posterior wall thickness in diastole (PWTd), total dimension (TD = EDD + SWTd + PWTd) and mean wall thickness (MWT = $(\text{SWTd} + \text{PWTd}) / 2$). Maximal oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{max}}$) was determined on a treadmill and training data were calculated from the training records of the athletes.

Results

During 13 weeks ($n=34$) the training volume was on the average 8.3 h and the training frequency 7 times per week. No significant changes were observed in $\text{VO}_{2\text{max}}$ (4.47 ± 0.43 vs. 4.46 ± 0.47 l x min^{-1}). During 13 weeks EDD increased from 5.32 ± 0.38 to 5.56 ± 0.42 cm ($p < 0.001$) and ESD from 3.80 ± 0.41 to 3.9 ± 0.35 cm (n.s.). There was no change in MWT but TD increased from 7.00 ± 0.38 to 7.24 ± 0.42 cm ($p < 0.001$).

During the following 3 years ($n=20$) the height and weight of the skiers increased significantly ($p < 0.001$) to 181.5 ± 6.4 cm and 74.2 ± 8.8 kg respectively. The training volume increased from 9.0 to 11.9 h per week and the training frequency from 7.3 to 8.1 times per week. During 3 years $\text{VO}_{2\text{max}}$ increased from 4.51 ± 0.46 to 4.99 ± 0.53 l x min^{-1} ($p < 0.001$). EDD increased further from 5.66 ± 0.44 to 5.79 ± 0.40 cm ($p < 0.01$) and ESD from 3.94 ± 0.36 to 4.15 ± 0.38 cm ($p < 0.001$). There was no change in MWT but TD increased from 7.35 ± 0.44 to 7.53 ± 0.41 cm ($p < 0.01$).

Conclusions

Young endurance athletes may have a dilated athlete's heart at the age of 16 years. Short-term and long-term endurance training may further increase the end-diastolic and total diameter of the athlete's heart but wall thicknesses seem to remain unchanged. The results suggest that training for cross-country skiing induces mainly a volume overload to the athlete's heart.

Abstrakti 3

DEVELOPMENT OF THE ATHLETE'S HEART DURING THREE YEAR'S TRAINING IN YOUNG CROSS-COUNTRY SKIERS

E.A.M. Tummavuori* and H.K. Rusko. Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland.

This study aimed to investigate the development of the athlete's heart in 18 male cross-country skiers (15.5 ± 0.7 yrs) during three years when their training volume increased gradually. Intermediate measurements were done after two years when a control group ($n=15$) was included in the study. Resting echocardiograms were recorded in left lateral position and exercise echocardiograms during semisupine bicycle exercise at 100 W. ANOVA showed increases in VO_{2max} ($p < 0.001$) and in resting EDD ($p < 0.001$), ESD ($p < 0.001$) and MWTd ($p < 0.001$). Greatest changes occurred during the first two years in all variables, e.g. EDD increased from 5.41 ± 0.29 cm to 5.74 ± 0.35 cm after two years and to 5.77 ± 0.35 cm after three years, and MWTd from 0.83 ± 0.03 cm to 0.88 ± 0.04 cm and to 0.86 ± 0.04 cm respectively. Exercise EDD increased similarly from 5.41 ± 0.36 cm to 5.79 ± 0.33 cm and to 5.85 ± 0.26 cm ($p < 0.001$). Exercise wall stress also increased from 43.0 ± 3.6 mmHg to 46.7 ± 4.6 mmHg and to 46.5 ± 4.3 mmHg ($p < 0.05$) respectively. The control group had significantly smaller EDD and MWTd at rest and during exercise than skiers both after two and three years. In skiers the correlation between VO_{2max} and EDD at rest increased from $r = .45$ ($p < 0.05$) to $r = .52$ ($p < 0.01$) after two years and to $r = .62$ ($p < 0.01$) after three years. These longitudinal results suggest that the development of the athlete's heart may include both dilatation and wall thickness changes.

Abstrakti 4

ECHOCARDIOGRAPHIC CHANGES DURING TWO SKIING SEASONS IN YOUNG CROSS-COUNTRY SKIERS

Tummavuori, E.A.M. & Rusko, H.K.

Research Institute for Olympic Sports

Jyväskylä

Finland

The purpose of this study was to investigate the differences and changes in echocardiographic dimensions during two skiing seasons in young (17.0 ± 0.8 yrs) Finnish male cross-country skiers ($n=17$). During two successive years the first measurements were done in the autumn (A1 and A2) after dry land training seasons and the second measurements in the winter (W1 and W2) at the end of cross-country skiing training and competition seasons. Resting echocardiograms were recorded in left lateral position and training data were calculated from training records of the skiers. During 12 weeks preceding A1 and A2 the volume of training was similar during both years (10.5 ± 2.6 vs. 10.9 ± 8.0 hours per week, respectively). During the skiing training and competition season (12 weeks) the volume of training was significantly higher during the second year (5.9 ± 1.6 vs 8.1 ± 2.8 hours per week, $p<0.01$, respectively). The volume of training decreased from A1 to W1 ($p<0.001$) but the difference between A2 and W2 was not significant. During the first year end-diastolic diameter (EDD) and end-systolic diameter (ESD) increased from A1 to W1: EDD from 5.57 ± 0.32 cm to 5.73 ± 0.36 cm ($p<0.001$) and ESD from 3.91 ± 0.23 cm to 4.21 ± 0.21 cm ($p<0.001$). During the second year EDD increased from 5.74 ± 0.36 cm to 5.80 ± 0.34 cm ($p<0.05$) and ESD from 4.19 ± 0.21 cm to 4.29 ± 0.17 cm ($p<0.05$). There was also a difference in EDD between A1 and A2 ($p<0.05$) and W1 and W2 ($p<0.05$) and in ESD between A1 and A2 ($p<0.001$). EDD/BSA ($p<0.01$) and ESD/BSA ($p<0.001$) increased from A1 to W1 and ESD/BSA was also greater in the winter than in the autumn during the second year ($p<0.05$). Mean wall thickness increased from A1 to W1 (0.86 ± 0.06 cm vs. 0.89 ± 0.05 cm, $p<0.01$, respectively) but decreased from A2 to W2 (0.90 ± 0.05 vs. 0.86 ± 0.05 , $p<0.05$, respectively). Wall stress was unchanged during the first year but decreased during the second skiing season ($p<0.001$). Fractional shortening was significantly ($p<0.001$) smaller in W1 than in A1. It is concluded that cross-country skiing training and competition season may increase the dimensions of the heart despite of the same or even smaller volume of training compared with the preceding dry land training season. The higher volume of skiing training during the second year further increased the end-diastolic diameter of the heart. It is suggested that combined arm and leg exercise during skiing together with intensive uphill and downhill skiing during competitions explain the echocardiographic changes.

Abstrakti 5

URHEILIJAN SYDÄMEN KEHITTYMINEN KOLMEN VUODEN HARJOITTELUN AIKANA NUORILLA MURTOMAAHIIHTÄJILLÄ

Tummavuori Margareetta & Rusko Heikki
Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus, Jyväskylä

Tutkimuksen tarkoituksena oli seurata "urheilijan sydämen" kehittymistä 18:lla miespuolisella murtomaahiihtäjällä (15.5 ± 0.7 vuotta) kolmen vuoden aikana, jolloin heidän harjoittelumääränsä lisääntyi asteittain. Välimittaukset tehtiin kahden vuoden jälkeen, jolloin myös kontrolliryhmä ($n=15$) otettiin tutkimukseen mukaan. Lepo-echokardiogrammit otettiin vasemmassa kylkiasennossa ja rasitusechokardiogrammit puoli-istuvassa asennossa polkupyöräergometrikuormituksen (100 W) aikana. Tulokset analysoitiin A.S.E.:n (American Society of Echocardiography) suositusten mukaan pisteyttämällä echokardiogrammit digitointipöydällä ja tulostamalla muuttujat tietokoneohjelman avulla. ANOVA:lla laskettaessa havaittiin muutoksia maksimaalisessa hapenotossa ($p < 0.001$), vasemman kammion loppudiatolisessa läpimitassa (EDD) ($p < 0.001$), vasemman kammion loppusystolisessa läpimitassa (ESD) ($p < 0.001$) ja vasemman kammion väli- ja takaseinän keskimääräisessä paksuudessa (MWTd) ($p < 0.01$). Suurimmat muutokset tapahtuivat kahden ensimmäisen vuoden aikana kaikissa em. muuttujissa. Levossa EDD kasvoi 5.41 ± 0.29 cm:stä 5.74 ± 0.35 cm:iin kahden vuoden jälkeen ja 5.77 ± 0.35 cm:iin kolmen vuoden jälkeen ja vastaavasti MWTd 0.83 ± 0.03 cm:stä 0.88 ± 0.04 cm:iin ja 0.86 ± 0.04 cm:iin. Rasituksessa EDD lisääntyi 5.41 ± 0.36 cm:stä 5.79 ± 0.33 cm:iin kahden vuoden aikana ja 5.85 ± 0.26 cm:iin kolmen vuoden jälkeen ($p < 0.001$) ja wall stress-indeksi kasvoi vastaavasti 43.0 ± 3.6 mmHg:stä 46.7 ± 4.6 mmHg:iin ja 46.5 ± 4.3 mmHg:iin ($p < 0.05$). Lepoverenpaineessa ei tapahtunut muutoksia, mutta rasituksessa systolinen verenpaine kohosi 143.6 ± 10.3 mmHg:stä 157.3 ± 10.3 mmHg:iin kahden vuoden aikana ja pysyi muuttumattomana kolmen vuoden jälkeen. Kontrolliryhmällä oli tilastollisesti pienempi EDD ja MWTd levossa ja rasituksessa kuin hiihtäjillä sekä kahden että kolmen vuoden jälkeen. Nämä pitkittäistutkimuksen tulokset näyttäisivät osoittavan, että murtomaahiihtäjillä on jo 15-16 vuotiaana suurentunut sydän ja hiihdon monipuolinen harjoittelu lisää edelleen sydämen dimensioita saaden aikaan sekä lisädilataatiota että seinämämuutoksia.

ECHOKARDIOGRAFISET MUUTOKSET KAHDEN HIIHTOKAUDEN AIKANA NUORILLA MURTOMAAHIIHTÄJILLÄ

Tummavuori, M. & Rusko, H. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus, Jyväskylä.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää echokardiografisten dimensioiden eroja ja muutoksia kahden hiihtokauden aikana nuorilla (17.0 ± 0.8 vuotta) murtomaahiihtäjillä ($n=17$). Mittaukset tehtiin kahtena peräkkäisenä vuotena: ensimmäiset mittaukset (A1 ja A2) syksyllä peruskuntokauden jälkeen ja toiset mittaukset (W1 ja W2) talvella kilpailukauden lopussa. Lepoechokardiogrammit rekisteröitiin vasemmassa kylkiasennossa ja harjoittelutiedot laskettiin hiihtäjien harjoittelupäiväkirjoista. Ensimmäisenä vuonna hiihtäjät harjoittelivat 12 viikon peruskuntokaudella enemmän (10.5 ± 2.6 tuntia/viikko) kuin 12 viikon kilpailukaudella (5.9 ± 1.6 tuntia/viikko) ($p<0.001$). Ero seuraavan vuoden peruskuntokauden (10.9 ± 8.0 tuntia/viikko) ja kilpailukauden (8.1 ± 2.8 tuntia/viikko) harjoittelun välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Ensimmäisen vuoden aikana vasemman kammion loppudiasistolinen (EDD) ja loppusystolinen läpimitta (ESD) kasvoivat peruskuntokaudelta kilpailukauden loppuun siirryttäessä: EDD 5.57 ± 0.32 cm:stä 5.73 ± 0.36 cm:iin ($p<0.001$) ja ESD 3.91 ± 0.23 cm:stä 4.21 ± 0.21 cm:iin ($p<0.001$). Seuraavana vuonna EDD kasvoi 5.74 ± 0.36 cm:stä 5.80 ± 0.34 cm:iin ($p<0.05$) ja ESD 4.19 ± 0.21 cm:stä 4.29 ± 0.17 cm:iin ($p<0.05$). EDD jaettuna kehon pinta-alalla (BSA) ($p<0.01$) ja ESD/BSA ($p<0.001$) kasvoivat syksystä (A1) talveen (W1) ensimmäisen vuoden aikana ja ESD/BSA oli suurempi ($p<0.05$) myös seuraavan vuoden talvella (W2) kuin syksyllä (A2). Keskimääräinen seinämäpaksuus (MWT) kasvoi A1:stä W1:een (0.86 ± 0.06 cm vs. 0.89 ± 0.05 cm, $p<0.01$) mutta pieneni A2:sta W2:een (0.90 ± 0.05 cm vs. 0.86 ± 0.05 cm, $p<0.05$). Wall stress-indeksi pysyi muuttumattomana ensimmäisen vuoden aikana, mutta se pieneni toisena vuonna hiihtokauden aikana ($p<0.001$). Fractional shortening (FS) oli pienempi W1:ssä kuin A1:ssä ($p<0.001$). Voidaan päätellä, että murtomaahiihdon harjoittelu- ja kilpailukausi saattaa kasvattaa sydämen dimensioita huolimatta samasta tai jopa pienemmästä harjoittelumäärästä verrattuna edeltävään peruskuntokauden harjoitteluun. Lisääntynyt hiihtoharjoittelu seuraavana vuonna edelleen lisäsi loppudiastolista läpimittaa. Yhdistetty käsi- ja jalkatyöskentely hiihdon aikana yhdessä intensiivisen ylämäkiihdon kanssa voisivat selittää tapahtuneita echokardiografisia muutoksia.

Abstrakti 7

THE INFLUENCE OF THE INITIAL HEART SIZE ON THE DEVELOPMENT OF THE ATHLETE'S HEART

E.A.M. Tummavuori * and H.K. Rusko. Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland.

The purpose of this study was to analyze the influence of the initial heart size on the development of the athlete's heart. Young male cross-country skiers (n=21, age 15.7 yrs, height 177.7 cm, weight 65.5 kg) were divided into two groups having SMALL (<5.40 cm, n=11) or LARGE (≥5.40 cm, n=10) end-diastolic diameter (EDD) in the beginning of the study. Resting echocardiograms were recorded in left lateral position also after two and four years. The groups didn't differ from each other in BSA, maximum oxygen uptake or training volume during the study. ANOVA showed a statistically significant (p<0.001) difference in EDD between the groups and between the measurements. EDD increased as much in both groups; in SMALL from 5.16±0.13 cm to 5.52±0.30 cm after two years and to 5.56±0.16 cm after four years and in LARGE from 5.67±0.34 cm to 5.91±0.34 cm and to 5.99±0.49 cm respectively. Mean wall thickness (MWT) increased significantly (p<0.01) and similarly in both groups; from 0.83±0.05 cm to 0.88±0.06 cm and to 0.90±0.07 cm in SMALL and from 0.87±0.04 cm to 0.89±0.06 cm and to 0.93±0.09 cm in LARGE. End-systolic diameter (ESD) was smaller in SMALL than in LARGE and there were differences between the groups (p<0.05). In conclusion, the initial heart size didn't influence the development of the heart and the initial differences in EDD remained the same after four years.

Abstrakti 8

ECHOCARDIOGRAPHIC CHANGES DURING THREE YEARS IN YOUNG CROSS-COUNTRY SKIERS.

Tummavuori M. & Rusko H. Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland.

The purpose of this study was to examine the development of the athlete's heart using echocardiography. The experimental group consisted of 16 male cross-country skiers (15.6 ± 0.8 years) and the control group consisted of 14 non-athletic schoolboys (16.3 ± 1.4 years). The skiers were measured four times during three years and the control group before and after three years. Resting echocardiograms were recorded in left lateral position and exercise echocardiograms during the last minute of three minute bicycle exercise at 50 W (controls) or 100 W (skiers) performed in semisupine position (30°). End-diastolic diameter (EDD) at rest increased in the skiers from 5.56 ± 0.34 cm to 5.87 ± 0.41 cm ($p < 0.001$) and in the controls from 5.19 ± 0.38 cm to 5.49 ± 0.50 cm ($p < 0.05$) during three years. Mean wall thickness (MWT) also increased in both groups. Exercise EDD increased in the skiers from 5.61 ± 0.47 cm to 5.95 ± 0.47 cm ($p < 0.01$) and total diameter (TD) from 7.22 ± 0.46 cm to 7.66 ± 0.47 cm ($p < 0.001$) during three years while no changes were observed in the controls. In the skiers the change in the systolic blood pressure correlated ($r = .55$, $p < 0.05$) with the change in the posterior wall thickness in diastole (PWTd). In conclusion, dilatation and wall thickness changes at-rest may occur after puberty in athletes and non-athletes. The development of the athlete's heart is demonstrated as the dilatation of the left ventricle during exercise.

Abstrakti 9

DEVELOPMENT OF THE ATHLETE'S HEART DURING FIVE YEARS' TRAINING IN YOUNG ATHLETES

Margareetta Tummavuori & Heikki Rusko, Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland.

The purpose of this study was to investigate the development of the athlete's heart. Young male cross-country skiers (n=9, 16.1 ± 0.4 years) and a control group (n=9, 16.9 ± 0.4 years) were measured three times during five years. Resting echocardiograms were recorded in left lateral position and exercise echocardiograms during semisupine bicycle exercise at 50 W. The results showed differences between the groups at rest in end-diastolic diameter (EDD) (p<0.05), mean wall thickness (MWT) (p<0.001), total diameter (TD) (p<0.001), TD in exercise (p<0.05) and VO₂max (p<0.001) and between the measurements in MWT at rest (p<0.001) and in TD in exercise (p<0.05). TD at rest increased both in the skiers (from 7.34 ± 0.50 cm to 7.80 ± 0.49 cm, p<0.01) and in the control group (from 6.84 ± 0.48 cm to 7.17 ± 0.54 cm, p<0.05) during five years and the difference between the groups was greatest at the end of the study (p<0.01). The increase in resting MWT was more significant in the skiers (from 0.86 ± 0.06 cm to 0.97 ± 0.07 cm, p<0.001) than in the control group (from 0.75 ± 0.06 cm to 0.83 ± 0.05 cm, p<0.05). At the age of 21 the echocardiographic dimensions in the control subjects almost reached the initial values of the skiers. It is concluded that dilatation and wall thickness changes may occur after the puberty both in the control subjects and in the athletes.

DEVELOPMENT OF THE ATHLETE'S HEART DURING FIVE YEARS' TRAINING IN YOUNG ATHLETES

MARGAREETTA TUMMAVUORI AND HEIKKI RUSKO

Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland

INTRODUCTION

Many cross-sectional echocardiographic studies have been done on the "athlete's heart". However, there are not many longitudinal studies on the competitive athletes and the follow-up period has mainly been less than one year. Only very few of the studies have been exercise echocardiographic studies. The purpose of this study was to examine the development of the athlete's heart during five years at rest and during exercise.

MATERIAL AND METHODS

Nine (age 16.1 ± 0.9 years) male cross-country skiers participated in this study. They belonged to national or regional training groups of Finnish Ski Association. The control group consisted of nine male non-athletic schoolboys (age 16.9 ± 0.4 years). Height, weight and maximum oxygen uptake of the skiers and the control group are seen in Table 1.

Table 1. Description of the subjects.

	Group	0. year	3. year	5. year
Height (cm)	Skiers	180.9 ± 6.3	182.5 ± 5.9	182.8 ± 6.2
	Controls	179.9 ± 5.6	182.0 ± 5.9	182.3 ± 5.7
Weight (kg)	Skiers	66.3 ± 8.7	73.8 ± 10.3	74.1 ± 7.1
	Controls	63.1 ± 5.7	67.7 ± 6.8	70.6 ± 8.4
VO₂max (l x min⁻¹)	Skiers	4.5 ± 0.6	5.0 ± 0.7	5.2 ± 0.6
	Controls	3.4 ± 0.4	3.6 ± 0.6	3.7 ± 0.6
VO₂max (ml x kg⁻¹ x min⁻¹)	Skiers	67.7 ± 4.4	67.6 ± 2.2	69.9 ± 4.6
	Controls	52.9 ± 3.9	53.6 ± 7.6	52.3 ± 6.4

The measurements were done three times during five successive years in autumn. The second measurement was after three years. Resting

echocardiograms were recorded in left lateral position. Exercise echocardiograms were recorded during semisupine (30°) bicycle exercise (3 min) at 50 W in the beginning and at the end of the study. B- and M-mode echocardiograms were recorded using Aloka SSD-280LS echocardiograph and 3.0 MHz transducer. Echocardiograms were analysed according to the recommendations of the American Society of Echocardiography (A.S.E.) using a digitizer and a computer program. The following measurements were made: left ventricular end-diastolic diameter (EDD), interventricular septal wall thickness in end-diastole (SWTd) and left ventricular posterior wall thickness in end-diastole (PWTd). The following variables were calculated: mean wall thickness (MWT) as $(SWTd + PWTd) / 2$, total diameter (TD) as $EDD + SWTd + PWTd$ and TD divided by the height (m) of the subject. Maximum oxygen uptake was determined during ski walking with skipoles on a treadmill. After every three minutes the velocity and the inclination of the treadmill was increased and oxygen uptake was measured throughout the test until an exhaustion. Values are expressed as means \pm standard deviations. ANOVA was applied when examining repeated measurements and different groups.

RESULTS

There were differences ($p < 0.001$) between the skiers and the control group in maximum oxygen uptake in every measurement. Maximum oxygen uptake ($l \times \text{min}^{-1}$) increased both in the skiers ($p < 0.001$) and in the control group ($p < 0.05$) during five years. End-diastolic diameter (EDD) of the skiers increased from 5.62 ± 0.48 cm to 5.80 ± 0.43 cm ($p < 0.05$) during three years and to 5.86 ± 0.43 cm after five years. EDD of the control group changed from 5.33 ± 0.41 cm to 5.46 ± 0.42 cm and to 5.51 ± 0.54 cm respectively. Mean wall thickness (MWT) increased in both groups and the increase was greater in the skiers than in the control group (Figure 1). There were differences between the groups in total diameter (TD) in every measurement ($p < 0.05$ - $p < 0.01$). TD of the skiers increased from 7.34 ± 0.50 cm to 7.80 ± 0.49 cm ($p < 0.01$) during five years and TD of the control group increased from 6.84 ± 0.48 cm to 7.17 ± 0.54 cm ($p < 0.05$) respectively. The results of TD normalized by height (m) also increased in both groups (Figure 2). In bicycle exercise at 50 W the results showed differences between the groups and between the measurements in TD in the beginning and at the end of the study and TD increased in both groups (Figure 3).

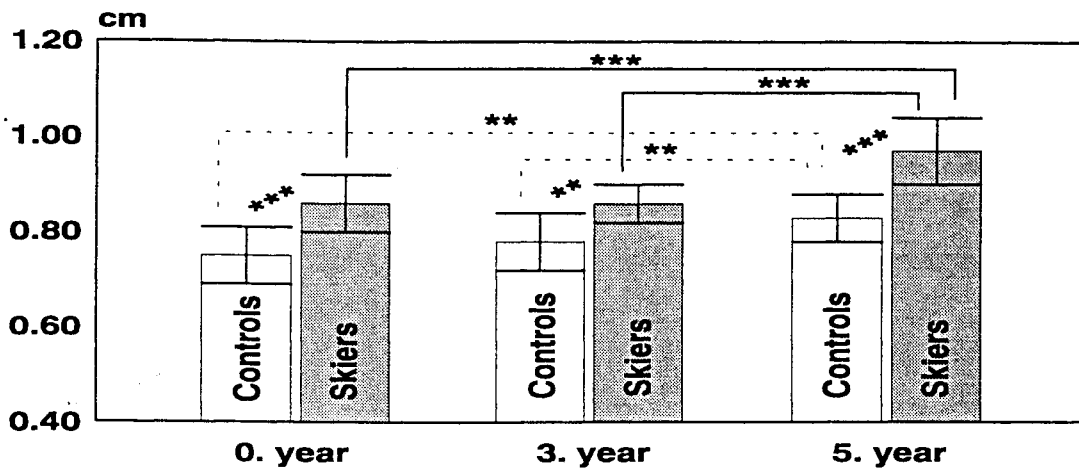


Figure 1. Mean wall thickness (MWT) in left lateral position.

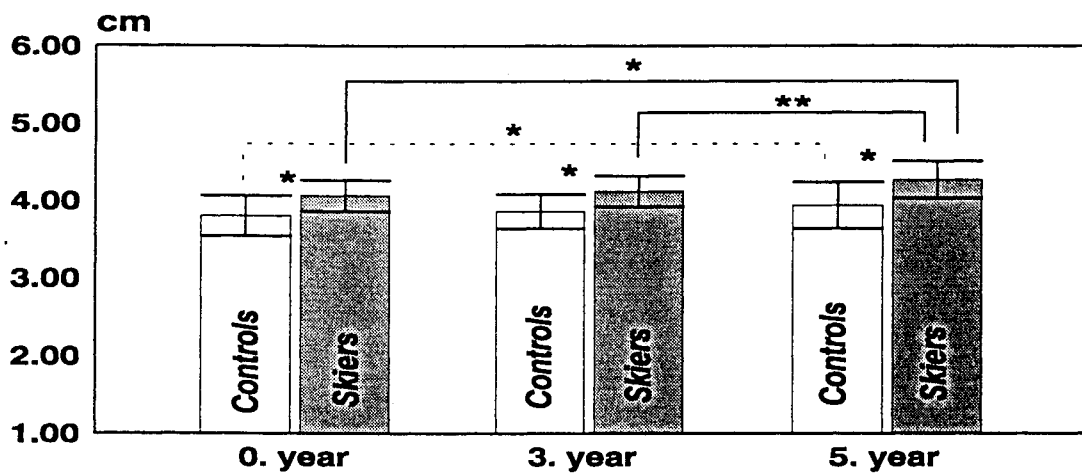


Figure 2. Total diameter (TD) / height (m) in left lateral position.

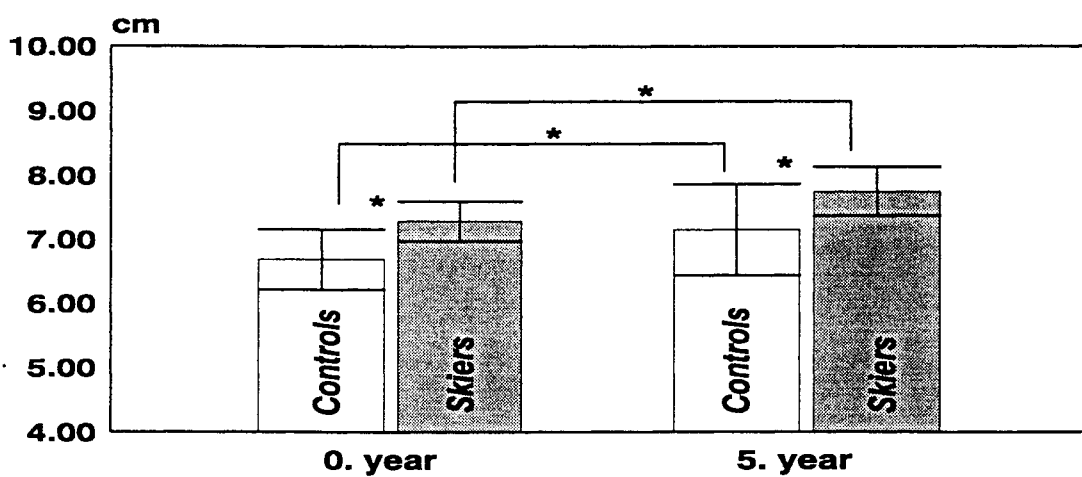


Figure 3. Total diameter (TD) in bicycle exercise at 50 W.

DISCUSSION

Dilatation and wall thickness changes occurred after puberty both in the control subjects and in the athletes. At the age of 21 the echocardiographic dimensions in the control subjects almost reached the initial values of the skiers. Mean values of EDD calculated over 1300 endurance athletes were found to be 5.35 ± 0.34 cm and EDD of 800 age-matched controls averaged 4.82 ± 2.2 cm and a statistical difference between the groups was $p < 0.05$ (1). According to Urhausen & Kinderman (2) EDD is usually less than 6.0 cm in endurance athletes and it seldom exceeds 6.2 cm (2,3). In the beginning of this study one control subject and two skiers and at the end of the study two control subjects and five skiers had EDD over 5.8 cm which was considered the lower limit of EDD in athletes whose maximum oxygen uptake was about $70 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$ (4) as in this study. The highest individual value for EDD was 6.51 cm (skier). At the end of this study PWTd of the skiers (0.96 ± 0.08) was nearly the same as in endurance athletes (1.02 ± 0.15 cm) (1) and PWTd of the control group (0.83 ± 0.06 cm) was also quite near to that of age-matched controls (0.87 ± 0.11 cm) (1). During five years TD at 50 W bicycle exercise changed in the same way as TD at rest in both groups.

REFERENCES:

1. Perrault H, Turcotte R.A. Exercise-induced cardiac hypertrophy. *Sports Med.* 1994; 17(5): 288-308.
2. Urhausen A, Kinderman W. Echocardiographic findings in strength- and endurance-trained athletes. *Sports Med.* 1992; 13(4): 270-284.
3. Dickhuth HH, Jakob H, Staiger J, Keul J. Echocardiographische Befunde beim Sporthetz. In: Rost R & Webering F, ed. *Kardiologie im Sport*, Deutscher Arzte-Verlag, Cologne, 1987: 132-145.
4. Wieling W, Borghols EAM, Hollander AP, Danner SA, Dunning AJ. Echocardiographic dimensions and maximal oxygen uptake in oarsmen during training. *Br Heart J* 1981; 46: 190-5.

Abstrakti 10

ECHOCARDIOGRAPHIC CHANGES DURING FIVE YEARS IN YOUNG CROSS-COUNTRY SKIERS.

H.Rusko & M. Tummavuori, Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland.

The changes in resting and exercise echocardiographic dimensions were studied in young male cross-country skiers (n=9, age 16 years) during five successive years. Total diameter (TD) at rest increased from 7.34 ± 0.50 cm to 7.80 ± 0.49 cm ($p < 0.01$) during five years. End-diastolic diameter (EDD) changed from 5.62 ± 0.48 cm to 5.86 ± 0.43 cm at rest (n.s.), from 5.62 ± 0.26 cm to 5.87 ± 0.43 cm in bicycle exercise at 50 W (n.s.) and from 5.58 ± 0.21 cm to 5.90 ± 0.44 cm at 100 W (n.s.). Resting mean wall thickness increased ($p < 0.001$) with no changes during the first three years and a significant increase from 0.86 ± 0.04 cm to 0.97 ± 0.07 cm ($p < 0.001$) during last two years. Training kilometres correlated with EDD and TD at rest after the first ($p < 0.01$) and fourth ($p < 0.05$) year. No correlations were observed between $VO_2\text{max}$ and echocardiographic dimensions. Long-term training may induce both dilatation and wall thickness changes in young athlete's heart.

Abstrakti 11

MAXIMUM OXYGEN UPTAKE AND THE DEVELOPMENT OF THE ATHLETE'S HEART

M. Tummavuori *(M.Sc) & H. Rusko (Ph.D.)
Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä,
Finland

The purpose of this study was to analyze the influence of the maximum oxygen uptake (VO_{2max}) on the development of the athlete's heart. Young (age 15.6 ± 0.7 yrs) male cross-country skiers were divided into two groups having high (H) ($\geq 68 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $n=8$) or low (L) ($\leq 67 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $n=7$) VO_{2max} in the beginning of the study. VO_{2max} was measured on the treadmill and resting echocardiograms were recorded in left lateral position in the beginning of the study and after three and five years. No differences were observed in the training of the groups during the study. MANOVA showed significant group difference ($p < 0.05$) and interaction ($p < 0.05$) in VO_{2max} and significant training effect in left ventricular end-diastolic diameter (EDD) ($p < 0.01$) and in left ventricular mean wall thickness (MWT) ($p < 0.001$): (mean \pm SD)

		0 year	3 years	5 years
VO_{2max} ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	H	70.8 ± 2.0	68.5 ± 2.6	71.4 ± 2.6
	L	65.0 ± 1.4	67.0 ± 2.2	70.3 ± 5.9
EDD (cm)	H	5.44 ± 0.34	5.80 ± 0.38	5.84 ± 0.45
	L	5.34 ± 0.33	5.59 ± 0.35	5.74 ± 0.34
MWT (cm)	H	0.85 ± 0.04	0.87 ± 0.06	0.98 ± 0.08
	L	0.83 ± 0.05	0.85 ± 0.03	0.93 ± 0.08

Training effect was also observed in total diameter, left ventricular mass, fractional shortening, hypertrophic index, end-diastolic volume and stroke volume ($p < 0.001-0.01$). No correlation was observed between VO_{2max} and echocardiographic variables. In conclusion, the echocardiographic dimensions and the changes in the dimensions were similar in athletes having high or low initial maximum oxygen uptake.

LÄHTEET

- Adams, T.D., Yanowitz, F.G., Fisher, A.G., Ridges, J.D., Lowell, K. and Pryor, T.A. (1981) Noninvasive evaluation of exercise training in college-age men. *Circulation* 64: 958-965.
- Adams, T.D., Yanowitz, F.G., Fisher, A.G., Ridges, J.D., Nelson, A.G., Hagan, A.D., Williams, R.R. and Hunt, S.C. (1985) Heritability of cardiac size: an echocardiographic and electrocardiographic study of monozygotic and dizygotic twins. *Circulation* 71: 39-44.
- Afman, G.H., Adams, T.D., Fisher, A.G., Hunt, S.C., Moreno, F.I.L., Allsen, P.E. and Yanowitz, F.G. (1989) Genetics and exercise training: a 22-week study of monozygotic and dizygotic twins. *Med. Sci. Sports and Exerc.* 21: S76.
- Agati, L., Fedele, F., Gagliardi, M.G., Sciomer, S. and Penco, M. (1985) A super-normal behaviour of echocardiographic diastolic data in athletes despite left ventricular hypertrophy. *J. Sports Card.* 2: 10-16.
- Antoni, H. (1989) Function of the heart. In Schmidt, R.F. and Thews, G. (ed.) *Human physiology*, 439-479. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Aschoff, L. (1928) Die anatomischen Grundlagen von der Herzvergrößerung und der muskulären Herzschwäche. *Verh.* 4, S. 62. Dtsch. Sportärztetagung Berlin 1927. Fischer, Jena.
- Aunola, S. and Rusko, H. (1984) Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-50 year old men. *Eur J Appl Physiol* 53: 260-266.
- Balke, B. and Ware, R.W. (1959) An experimental study of "physical fitness" of air force personnel. *U.S. Armed Forces Medical Journal* 10:675-688.
- Bekaert, I., Pannier, J.L., van De Weghe, C., van Durme, J.P., Clement, D.L. and Pannier, R. (1981) Non-invasive evaluation of cardiac function in professional cyclists. *Br Heart J* 45: 213-218.
- Berberich, S.N., Zager, J.R.S., Plotnick, G.D. and Fisher, M.L. (1984) A practical approach to exercise echocardiography: immediate postexercise echocardiography. *JACC* 3: 284-290.
- Bergh, U. (1987) The influence of body mass in cross-country skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19: 324-331.
- Bielen, E.C., Fagard, R.H. and Amery, A.K. (1991) Inheritance of acute cardiac changes during bicycle exercise: an echocardiographic study in twins. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 1254-1259.
- Bielen, E., Fagard, R. and Amery, A. (1990) Inheritance of heart structure and physical exercise capacity: A study of left ventricular structure and exercise capacity in 7-year-old twins. *European Heart Journal* 11: 7-16.
- Bienmüller, H., Ebner, H. and Hilpert, P. (1982) Echokardiographische Untersuchungen vor und während des Trainings von Hochleistungssportlern (Skilangläufer). *Z. Kardiol.* 71: 754-760.
- Blair, N.L., Younker, J.E., McDonald, I.G., Telford, R. and Jelinek, V.M. (1980) Echocardiographic assessment of cardiac chamber size and left ventricular function in aerobically trained athletes. *Aust. N.Z.J. Med.* 10: 540-547.

- Blimkie, C.J.R., Cunningham, D.A. and Nichol, P.M. (1980) Gas transport capacity and echocardiographically determined cardiac size in children. *J. Appl. Physiol.* 49: 994-999.
- Braunwald, E. and Ross jr., J. (1979) Control and cardiac performance. In Berne, R.M., Sperelakis, N. and Geiger, S.R. (ed.) *Handbook of physiology. Cardiovascular system. The heart, volume 1*, 533-580. American Physiological Society, Bethesda, Maryland.
- Brown, S.P. and Thompson, W.R. (1988) Left ventricular functional and hypertrophic characteristics in weight lifters. *Annals of Sports Medicine* 3: 234-236.
- Bubenheimer, P., Samek, L., Schmeisser, H.J. and Roskamm, H. (1977) Echocardiographic evaluation of left function during exercise in untrained young men and athletes. *Sportarzt, Sportmedizin* 28: 787-794.
- Child, J.S., Barnard, R.J. and Taw, R.L. (1984) Cardiac hypertrophy and function in master endurance runners and sprinters. *J. Appl. Physiol.* 57: 176-181.
- Cohen, J.L. and Segal, K.R. (1985) Left ventricular hypertrophy in athletes: an exercise-echocardiographic study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17: 695-700.
- Colan, S.D., Sanders, S.P., MacPherson, D. and Borow, K.M. (1985) Left ventricular diastolic function in elite athletes with physiologic cardiac hypertrophy. *JACC* 6: 545-549.
- Coplan, N.L., Gleim, G.W. and Nicholas, J.A. (1989) Exercise-related changes in serum catecholamines and potassium: Effect of sustained exercise above and below lactate threshold. *Am Heart J* 117: 1070-1075.
- Cousineau, D., Ferguson, R.J., DeChamplain, J., Gauthier, P., Cote, P. and Bourassa, M. (1977) Catecholamines in coronary sinus during exercise in man before and after training. *J. Appl. Physiol.* 43: 801-806.
- Cox, M.L., Bennett III, J.B. and Dudley, G.A. (1986) Exercise training-induced alterations of cardiac morphology. *J. Appl. Physiol.* 61: 926-931.
- Crawford, M.H., Petru, M.A. and Rabinowitz, C. (1985) Effect of isotonic exercise training on left ventricular volume during upright exercise. *Circulation* 72: 1237-1243.
- Crouse, S.F., Rohack, J.J. and Jacobsen, D.J. (1992) Cardiac structure and function in women basketball athletes: seasonal variation and comparisons with nonathletic controls. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 63: 393-401.
- Csanády, M., Forster, T. and Högye, M. (1986) Comparative echocardiographic study of junior and senior basketball players. *Int. J. Sports Med.* 7: 128-132.
- Cullinane, E.M., Sady, S.P., Vadeboncoeur, L., Burke, M. and Thompson, P.D. (1986) Cardiac size and VO_{2max} do not decrease after short-term exercise cessation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 420-424.
- Cumming, D.C., Brunsting III L.A., Strich, G., Ries, A.L. and Rebar, R.W. (1986) Reproductive hormone increases in response to acute exercise in men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 369-373.
- Cunningham, D.A., Paterson, D.H., Blimkie, C.J.R. and Donner, A.P. (1984) Development of cardiorespiratory function in circumpubertal boys: a longitudinal study. *J. Appl. Physiol.* 56: 302-307.

- Daniels, J., Oldridge, N., Nagle, F. and White, B. (1978) Differences and changes in VO_2 among young runners 10 to 18 years of age. *Med. Sci. Sports Exerc.* 10: 200-203.
- DeMaria, A.N., Neumann, A., Lee, G., Fowler, W. and Mason, D.T. (1978) Alterations in ventricular mass and performance induced by exercise training in man evaluated by echocardiography. *Circulation* 57: 237-244.
- Devereux, R.B., Alonso, D.R., Lutas, E.M., Gottlieb, G.J., Campo, E., Sachs, I. and Reichek, N. (1986) Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings. *Am J Cardiol* 57: 450-458.
- Di Bello, V., Cini, G., Santaro, G., Lunardi, M., Ginanni, A., Nardinelli, D., Adami, P., Graci, G. and Giusti, C. (1985) Echocardiographic evaluation of left ventricular mass and performance in football-players. *J. Sports Card.* 2: 32-37.
- Di Bello, V., Santoro, G., Cini, G., Pentimone, F., Ginanni, A., Romano, M.F. and Giusti, C. (1987) Cardiovascular adjustments induced by training evaluated during semisupine isotonic exercise and recovery period: An echocardiographic study. *Int. J. Sports Med.* 8: 407-414.
- Dickhuth, H.-H., Horstmann, T., Staiger, J., Reindell, H. and Keul, J. (1989) The long-term involution of physiological cardiomegaly and cardiac hypertrophy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21: 244-249.
- Dickhuth, H.-H., Jakob, E., Staiger, J. and Keul, J. (1987) Echokardiographische Befunde beim Sportherz. In Rost, R. and Webering, F. (ed.) *Kardiologie im Sport*, 132-145. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.
- Dickhuth, H.-H., Lehmann, M., Abel, R. and Keul, J. (1983) Zweidimensionale Belastungsechokardiographie und Plasmakatecholamin-Bestimmungen zur Beurteilung des physiologisch hypertrophierten Herzens. *Z. Kardiol.* 72: 268-276.
- Dickhuth, H.-H., Simon, G., Heiss, H.W., Lehmann, M., Wybitul, K. and Keul, J. (1981) Comparative echocardiographic examinations in sitting and supine position at rest and during dynamic exercise. *Int. J. Sports Med.* 2: 178-181.
- Dore, S., Brisson, G.R., Montpetit, R., Perrault, H., Peronnet, F. and Massicotte, D. (1990) Differential response in circulating hGH molecular species induced by exercise and sauna in male swimmers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22: S31.
- Douglas, P.S., O'Toole, M.L., Hiller, D.B. and Reichek, N. (1986) Left ventricular structure and function by echocardiography in ultraendurance athletes. *Am J Cardiol* 58: 805-809.
- Drescher, E., Austenat, J. and Thümmler, M. (1986) Echokardiographische Untersuchungen zur Gestalt und Funktion des linken Ventrikels bei Ausdauersportlern. *Med. u. Sport* 26: 249-252.
- DuBois, J.L. and DuBois, F.F. (1916) A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Archives of Internal Medicine* 17: 863-871.
- Durnin, J.V.G.A. and Rahaman, M.M. (1967) The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br. J. Nutr.* 21: 681-689.

- Ehsani, A.A., Hagberg, J.M. and Hickson, R.C. (1978) Rapid changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning. *Am J Cardiol* 42: 52-56.
- Ekblom, B., Kilbom, Å. and Soltysiak, J. (1973) Physical training, bradycardia, and autonomic nervous system. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 32: 251-256.
- Fagard, R.H. (1996) Athlete's heart: a meta-analysis of the echocardiographic experience. *Int. J. Sports Med.* 17: S140-S144.
- Fagard, R., Aubert, A., Lysens, R., Staessen, J., Vanhees, L. and Amery, A. (1983) Noninvasive assessment of seasonal variations in cardiac structure and function in cyclists. *Circulation* 67: 896-901.
- Fagard, R., Aubert, A., Staessen, J., van den Eynde, E., van Hees, L. and Amery, A. (1984) Cardiac structure and function in cyclists and runners. Comparative echocardiographic study. *Br Heart J* 52: 124-129.
- Fedele, F., Agati, L., Penco, M., Sciomer, S., Gagliardi, M.G. and DiRenzi, P. (1985) 2D exercise echocardiography in athletes. A study of the mechanisms responsible for the increase in the ejection fraction. *J. Sports Card.* 2: 1-9.
- Feigenbaum, H. (1986) *Echocardiography*. Lea & Febiger, Philadelphia.
- Fisher, A.G., Adams, T.D., Yanowitz, F.G., Ridges, J.D., Orsmond, G. and Nelson, A.G. (1989) Noninvasive evaluation of world class athletes engaged in different modes of training. *Am J Cardiol* 63: 337-341.
- Fleck, S.J., Henke, C. and Wilson, W. (1989) Cardiac MRI of elite junior olympic weight lifters. *Int. J. Sports Med.* 10: 329-333.
- Forster, T., Hógye, M., Gruber, N. and Csanády, M. (1986) Versenyszerűen kajakozó, kenuzó fiúk 2 éves követéses echocardiographiás vizsgálata. *Hun. Rev. Sports Med.* 27:95-104.
- Frick, H., Elovainio, R. and Somer, T. (1967) The mechanism of bradycardia evoked by physical training. *Cardiologia* 51: 46.
- Fry, A.C., Kraemer, W.J., Stone, M.H., Fleck, S.J., Warren, B., Conroy, B.P., Weseman, C.A. and Gordon, S.E. (1990) Acute endocrine responses in elite junior weightlifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22:S4.
- Galanti, G., Toncelli, L. and Comeglio, M. (1987) Morphological and functional effects on athletes' heart after a period of absolute inactivity. *J. Sports Card.* 4: 102-106.
- Galbo, H. (1983) *Hormonal and metabolic adaptation to exercise*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Geenen, D.L., Gilliam, T.B., Crowley, D., Moorehead-Steffens, C. and Rosenthal, A. (1982) Echocardiographic measures in 6 to 7 year old children after an 8 month exercise program. *Am J Cardiol* 49: 1990-1995.
- George, K.P., Wolfe, L.A. and Burggraf, G.W. (1991) The 'athletic heart syndrome'. A critical review. *Sports Med.* 11: 300-331.
- Gilbert, C.A., Nutter, D.O., Felner, J.M., Perkins, J.V., Heymsfield, S.B. and Schlant, R.C. (1977) Echocardiographic study of cardiac dimensions and function in the endurance-trained athlete. *Am J Cardiol* 40: 528-533.
- Gledhill, N., Cox, D. and Jamnik, R. (1994) Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 1116-1121.

- Gleser, M.A., Horstman, D.H. and Mello, R.P. (1974) The effect on VO_{2max} of adding arm work to maximal leg work. *Med. Sci. Sports Exerc.* 6: 104-107.
- Graettinger, W.F. (1984) The cardiovascular response to chronic physical exertion and exercise training: An echocardiographic review. *Am Heart J* 108: 1014-1018.
- Granger, C.B., Karimedдини, M.K., Smith, V.-E., Shapiro, H.R., Katz, A.M. and Riba, A.L. (1985) Rapid ventricular filling in left ventricular hypertrophy: I. Physiologic hypertrophy. *JACC* 5: 862-868.
- Gutin, B., Mayers, N., Levy, J.A. and Herman, M.V. (1985) Physiologic and echocardiographic studies of age-group runners. In Brown, E.W. and Branta, C.F. (ed.) *Competitive sports for children and youth*, 117-128. Human Kinetics Books, Champaign, Illinois, USA.
- Hagan, R.D., Laird, W.P. and Gettman, L.R. (1985) The problems of per-surface and per-weight standardization indices in the determination of cardiac hypertrophy in endurance trained athletes. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation* 5: 554-560.
- Hamel, P., Simoneau, J.-A., Lortie, G., Boulay, M.R. and Bouchard, C. (1986) Heredity and muscle adaptation to endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 690-696.
- Heath, G.W., Hagberg, J.M., Ehsani, A.A. and Holloszy, J.O. (1981) A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J. Appl. Physiol* 51: 634-640.
- Henriksen, E., Landelius, J., Wesslént, L., Arnell, H., Nyström-Rosander, C., Kangro, T., Jonason, T., Rolf, C., Lidell, C., Hammarström, E., Ringqvist, I. and Friman, G. (1996) Echocardiographic right and left ventricular measurements in male elite endurance athletes. *European Heart Journal* 17: 1121-1128.
- Henschen, S. (1899) *Skilanglauf und Skiwetttlauf. Eine medizinische Sportstudie.* Mitt. med. Klin., Upsala, Jena.
- Hermansen, L. (1973) Oxygen transport during exercise in human subjects. *Acta Physiol Scand (Suppl. 399)* 9-36.
- Hirvonen, L. (1994) *Verenkierto. Verenkierron kokonaisuus ja sydämen toiminta.* In Sovijärvi, A., Uusitalo, A., Länsimies, E. and Vuori, I. (ed.) *Kliinisen fysiologian oppikirja*, 108-116. Kustannus Oy Duodecim, Helsinki.
- Hollmann, W., Rost, R., DeMeirleir, K., Liesen, H., Heck, H. and Mader, A. (1986) Cardiovascular effects of extreme physical training. *Acta Med Scand, Suppl.* 711: 193-203.
- Ikäheimo, M.J., Palatsi, I.J. and Takkunen, J.T. (1979) Noninvasive evaluation of the athletic heart: sprinters versus endurance runners. *Am J Cardiol* 44: 24-30.
- James, T.N., Sherf, L., Schlant, R.C. and Silverman, M.E. (1982) Anatomy of the heart. In Hurst, J.W. (ed.) *The heart. Arteries and veins*, 22-74. McGraw-Hill Book Company, USA.
- Janz, K.F., Burns, T.L. and Mahoney, L.T. (1995) Predictors of left ventricular mass and resting blood pressure in children: the Muscatine Study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:818-825.
- Kahlstorf, A. (1933) Über Korrelationen der linearen Herzmasse und des Herzvolumens. *Klin. Wschr.*, 12: 262.

- Karpman, V.L. (1987) Cardiovascular system and physical exercise. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Katona, P.G., McLean, M., Dighton, D.H. and Guz, A. (1982) Sympathetic and parasympathetic cardiac control in athletes and nonathletes at rest. *J. Appl. Physiol.* 52: 1652-1657.
- Kaufmann, W. (1933) Die Beeinflussung der Herzgröße durch Arbeit und Sport. *Med. Welt.*, 7: 1347.
- Keul, J., Dickhuth, H.-H., Lehmann, M. and Staiger, J. (1982) The athlete's heart - haemodynamics and structure. *Int. J. Sports Med.* 3: 33-43.
- Keul, J., Dickhuth, H.-H., Simon, G. and Lehmann, M. (1981) Effect of static and dynamic exercise on heart volume, contractility, and left ventricular dimensions. *Circ Res* 48: (Suppl. 1) I-162-I-170.
- Kirch, E. (1936) Herzkraftigung und echte Herzhypertrophie durch Sport. *Z. Kreislauff.*, 28: 893.
- Kirch, E. (1935) Anatomische Grundlagen des Sportherzens. *Verh. Dtsch. Ges. Inn. Med.*, 47: 73.
- Kjellberg, S., Ruhde, U. and Sjöstrand, T. (1949) The relation of the cardiac volume to the weight and surface area of the body, the blood volume and the physical capacity for work. *Acta Radiol.*, 31: 115.
- Kobayashi, K., Kitamura, K., Miura, M., Sodeyama, H., Murase, Y., Miyashita, M. and Matsui, H. (1978) Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *J. Appl. Physiol.* 44: 666-672.
- Kuipers, H. and Keizer, H.A. (1988) Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports Medicine* 6: 79-92.
- Kupari, M. (1994) Sydämen fysiologiaa. In Frick, H., heikkilä, J. and Pyörälä, K. (ed.) *Kliininen kardiologia*, 11-43. Karisto Oy, Hämeenlinna.
- Lamont, L.S. (1980) Effects of training on echocardiographic dimensions and systolic time intervals in women swimmers. *J Sports Med* 20: 397-404.
- Landry, F., Bouchard, C. and Dumesnil, J. (1985) Cardiac dimension changes with endurance training. Indications of a genotype dependancy. *JAMA* 254: 77-80.
- Lehmann, M., Dickhuth, H.-H., Gendrisch, G., Lazar, W., Thum, M., Aramendi, J.F., Huonker, M., Jakob, E., Dürr, H., Stockhausen, W., Wieland, H. and Keul, J. (1990) Training - Übertraining. *Sportmedizin* 41: 112-124.
- Lehmann, M., Foster, C. and Keul, J. (1993) Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 854-862.
- Levine, B.D. (1993) Regulation of central blood volume and cardiac filling in endurance athletes: the Frank-Starling mechanism as a determinant of orthostatic tolerance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 727-732.
- Longhurst, J.C., Kelly, A.R., Gonyea, W.J. and Mitchell, J.H. (1980) Echocardiographic left ventricular masses in distance runners and weight lifters. *J. Appl. Physiol.* 48: 154-162.
- Lysholm, E., Nylin, G. and Quarna, K. (1934) The relation between heart volume and stroke volume under physiological and pathological conditions. *Acta Radiol.* 15: 237.

- MacFarlane, N., Northridge, D.B., Wright, A.R., Grant, S. and Dargie, H.J. (1991) A comparative study of left ventricular structure and function in elite athletes. *Br J Sp Med* 25: 45-48.
- Maron, B.J. (1986) Structural features of the athlete heart as defined by echocardiography. *JACC* 7: 190-203.
- Maron, B.J., Roberts, W.C., McAllister, H.A., Rosing, D.R. and Epstein, S.E. (1980) Sudden death in young athletes. *Circulation* 62: 218-229.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.I. (1996) *Exercise physiology*. Williams & Williams, Baltimore, Maryland, U.S.A.
- Medved, R., Fabecic-Sabadi, V. and Medved, V. (1986) Echocardiographic findings in children participating in swimming training. *Int. J. Sports Med.* 7: 94-99.
- Menapace, F.J., Hammer, W.J., Ritzer, T.F., Kessler, K.M., Warner, H.F., Spann, J.F. and Bove, A.A. (1982) Left ventricular size in competitive weight lifters: an echocardiographic study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 72-75.
- Meško, D., Jurko, A., Vrílík, M., Novomeská, M., Horniak, E. and Dzurenková, D. (1993) Development of the left ventricular hypertrophy and dilation in adolescent ice hockey players evaluated with echocardiography. *Sports Med., Training and Rehab.* 4: 177-188.
- Miki, T., Yokatani, Y., Seo, T. and Yokoyama, M. (1994) Echocardiographic findings in 104 professional cyclists with follow-up study. *Am Heart J* 127: 898-905.
- Milliken, M.C., Stray-Gundersen, J., Peshock, R.M., Katz, J. and Mitchell, J.H. (1988) Left ventricular mass as determined by magnetic resonance imaging in male endurance athletes. *Am J Cardiol* 62: 301-305.
- Moore, R.B., Shapiro, L.M. and Gibson, D.G. (1984) Relation between electrocardiographic repolarisation changes and mechanical events in left ventricular hypertrophy. *Br Heart J* 52: 516-523.
- Morgan, H.E. and Baker, K.M. (1991) Cardiac Hypertrophy. Mechanical, neural, and endocrine dependence. *Circulation* 83: 13-25.
- Morganroth, J., Maron, B.J., Henry, W.L. and Epstein, S.E. (1975) Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Annals of Internal Medicine* 82:521-524.
- Murase, Y., Kobayashi, K., Kamei, S. and Matsui, H. (1981) Longitudinal study of aerobic power in superior junior athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 13: 180-184.
- Niemelä, K.O., Palatsi, I.J., Ikäheimo, M.I., Takkunen, J.T. and Vuori, J.J. (1984) Evidence of impaired left ventricular performance after an uninterrupted competitive 24 hour run. *Circulation* 70: 350-356.
- Nishimura, T., Yamada, Y. and Kawai, C. (1980) Echocardiographic evaluation of long-term effects of exercise on left ventricular hypertrophy and function in professional bicyclists. *Circulation* 61: 832-840.
- Notaristefano, A., Sciomer, S., Solinas, P., Vizza, C.D., D'Ambrosio, P., Rodofili, C., Renzi, M., Penco, M., Agati, L., Fedele, F. and Dagiati, A. (1988) Anaerobic threshold and ventricular function. In Dagiati, A. and Feigenbaum, H. (ed.) *Echocardiography*, 135-141. Elsevier Science Publishers B.V. (Biomedical Division).

- Osborne, G., Wolfe, L.A., Burggraf, G.W. and Norman, R. (1992) Relationships between cardiac dimensions, anthropometric characteristics and maximal aerobic power (VO_{2max}) in young men. *Int. J. Sports Med.* 13: 219-224.
- Pannier, J.L., Bekaert, I.E. and Pannier, R. (1982) Echocardiographic and radiographic study of cardiac dimensions in relation to aerobic work capacity. *J Sports Med* 22: 165-171.
- Paulsen, W.J., Boughner, D.R., Friesen, A. and Persaud, J.A. (1979) Ventricular response to isometric and isotonic exercise. Echocardiographic assessment. *Br Heart J* 42: 521-527.
- Pavlik, G., Bachl, N., Wollein, W., Lángfy, Gy. and Prokop, L. (1986) Effect of training and detraining on the resting echocardiographic parameters in runners and cyclists. *J. Sports Card.* 3: 35-45.
- Pekkarinen, H. (1986) Urheilevan koululaisen kasvu, kunto ja terveys. *Kuopion yliopiston julkaisuja* 13, Kuopio.
- Pelliccia, A. (1996) Determinants of morphologic cardiac adaptation in elite athletes: the role of athletic training and constitutional factors. *Int. J. Sports Med.* 17: S157-S163.
- Pelliccia, A., Maron, B.J., Culasso, F., Spataro, A., Biffi, A. and Caselli, G. (1995) Upper limits of physiologically induced left ventricular cavity enlargement due to athletic training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27: S190.
- Pelliccia, A., Maron, B.J., Spataro, A., Proschan, M.A. and Spirito, P. (1991) The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes. *N Engl J Med* 324: 295-301.
- Pelliccia, A., Spataro, A., Caselli, G. and Maron, B.J. (1993) Absence of left ventricular wall thickening in athletes engaged in intense power training. *Am J Cardiol* 72: 1048-1054.
- Pelliccia, A., Spataro, A., Granata, M., Biffi, A., Caselli, G. and Alabiso, A. (1990) Coronary arteries in physiological hypertrophy: echocardiographic evidence of increased proximal size in elite athletes. *Int. J. Sports Med.* 11: 120-126.
- Péronnet, F., Perrault, H., Cléroux, J., Cousineau, D., Nadeau, R., Pham-Huy, H., Tremblay, G. and Lebeau, R. (1980) Electro- and echocardiographic study of the left ventricle in man after training. *Eur J Appl Physiol* 45: 125-130.
- Perrault, H., Lajoie, D., Péronnet, F., Nadeau, R., Tremblay, G. and Lebeau, R. (1982) Left ventricular dimensions following training in young and middle-aged men. *Int. J. Sports Med.* 3: 141-144.
- Perrault, H. and Turcotte, R.A. (1994) Exercise-induced cardiac hypertrophy. Fact or fallacy? *Sports Med.* 17: 288-308.
- Piha, S.J. (1988) Cardiovascular autonomic function tests. Publications of social insurance institution, Finland, ml: 85. Department of Internal Medicine, University of Turku.
- Plotnick, G.D., Becker, L.C., Fisher, M.L., Gerstenblith, G., Renlund, D.G., Fleg, J.L., Weisfeldt, M.L. and Lakatta, E.G. (1986) Use of the Frank-Starling mechanism during submaximal versus maximal upright exercise. *Am. J. Physiol.* 251: H1101-H1105.
- Pluim, B.M., Chin, J.C., De Roos, A., Doornbos, J., Siebelink, H.-M.J., Van der Laarse, A., Vliegen, H.W., Lamerichs, R.M.J.N., Brusckhe, A.V.G. and Van der

- Wall, E.E. (1996) Cardiac anatomy, function and metabolism in elite cyclists assessed by magnetic resonance imaging and spectroscopy. *European Heart Journal* 17: 1271-1278.
- Poliner, L.R., Dehmer, G.J., Lewis, S.E., Parkey, R.W., Blomqvist, C.G. and Willerson, J.T. (1980) Left ventricular performance in normal subjects: A comparison of the responses to exercise in the upright and supine positions. *Circulation* 62: 528-534.
- Prud'Homme, D., Bouchard, C., Leblanc, C., Landry, F. and Fontaine, E. (1984) Sensitivity of maximal aerobic power to training is genotype-dependent. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16: 489-493.
- Reindell, H., Klepzig, H., Steim, H., Musshoff, K., Roskamm, H. and Schildge, E. (1960) *Herz-Kreislaufkrankheiten und Sport*, Barth, München.
- Rerych, S.K., Scholz, P.M., Sabiston, D.C. and Jones, R.H. (1980) Effects of exercise training on left ventricular function in normal subjects: a longitudinal study by radionuclide angiography. *Am J Cardiol* 45: 244-252.
- Reybrouck, T., Heigenhauser, G.F. and Faulkner, J.A. (1975) Limitations to maximum oxygen uptake in arm, leg and combined arm-leg ergometry. *J. Appl. Physiol.* 38: 774-779.
- Ricci, G., Lajoie, D., Petitclerc, R., Peronnet, F., Ferguson, R.J., Fournier, M. and Taylor, A.W. (1982) Left ventricular size following endurance, sprint, and strength training. *Med. Sci. Sports Exercise* 14: 344-347.
- Rodriguez Reguero, J.J., Iglesias Cubero, G., López de la Iglesia, J., Terrados, N., Gonzalez, V., Cortina, R. and Cortina, A. (1995) Prevalence and upper limit of cardiac hypertrophy in professional cyclists. *Eur J Appl Physiol* 70: 375-378.
- Rogers, P.J., Tyce, G.M., Weinshilboum, R.M., O'Connor, D.T. and Bove, A.A. (1989) Catecholamine metabolic pathways and exercise training: plasma and urine catecholamines, metabolic enzymes and chromogranin A. *Journal of the American College of Cardiology* 13: 182A. 1989
- Rohrer, F. (1916) Volumenbestimmungen an Körperhöhlen und Organen auf orthodiagraphischem Wege. *Fortschr. Röntgenstr.* 24: 285.
- Rost, R. (1990) The frontiers between physiology and pathology in the athlete's heart: to what limits can it enlarge and beat slowly? In Nazer, K. and Terjung, R.C. (ed.) *International perspectives in exercise physiology*. Champaign, Ill., Human Kinetics Publishers.
- Rost, R. (1982) The athlete's heart. *European Heart Journal* 3: (Suppl) 193-198.
- Rost, R. and Hollmann, W. (1983) Athlete's heart - a review of its historical assessment and new aspects. *Int. J. Sports Med.* 4: 147-165.
- Rowland, T.W., Delaney, B.C. and Siconolfi, S.F. (1987) 'Athlete's heart' in prepubertal children. *Pediatrics* 79: 800-804.
- Rowland, T.W., Unnithan, V.B., MacFarlane, N.G., Gibson, N.G. and Paton, J.Y. (1994) Clinical manifestations of the 'athlete's heart' in prepubertal male runners. *Int. J. Sports Med.* 15: 515-519.
- Roy, A., Doyon, M., Dumesnil, J.G., Jobin, J. and Landry, F. (1988) Endurance vs. strength training: comparison of cardiac structures using normal predicted values. *J. Appl. Physiol.* 64: 2552-2557.

- Rubal, B.J., Al-Muhailani, A.-R. and Rosentswieg, J. (1987) Effects of physical conditioning on the heart size and wall thickness of college women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19: 423-429.
- Rubal, B.J., Moody, J.M., Damore, S., Bunker, S.R. and Diaz, N.M. (1986) Left ventricular performance of the athletic heart during upright exercise: a heart rate-controlled study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 134-140.
- Rusko, H.K. (1992) Development of aerobic power in relation to age and training in cross-country skiers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 1040-1047.
- Rusko, H. (1987) The effects of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. *Journal of Sports Sciences* 5: 273-286.
- Rusko, H.K., Rahkila, P., Vihko, V. and Holappa, H. (1989) Longitudinal changes in heart rate and blood pressure during overtraining period. First IOC world congress on sport sciences, October 28 - november 3. Colorado Springs, Colorado, U.S.A.
- Schaible, T.F. and Scheuer, J. (1981) Cardiac function in hypertrophied hearts from chronically exercised female rats. *J. Appl. Physiol.* 50: 1140-1145.
- Schairer, J.R., Stein, P.D., Keteyian, S., Fedel, F., Ehrman, J., Alam, M., Henry, J.W. and Shaw, T. (1992) Left ventricular response to submaximal exercise in endurance-trained athletes and sedentary adults. *Am J Cardiol* 70: 930-933.
- Schlant, R.C., Sonnenblick, E.H. and Gorlin, R. (1982) Normal physiology of the cardiovascular system. In Hurst, J.W. (ed.) *The heart. Arteries and veins*, 75-114. McGraw-Hill Book Company, U.S.A.
- Schumacher, R. and Howald, H. (1984) Echokardiographische Nachuntersuchung von ehemaligen Spitzensportlern mit typischem Sportherz. *Schweiz. Ztschr. Sportmed.* 32: 117-123.
- Secher, N.H., Ruberg-Larsen, N., Binkhorst, R.A. and Bonde-Bedersen, F. (1974) Maximal oxygen uptake during arm cranking and combined arm plus leg exercise. *J. Appl. Physiol.* 36: 515-518.
- Sepúlveda, F., DeOliveira, E., DeOliveira, P.G., DeMacedo, E., Maciel, L., Costa, O., Oliveira, A. and DeFreitas, F. (1989) M-mode echocardiography study of twenty-two top class racing cyclists. *J Sports Med Phys Fitness* 29: 136-140.
- Shapiro, L.M. (1987) Left ventricular hypertrophy in athletes in relation to the type of sport. *Sports Med.* 4: 239-244.
- Shapiro, L.M. (1984) Physiological left ventricular hypertrophy. *Br Heart J* 52: 130-135.
- Shapiro, L.M. and McKenna, W.J. (1984) Left ventricular hypertrophy. Relation of structure to diastolic function in hypertension. *Br Heart J* 51: 637-642.
- Shapiro, L.M. and Smith, R.G. (1983) Effect of training on left ventricular structure and function. An echocardiographic study. *Br Heart J* 50: 534-539.
- Shephard, R.J. (1996) The athlete's heart: is big beautiful? *Br J Sports Med* 30: 5-10.
- Skinner, J.S. and McLellan, T.H. (1980) The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 51: 234-248.
- Smith, M.L., Hudson, D.L., Graitzer, H.M. and Raven, P.B. (1989) Exercise training bradycardia: the role of autonomic balance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21: 40-44.

- Snoeckx, L.H.E.H., Abeling, H.F.M., Lambregts, J.A.C., Schmitz, J.J.F., Verstappen, F.T.J. and Reneman, R.S. (1983) Cardiac dimensions in athletes in relation to variations in their training program. *Eur J Appl Physiol* 52: 20-28.
- Snoeckx, L.H.E.H., Abeling, H.F.M., Lambregts, J.A.C., Schmitz, J.J.F., Verstappen, F.T.J. and Reneman, R.S. (1982) Echocardiographic dimensions in athletes in relation to their training programs. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 428-434.
- Spataro, A., La Mura, G., Naccari, D., Pelliccia, A., Marcello, G., Alabiso, A. and Fiaccarini, L. (1996) Effects of sustained training on T-wave alterations in elite rowers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: S171.
- Spataro, A., Pelliccia, A., Caselli, G., Amici, E. and Venerando, A. (1985) Echocardiographic standards in top-class athletes. A morphological study. *J. Sports Card.* 2: 17-27.
- Spirito, P., Agati, L., Derchi, G., Pelliccia, A., Penco, M., Fabietti, F., Dagianti, A. and Vecchio, C. (1988) Noninvasive assessment of left ventricular diastolic function in athletes. In Dagianti, A. and Feigenbaum, H. (ed.) *Echocardiography*. Elsevier Science Publishers B.V. (Biomedical Division).
- Spirito, P., Maron, B.J., Bonow, R.O. and Epstein, S.E. (1983) Prevalence and significance of an abnormal S-T segment response to exercise in a young athletic population. *Am J Cardiol* 51: 1663-1666.
- Spirito, P., Pelliccia, A., Proschan, M.A., Granata, M., Spataro, A., Bellone, P., Caselli, G., Biffi, A., Vecchio, C. and Maron, B.J. (1994) Morphology of the "athlete's heart" assessed by echocardiography in 947 elite athletes representing 27 sports. *Am J Cardiol* 74: 802-806.
- Stein, R.A. (1984) Exercise echocardiography. *Cardiology Clinics* 2: 429-439.
- Stein, R.A., Michielli, D., Diamond, J., Horwitz, B. and Krasnow, N. (1980) The cardiac response to exercise training: echocardiographic analysis at rest and during exercise. *Am J Cardiol* 46: 219-225.
- Steingart, R.M., Wexler, J., Slagle, S. and Scheuer, J. (1984) Radionuclide ventriculographic responses to graded supine and upright exercise: critical role of the Frank-Starling mechanism at submaximal exercise. *Am J Cardiol* 53: 1671-1677.
- Stenberg, J., Åstrand, P.-O., Ekblom, B., Royce, J. and Saltin, B. (1967) Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *J. Appl. Physiol.* 22:61-70.
- Strømme, S.B., Ingjer, F. and Meen, H.D. (1977) Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J. Appl. Physiol.* 42: 833-837.
- Swan, P.D. and Spitler, D.L. (1989) Cardiac dimensions and physical profile of masters level swimmers. *J Sports Med* 29: 97-103.
- Taylor, H.L., Buskirk, E. and Henschel, A. (1955) Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J. Appl. Physiol.* 8:73-80.
- Taylor, A.W., Ferguson, R.J., Petitcherc, R., Ricci, J., Fournier, M., Montpetit, R.R. and Chaitman, B.R. (1979) Cardiac and skeletal muscle adaptation to continuous and short-interval training in adolescent boys. In Poortmans, J. and Niset, G. (ed.) *Biochemistry of exercise IV-B*, International Series on Sport Sciences, volume 11B, University Park Press, Baltimore.

- Telford, R.D., McDonald, I.G., Ellis, L.B., Chennells, M.H.D., Sandstrom, E.R. and Fuller, P.J. (1988) Echocardiographic dimensions in trained and untrained 12-year-old boys and girls. *Journal of Sports Sciences* 6: 49-57.
- Tharp, G.D. (1987) Echocardiographic dimensions of prepubescent boys during a competitive basketball season. *J. Sports Card.* 4:15-19.
- Thompson, P.D., Lewis, S., Varady, A., Areskog, N., Popp, R., Debusk, R. and Haskell, W. (1981) Cardiac dimensions and performance after either arm or leg endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 13: 303-309.
- Turpeinen, A.K., Kuikka, J.T., Vanninen, E., Vainio, P., Vanninen, R., Litmanen, H., Koivisto, V.A., Bergström, K. and Uusitupa, M.I.J. (1996) Athletic heart: a metabolic, anatomical, and functional study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 33-40.
- Urhausen, A., Hölpes, R. and Kindermann, W. (1989) One- and two-dimensional echocardiography in bodybuilders using anabolic steroids. *Eur J Appl Physiol* 58: 633-640.
- Urhausen, A. and Kindermann, W. (1992) Echocardiographic findings in strength- and endurance-trained athletes. *Sports Medicine* 13: 270-284.
- Urhausen, A. and Kindermann, W. (1989) One- and two-dimensional echocardiography in body builders and endurance-trained subjects. *Int. J. Sports Med.* 10: 139-144.
- Van den Broeke, C. and Fagard, R. (1988) Left ventricular structure and function, assessed by imaging and Doppler echocardiography, in athletes engaged in throwing events. *Int. J. Sports Med.* 9: 407-411.
- Viru, A. (1985 II) Hormones in muscular activity, Vol II, Adaptive effect of hormones in exercise, CRC, Press Inc., Boca Rator. Florida, USA, 114.
- Vollmer-Larsen, A., Vollmer-Larsen, B., Kelbæk, H. and Godtfredsen, J. (1989) The veteran athlete: an echocardiographic comparison of veteran cyclists, former cyclists and non-athletic subjects. *Acta Physiol Scand* 135: 393-398.
- Weiss, J.L., Weisfeldt, M.L., Mason, S.J., Garrison, J.B., Livengood, S.V. and Fortuin, N.J. (1979) Evidence of Frank-Starling effects in man during severe semisupine exercise. *Circulation* 59: 655-661.
- Wenger, H.A. and Bell, G.J. (1986) The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Medicine* 3: 346-356.
- Wieling, W., Borghols, E.A.M., Hollander, A.P., Danner, S.A. and Dunning, A.J. (1981) Echocardiographic dimensions and maximal oxygen uptake in oarsmen during training. *Br Heart J* 46: 190-195.
- Wikman-Coffelt, J., Parmley, W.W. and Mason, D.T. (1979) The cardiac hypertrophy process. Analyses of factors determining pathological vs. physiological development. *Circ Res* 45: 697-707.
- Wolfe, L.A., Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A. and Nichol, P.M. (1979) Effects of endurance training on left ventricular dimensions in healthy men. *J. Appl. Physiol.* 47: 207-212.
- Zeppilli, P. and Venerando, A. (1981) Sudden death and physical exertion. *J. Sports Med.* 21: 299-300.

Zuliani, U., Bernardini, B., Catapano, A., Campana, M., Cerioli, G. and Spattini, M. (1989) Effects of anabolic steroids, testosterone, and HGH on blood lipids and echocardiographic parameters in body builders. *Int. J. Sports Med.* 10: 62-66.

Juoksumattotesteissä käytetyt koehenkilöiden kuormitusmallit.

JUOKSU

Aika (min)	Nopeus (m·s ⁻¹)	Kulma (aste)	Työ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
3	6.3	1.0	20
6	8.1	1.0	26
9	9.9	1.0	32
12	11.7	1.0	38
15	13.5	1.0	44
18	13.5	2.4	50
21	13.5	3.8	56
24	13.5	4.7	62
27	13.5	5.6	68
30	13.5	6.5	74

SAUVAKÄVELY

Aika (min)	Nopeus (m·s ⁻¹)	Kulma (aste)	Työ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
3	6.4	2.0	26
6	6.7	5.0	32
9	7.0	6.4	38
12	7.0	7.9	44
15	7.0	9.6	50
18	7.0	11.2	56
21	7.0	12.8	62
24	7.0	14.4	68
27	7.5	14.5	74
30	8.0	14.8	80

Sauvakävelytesteissä käytetyt kontrollihenkilöiden kuormitusmallit.

Malli 1

Aika (min)	Nopeus (m·s ⁻¹)	Kulma (aste)	Työ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
3	6.0	2.3	20
6	6.0	4.2	26
9	6.5	5.3	32
12	7.0	6.4	38
15	7.0	7.9	44
18	7.0	9.6	50
21	7.0	11.2	56
24	7.0	12.8	62
27	7.0	14.4	68
30	7.5	14.5	74

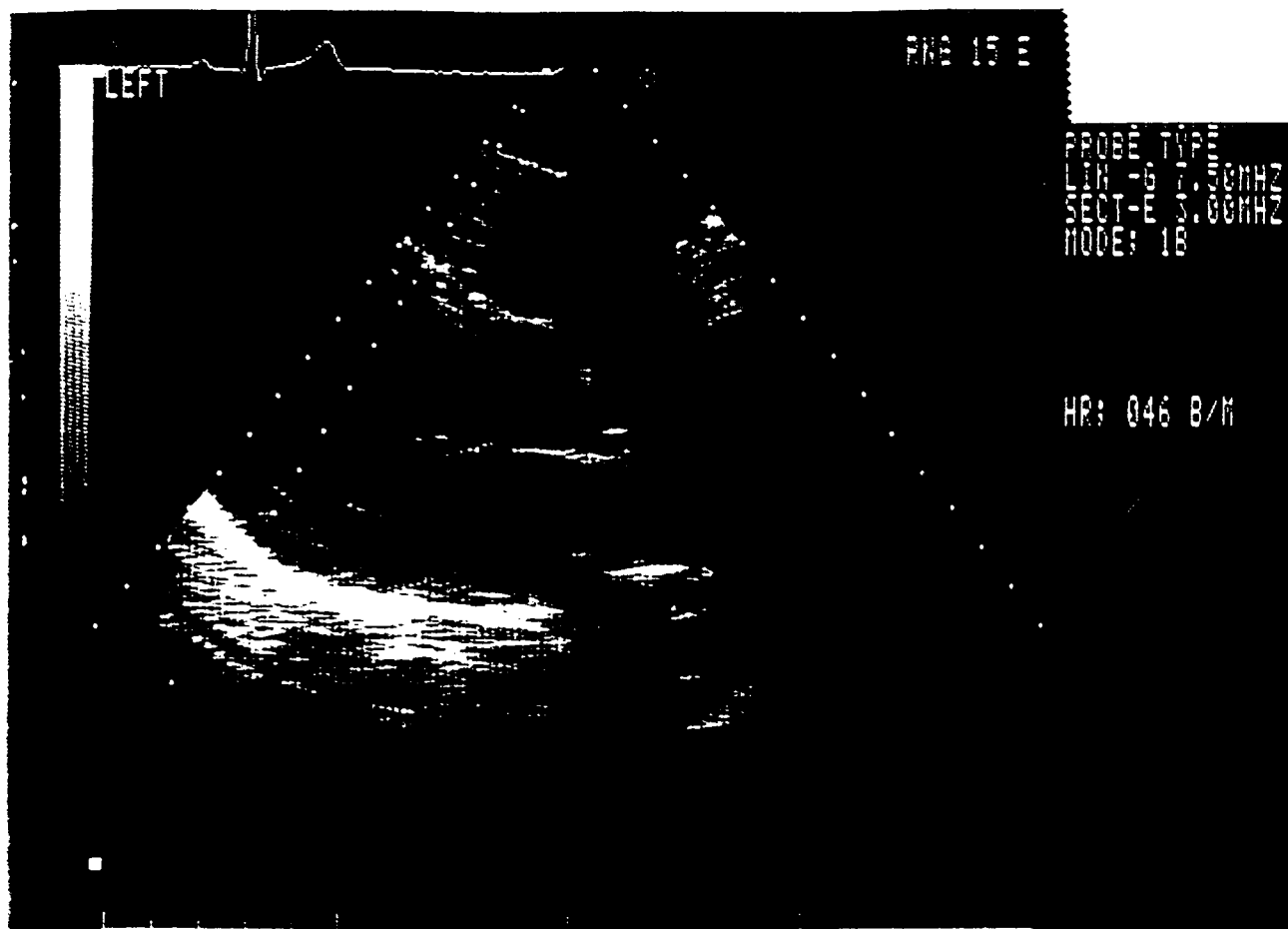
Malli 2

Aika (min)	Nopeus (m·s ⁻¹)	Kulma (aste)	Työ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
3	6.0	0.8	15
6	6.0	2.3	20
9	6.5	3.2	25
12	6.5	4.7	30
15	6.5	6.2	35
18	6.5	7.7	40
21	6.5	9.1	45
24	6.5	10.6	50
27	6.5	12.1	55
30	6.5	13.5	60

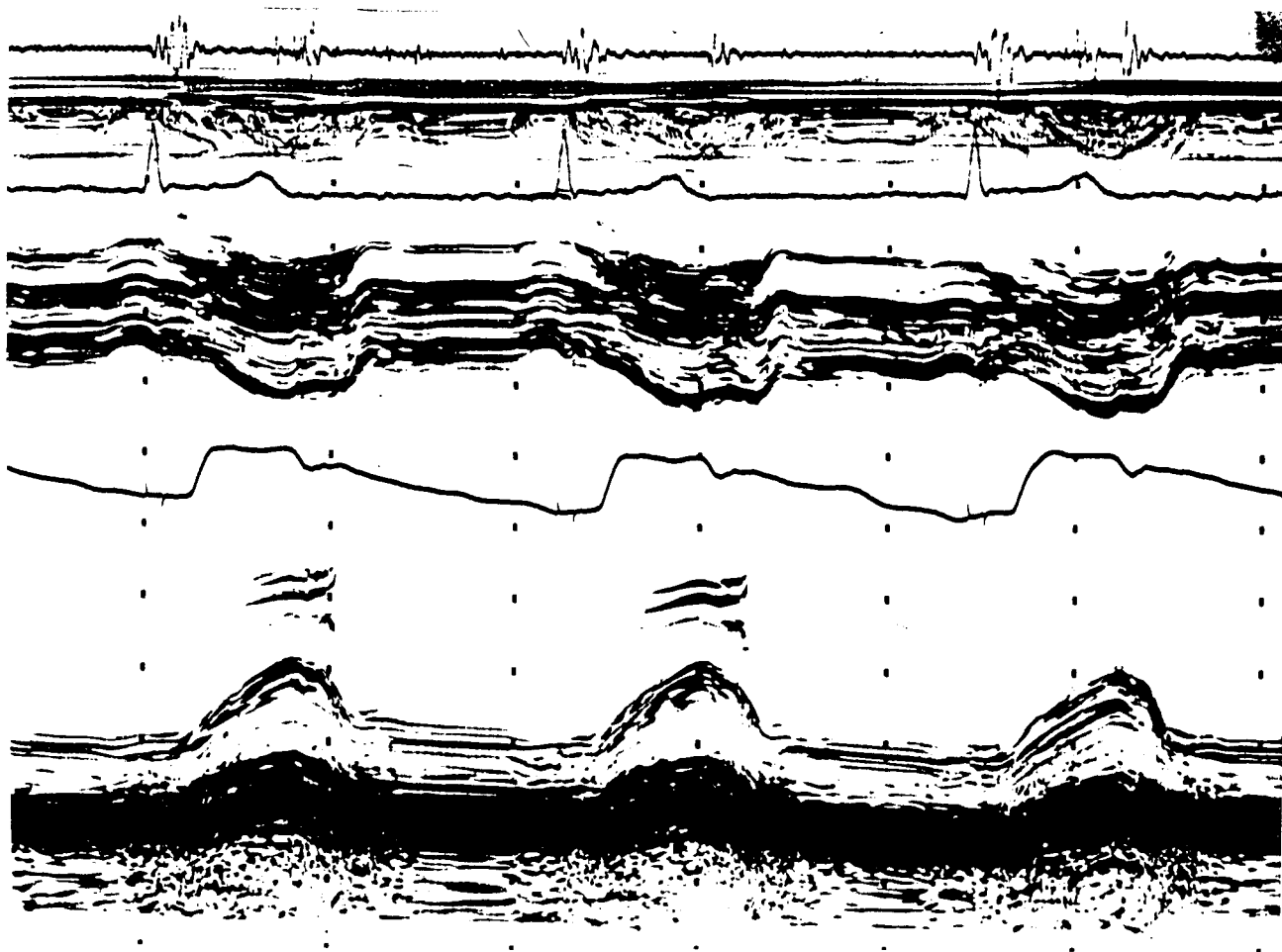
Malli 3

Aika (min)	Nopeus (m·s ⁻¹)	Kulma (aste)	Työ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
3	6.0	0.9	16
6	6.0	2.3	20
9	6.0	3.5	24
12	6.0	4.8	28
15	6.0	6.1	32
18	6.0	7.3	36
21	6.0	8.6	40
24	6.0	9.9	44
27	6.0	11.1	48
30	6.0	13.5	52

B-kuva sydämen vasemmasta kammiosta, vasemmasta eteisestä ja aortasta.



M-kuva sydämen vasemmasta kammiosta.



Ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio hiihtäjillä (H, n = 16) ja kontrollihenkilöillä (K, n = 12) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		MANOVA			
		1	2	3	
		1. mittausta	2. mittausta	3. mittausta	4. mittausta
Syke, lepo ($\text{krt} \cdot \text{min}^{-1}$)	H	62.4 ± 12.5	56.5 ± 10.1	53.9 ± 9.7	55.2 ± 8.9
	K	79.0 ± 14.3	70.8 ± 13.0	64.4 ± 10.2	64.7 ± 10.7
Syke, seisoen ($\text{krt} \cdot \text{min}^{-1}$)	H	82.1 ± 13.8	82.3 ± 12.0	72.1 ± 12.5	73.6 ± 11.9
	K	97.0 ± 11.2	90.8 ± 14.5	79.0 ± 10.6	84.4 ± 11.9
Syst.vp, lepo (mmHg)	H	124.7 ± 10.2	121.9 ± 7.7	126.9 ± 9.8	124.4 ± 7.7
	K	127.1 ± 14.5	122.5 ± 8.7	123.3 ± 6.0	122.7 ± 4.8
Diast. vp, lepo (mmHg)	H	71.6 ± 10.3	66.6 ± 6.0	65.0 ± 4.8	62.8 ± 5.8
	K	75.4 ± 13.2	67.9 ± 10.5	65.0 ± 7.8	65.5 ± 9.3
Syst. vp, seisoen (mmHg)	H	131.6 ± 17.5	132.5 ± 9.3	131.6 ± 10.8	124.5 ± 7.9
	K	134.2 ± 15.2	125.0 ± 7.7	125.3 ± 8.4	122.4 ± 5.8
Diast. vp, seisoen (mmHg)	H	85.6 ± 11.8	86.9 ± 6.3	81.6 ± 9.1	76.3 ± 7.9
	K	87.5 ± 13.4	78.8 ± 8.3	79.6 ± 9.4	79.6 ± 7.9

Kaikukardiografiset muuttujat BSA:lla normalisoituina vasemmassa kylkiäsenossa hiihtäjillä (H, n = 16) ja kontrollihenkilöillä (K, n = 12) eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

	1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	MANOVA			
					1	2	3	
EDD (cm)	H	3.02 ± 0.21	2.97 ± 0.19	3.02 ± 0.19	3.00 ± 0.19	n.s.	n.s.	n.s.
	K	2.97 ± 0.27	2.98 ± 0.28	3.00 ± 0.26	2.98 ± 0.33			
ESD (cm)	H ^a	2.22 ± 0.17	2.11 ± 0.18	2.11 ± 0.26	2.02 ± 0.25	***	n.s.	*
	K ^b	2.11 ± 0.21	2.11 ± 0.18	2.11 ± 0.26	2.02 ± 0.25			
LVM (g)	H	94.1 ± 9.8	97.8 ± 11.3	106.3 ± 12.1	102.2 ± 12.5	***	**	n.s.
	K	79.0 ± 12.9	84.6 ± 13.5	91.1 ± 11.4	97.9 ± 18.1			

EDD = vasemman kammion loppudiatostolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, LVM = vasemman kammion massa
(^a n=15, ^b n=11)

Hiihtäjien korrelaatiotulokset, lepokaikukardiografia

1. mittausEDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .59, p < 0.05$ EDD vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{2/3} \cdot min^{-1}$) $r = .64, p < 0.01$ **2. mittaus**EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .53, p < 0.05$ **3. mittaus**EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .53, p < 0.05$ SWTd vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .53, p < 0.05$ PWTd vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .59, p < 0.05$ LVM vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .53, p < 0.05$ **4. mittaus**PWTd vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .66, p < 0.01$ PWTd vs. VO_{2max} (teoreettinen, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .66, p < 0.01$ WS vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .54, p < 0.05$ WS vs. VO_{2max} (teoreettinen, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .75, p < 0.001$ LVM vs. systolinen verenpaine, lepo $r = .60, p < 0.05$ **Regressioanalyysin tulokset, erotusmuuttujat**PWTd, $y = 0.0058 \cdot (\text{ka, systolinen verenpaine, lepo}) + 0.010, (r = .55, p < 0.05)$

EDD = vasemman kammion diastolinen läpimitta, SWTd = kammioden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, LVM = vasemman kammion massa, WS = wall stress -indeksi
 VO_{2max} = maksimaalinen hapenotto

Kontrolliryhmän korrelaatiotulokset, lepokaikukardiografia

2. mittaus

EDD vs. ortostaattinen leposyke	$r = -.77, p < 0.01$
ESD vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-2/3} \cdot min^{-1}$)	$r = .61, p < 0.05$
PWTd vs. systolinen verenpaine, lepo	$r = .58, p < 0.05$
IC vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	$r = -.69, p < 0.05$
IC vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-2/3} \cdot min^{-1}$)	$r = -.68, p < 0.05$

3. mittaus

SD vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-2/3} \cdot min^{-1}$)	$r = -.66, p < 0.05$
--	----------------------

4. mittaus

EDD vs. ortostaattinen leposyke	$r = -.72, p < 0.01$
LVM vs. ortostaattinen leposyke	$r = -.81, p < 0.001$

EDD = vasemman kammion loppudastolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, SD = iskudimensio, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, LVM = vasemman kammion massa, IC = kontraktiiteetti-indeksi

VO_{2max} = maksimaalinen hapenotto

Verenpaineet ja sykkeet hiihtäjillä (H, 100 W, n = 9) ja kontrollihenkilöillä (K, 50 W, n = 11) polkupyöraergometrikuormituksen aikana eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (***) p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

	1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	MANOVA		
					1	2	3
Syke (lyöntiä · min ⁻¹)	H 124.1 ± 13.2	102.9 ± 15.4	101.6 ± 11.9	99.8 ± 8.0	***	n.s.	*
	K 105.6 ± 15.6	97.8 ± 11.0	97.3 ± 11.1	96.8 ± 13.5			
Syst.verenpaine (mmHg)	H 142.2 ± 12.8	166.1 ± 14.7	162.8 ± 13.3	157.1 ± 7.1	**	***	**
	K 143.6 ± 11.0	143.2 ± 13.3	142.4 ± 10.8	143.1 ± 11.7			
Diast.verenpaine (mmHg)	H 75.6 ± 6.8	87.2 ± 9.1	82.4 ± 7.5	81.4 ± 11.0	n.s.	n.s.	*
	K 83.2 ± 12.5	79.1 ± 10.4	82.4 ± 7.5	81.4 ± 11.0			

Hiihtäjien korrelaatiotulokset, kuormituskaikukardiografia, 100 W

1. vuosi

EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .55, p < 0.05$

2. vuosi

EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .69, p < 0.05$

SWTd vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .60, p < 0.05$

WS vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .61, p < 0.05$

3. vuosi

EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .78, p < 0.01$

PWTd vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .66, p < 0.05$

4. vuosi

EDD vs. ortost. systolinen verenpaine, lepo $r = .62, p < 0.05$

PWTd vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .56, p < 0.05$

HI vs. VO_{2max} (teoreettinen, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .56, p < 0.05$

WS vs. VO_{2max} (teoreettinen, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .72, p < 0.01$

EDD = vasemman kammion loppudiasolinen läpimitta, SWTd = kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress -indeksi
 VO_{2max} = maksimaalinen hapenotto

Kontrollihenkilöiden korrelaatiotulokset, kuormituskaikukardiografia, 50 W

2. mittaus

SWTd vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .77, p < 0.01$

3. mittaus

HI vs. ortostaattinen systolinen verenpaine, lepo $r = .61, p < 0.05$

IC vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = -.64, p < 0.05$

4. mittaus

EDD vs. ortostaattinen leposyke $r = -.75, p < 0.01$

EDD vs. ortostaattinen syke, seisoen $r = -.58, p < 0.05$

SD vs. ortostaattinen systolinen verenpaine, seisoen $r = .71, p < 0.01$

PWTd vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .61, p < 0.05$

IC vs. VO_{2max} (teoreettinen., $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = -.65, p < 0.05$

EDD = vasemman kammion loppudastolinen läpimitta, SD = iskudimensio, SWTd = kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, HI = hypertrofia-indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi

VO_{2max} = maksimaalinen hapenotto

Kaikukardiografiset muuttujat levossa (L) ja polkupyöräergometrikuormituksessa (100 W) hiihtäjillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = tilanne-ero, 3 = yhdysvaikutus (***) $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

		MANOVA						
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus			
EDD (cm)	L	5.65 ± 0.40	5.87 ± 0.39	6.03 ± 0.43	6.04 ± 0.37	***	n.s.	n.s.
(n = 8)	100 W	5.72 ± 0.47	5.96 ± 0.49	6.16 ± 0.40	6.14 ± 0.39			
ESD (cm)	L	4.23 ± 0.40	4.03 ± 0.36	4.28 ± 0.34	4.35 ± 0.39	**	n.s.	n.s.
(n = 7)	100 W	4.03 ± 0.42	4.03 ± 0.30	4.24 ± 0.38	4.27 ± 0.45			
SD (cm)	L	1.33 ± 0.08	1.45 ± 0.07	1.40 ± 0.05	1.38 ± 0.06	n.s.	n.s.	*
(n = 7)	100 W	1.43 ± 0.11	1.46 ± 0.04	1.44 ± 0.08	1.44 ± 0.07			
SWTd (cm)	L	0.86 ± 0.06	0.90 ± 0.06	0.88 ± 0.06	0.88 ± 0.07	n.s.	n.s.	n.s.
(n = 7)	100 W	0.81 ± 0.03	0.85 ± 0.09	0.86 ± 0.08	0.84 ± 0.08			
PWTd (cm)	L	0.83 ± 0.06	0.84 ± 0.03	0.88 ± 0.06	0.84 ± 0.04	n.s.	n.s.	n.s.
(n = 8)	100 W	0.80 ± 0.07	0.83 ± 0.08	0.85 ± 0.04	0.85 ± 0.05			

EDD = vasemman kammion loppudiatolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, SD = iskudimensio, SWTd = kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa

Kaikukardiografiset muutujat levossa (L) ja polkupyöräergometrikuormituksessa (100 W) hiihtäjillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = tilanne-ero, 3 = yhdysvaikutus (** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	MANOVA		
						1	2	3
FS (n = 7)	L	24.6 ± 4.1	30.8 ± 3.6	28.4 ± 2.8	27.5 ± 2.9	n.s.	n.s.	*
	100 W	29.6 ± 5.0	31.4 ± 1.9	30.6 ± 3.5	30.3 ± 3.4			
HI (n = 7)	L	0.30 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.29 ± 0.04	0.28 ± 0.03	n.s.	n.s.	n.s.
	100 W	0.28 ± 0.03	0.28 ± 0.04	0.28 ± 0.02	0.27 ± 0.03			
WS (mmHg) (n = 8)	L	36.8 ± 6.0	36.0 ± 3.1	39.6 ± 4.6	36.7 ± 4.1	*	n.s.	**
	100 W	40.4 ± 5.1	46.2 ± 7.7	44.5 ± 4.3	43.6 ± 4.0			
IC (n = 7)	L	1.12 ± 0.26	1.21 ± 0.20	1.16 ± 0.19	1.10 ± 0.19	*	n.s.	*
	100 W	1.40 ± 0.21	1.60 ± 0.25	1.41 ± 0.26	1.37 ± 0.29			

FS = fractional shortening = vasemman kammion prosentuaalinen systolinen lyhenemä, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress-indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi

Kaikukardiografiset muuttujat levossa (L) ja polkupyöräergometrikuormituksessa (50 W) kontrollihenkiöillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = tilanne-ero, 3 = yhdysvaikutus (** $p < 0.001$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

	MANOVA			
	1	2	3	
	1. mittausta	2. mittausta	3. mittausta	4. mittausta
EDD (cm)				
L	5.31 ± 0.40	5.45 ± 0.31	5.60 ± 0.31	5.63 ± 0.52
50 W	5.26 ± 0.34	5.39 ± 0.41	5.59 ± 0.48	5.68 ± 0.54
ESD (cm)				
L	3.76 ± 0.24	3.87 ± 0.21	3.82 ± 0.31	3.76 ± 0.39
50 W	3.46 ± 0.24	3.67 ± 0.38	3.66 ± 0.28	3.60 ± 0.32
SD (cm)				
L	1.41 ± 0.09	1.38 ± 0.08	1.44 ± 0.07	1.43 ± 0.13
50 W	1.50 ± 0.12	1.43 ± 0.11	1.48 ± 0.11	1.51 ± 0.14
SWTd (cm)				
L	0.78 ± 0.07	0.82 ± 0.07	0.86 ± 0.04	0.90 ± 0.08
50W	0.77 ± 0.06	0.78 ± 0.06	0.82 ± 0.07	0.85 ± 0.07
PWTd (cm)				
L	0.80 ± 0.04	0.82 ± 0.05	0.83 ± 0.06	0.88 ± 0.06
50W	0.78 ± 0.05	0.81 ± 0.05	0.81 ± 0.06	0.83 ± 0.04

EDD = vasemman kammion loppudiasiolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, SD = iskudimensio, SWTd = kammioiden väliseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, PWTd vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa

Kaikukardiografiset muuttujat levossa (L) ja polkupyöräergometrikuormituksessa (50 W) kontrollihenkilöillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = tilanne-ero, 3 = yhdysvaikutus (** p<0.01, n.s. = ei merkitsevä).

		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	MANOVA		
						1	2	3
FS (n = 7)	L	28.7 ± 4.6	27.5 ± 4.2	30.3 ± 3.3	29.7 ± 6.3	n.s.	n.s.	n.s.
	50W	33.0 ± 5.1	29.8 ± 5.8	32.2 ± 4.7	33.5 ± 6.2			
HI (n = 7)	L	0.30 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.32 ± 0.04	n.s.	n.s.	n.s.
	50W	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.02	0.29 ± 0.04	0.30 ± 0.03			
WS (mmHg) (n = 9)	L	38.4 ± 4.9	39.0 ± 4.4	40.0 ± 4.5	41.4 ± 4.9	n.s.	n.s.	n.s.
	50W	42.9 ± 6.0	43.5 ± 7.1	42.1 ± 7.2	42.2 ± 5.0			
IC (n = 8)	L	1.40 ± 0.16	1.33 ± 0.12	1.42 ± 0.19	1.37 ± 0.17	n.s.	n.s.	**
	50W	1.79 ± 0.23	1.63 ± 0.32	1.60 ± 0.22	1.64 ± 0.22			

FS = vasemman kammion prosentuaalinen systolinen lyhenemä, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress -indeksi, IC = kontraktiiteetti-indeksi

Ortostaattinen syke- ja verenpainereaktio iso- (I, n = 9) ja pienisydämisillä (P, n = 7) hiihtäjillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (*** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, n.s. = ei merkitsevä).

		mittaus				MANOVA		
		1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	4. mittaus	1	2	3
Syke, lepo (lyöntiä · min ⁻¹)	I	56.2 ± 9.9	53.0 ± 8.5	51.6 ± 7.9	54.7 ± 7.7	*	n.s.	n.s.
	P	70.4 ± 11.2	61.0 ± 10.8	56.9 ± 11.4	55.9 ± 10.8			
Syke, seisoen (lyöntiä · min ⁻¹)	I	75.9 ± 12.1	82.4 ± 10.4	72.1 ± 12.4	73.9 ± 13.6	*	n.s.	n.s.
	P	90.1 ± 12.0	82.4 ± 10.4	72.0 ± 13.6	73.3 ± 10.4			
Syst. vp, lepo (mmHg)	I	126.1 ± 11.7	121.7 ± 9.0	128.9 ± 11.1	125.0 ± 9.4	n.s.	n.s.	n.s.
	P	122.9 ± 8.6	122.1 ± 6.4	124.3 ± 7.9	123.6 ± 5.6			
Diast. vp, lepo (mmHg)	I	73.9 ± 9.9	65.6 ± 5.3	64.4 ± 4.6	63.3 ± 6.6	*	n.s.	n.s.
	P	68.6 ± 10.7	67.9 ± 7.0	65.7 ± 5.3	62.1 ± 4.9			
Syst. vp, seisoen (mmHg)	I	132.2 ± 21.7	131.7 ± 10.6	131.7 ± 12.7	124.7 ± 10.1	*	n.s.	n.s.
	P	130.7 ± 11.7	133.6 ± 8.0	131.4 ± 8.5	124.3 ± 4.5			
Diast. vp, seisoen (mmHg)	I	86.7 ± 13.2	86.1 ± 6.0	83.9 ± 6.0	76.1 ± 8.2	**	n.s.	n.s.
	P	84.3 ± 10.6	87.9 ± 7.0	78.6 ± 11.8	76.4 ± 8.0			

Kaikukardiografiset muuttajat BSA:lla normalisoituna vasemmassa kylkiasennossa iso- (I, n = 9) ja pienisydämisillä (P, n = 7) hiihtäjillä eri mittauskerroilla. MANOVA: 1 = muutos, 2 = ryhmäero, 3 = yhdysvaikutus (** p<0.01, n.s. = ei merkitsevä).

		1. mittausta	2. mittausta	3. mittausta	4. mittausta	MANOVA		
						1	2	3
EDD (cm)	I	3.07 ± 0.20	3.01 ± 0.22	3.06 ± 0.15	3.02 ± 0.15	n.s.	n.s.	n.s.
	P	2.95 ± 0.20	2.93 ± 0.14	2.98 ± 0.24	2.98 ± 0.24			
ESD (cm)	I	2.20 ± 0.20	2.09 ± 0.18	2.18 ± 0.15	2.18 ± 0.15	**	n.s.	n.s.
	P ^a	2.25 ± 0.12	2.13 ± 0.20	2.21 ± 0.18	2.19 ± 0.18			
LVM (g)	I	96.2 ± 9.4	100.4 ± 12.3	108.0 ± 11.9	102.8 ± 8.2	**	n.s.	n.s.
	P	91.5 ± 10.5	94.5 ± 9.7	104.3 ± 12.9	101.3 ± 17.3			

EDD = vasemman kammion loppudiasistolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, LVM = vasemman kammion massa, (^a n=6)

Ortostaattisen testin sykkeet ja verenpaineet hiihtäjillä 1. ja 2. harjoitteluvuoden laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. T-testi (* $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

	1. vuosi (n=16)			2. vuosi (n=14)		
	alku	loppu	t-testi	alku	loppu	t-testi
Leposyke (lyöntiä \cdot min ⁻¹)	56.5 \pm 10.1	57.5 \pm 13.3	n.s.	54.0 \pm 9.0	52.4 \pm 9.8	n.s.
Syke seisten (lyöntiä \cdot min ⁻¹)	83.2 \pm 11.8	75.4 \pm 16.5	*	71.9 \pm 10.4	67.4 \pm 12.5	*
Syst. vp, lepo (mmHg)	121.9 \pm 7.7	126.9 \pm 8.5	*	126.4 \pm 9.7	120.0 \pm 8.8	*
Diast. vp, lepo (mmHg)	66.6 \pm 6.0	72.2 \pm 9.5	*	64.6 \pm 5.0	69.6 \pm 8.4	*
Syst. vp, seisten (mmHg)	132.5 \pm 9.3	139.7 \pm 11.2	n.s.	131.5 \pm 11.4	126.5 \pm 9.9	*
Diast. vp, seisten (mmHg)	86.9 \pm 6.3	88.4 \pm 4.7	n.s.	81.2 \pm 9.8	81.5 \pm 9.0	n.s.

Kaikukardiografiset muuttujat BSA:lla normalisoituina hiihtäjillä vasemmassa kylkiasennossa 1. ja 2. harjoitteluvuoden laji+kilpailukauden alussa ja lopussa. T-testi (***) $p < 0.001$, * $p < 0.05$, n.s. = ei merkitsevä).

	1. vuosi				2. vuosi			
	n	alku	loppu	t-testi	n	alku	loppu	t-testi
EDD (cm)	15	2.98 ± 0.19	3.05 ± 0.19	*	14	3.02 ± 0.21	3.05 ± 0.20	n.s.
ESD (cm)	13	2.09 ± 0.18	2.23 ± 0.17	***	13	2.20 ± 0.17	2.24 ± 0.17	n.s.
LVM (g)	15	97.9 ± 11.7	105.4 ± 16.7	*	14	106.8 ± 12.6	103.2 ± 14.3	n.s.

EDD = vasemman kammion loppudiaistolinen läpimitta, ESD = vasemman kammion systolinen läpimitta, LVM = vasemman kammion massa

Hiihtäjien korrelaatiotulokset laji+kilpailukaudella, lepokaikukardiografia

1. vuosi

Laji+kilpailukauden alku

EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .53, p < 0.05$

Laji+kilpailukauden loppu

EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) $r = .61, p < 0.05$

FS vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-2/3} \cdot min^{-1}$) $r = .60, p < 0.05$

2. vuosi

Laji+kilpailukauden alku

PWTd vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .57, p < 0.05$

LVM vs. VO_{2max} (teor., $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) $r = .55, p < 0.05$

Laji+kilpailukauden loppu

EDD vs. ortostaattinen leposyke $r = -.59, p < 0.05$

EDD = vasemman kammion loppudastolinen läpimitta, PWTd = vasemman kammion takaseinäman paksuus diastolisessa vaiheessa, LVM = vasemman kammion massa, FS = fractional shortening = vasemman kammion prosentuaalinen systolinen lyhenemä
 VO_{2max} = maksimaalinen hapenotto

Hiihtäjien korrelaatiotulokset laji+kilpailukaudella, kuormituskaikukardiografia

1. vuosi**100 W, laji+kilpailukauden alku**

EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) r = .69, p<0.05

100 W, laji+kilpailukauden loppu

EDD vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) r = .80, p<0.01

EDD vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-2/3} \cdot min^{-1}$) r = .73, p<0.01

2. vuosi**100 W, laji+kilpailukauden alku**

PWTd vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) r = .75, p<0.05

HI vs. VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) r = .77, p<0.05

IC vs. VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$) r = -.70, p<0.05

100 W, laji+kilpailukauden loppu

WS vs. ortostaattinen syke, seisoen r = .77, p<0.05

IC vs. systolinen verenpaine, seisoen r = .86, p<0.01

EDD = vasemman kammion loppudastolinen läpimitta, PWTd = vasemman kammion takaseinämän paksuus diastolisessa vaiheessa, HI = hypertrofia-indeksi, WS = wall stress - indeksi, IC = kontraktiliteetti-indeksi
 VO_{2max} = maksimaalinen hapenotto