

**URHEILUJUOMAN NAUTTIMISEN VAIKUTUS PLASMATILAVUUTEEN,
HEMOGLOBIINIKONSENTRAATIOON JA HEMATOKRIITTIIN
HIIHTOKILPAILUN JÄLKEEN**

Tero Tuomas Tiensuu

Liikuntafysiologian pro gradu-tutkielma

LFY.312

Kevät 2000

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat: H. Rusko ja K. Häkkinen

TIIVISTELMÄ

Kansainvälinen hiihtoliitto on ottanut käyttöön säännön, jonka mukaan kilpailuista suljetaan pois ne hiihtäjät, joiden hemoglobiinikonsentraatio (Hb) on tunti ennen kilpailua yli tietyn rajan, miehillä $> 185 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ja naisilla $> 165 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. On väitetty, että kilpailun aikainen nesteen menetys voisi lisätä hemoglobiinikonsentraatiota niin, että saataisiin vääriä positiivisia tuloksia, jos hemoglobiinikonsentraatio mitattaisiin kilpailun jälkeen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena olikin tutkia urheilujuoman nauttimisen vaikutusta plasmatilavuuteen, hemoglobiinikonsentraatioon ja hematokriittiin 11.5 km hiihtokilpailun jälkeen.

Kahdeksantoista kansallisen tason mieshiihtäjää ($\text{VO}_{2\text{max}} 66 \pm 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) jaettiin koe- ja kontrolliryhmään, joissa kummassakin oli yhdeksän hiihtäjää. Kilpailu hiihdettiin Vuokatin hiihtoputkessa, missä ilman lämpötila oli $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ilmankosteus noin 80 %. Koeryhmä joi yhden litran hypotonista urheilujuomaa 2 h aikana ennen ja 1 h aikana jälkeen kilpailun. Kontrolliryhmä ei juonut mitään. Laskimoverinäytteet otettiin aamulla 12 h paaston jälkeen ja 60 min ennen kilpailua sekä 0 min, 15 min ja 60 min kilpailun jälkeen.

Hemoglobiinin ja hematokriitin avulla laskettu plasmatilavuuden lasku oli kilpailun aikana koeryhmällä $6.0 \pm 4.1 \%$ ja kontrolliryhmällä $7.1 \pm 4.4 \%$. Kilpailua seuranneen 15 min aikana plasmatilavuus palasi kilpailua edeltäneelle tasolle. Seuraavan 45 min aikana koeryhmän plasmatilavuus nousi $11.1 \pm 4.0 \%$ ja kontrolliryhmän $2.4 \pm 5.1 \%$ yli kilpailua edeltäneen tason. Koe- ja kontrolliryhmä erosivat toisistaan plasmatilavuuden muutoksessa vain 60 min kilpailun jälkeen ($p < 0.001$).

Urheilujuoman nauttiminen ei vaikuttanut plasmatilavuuden laskuun kilpailun aikana, mutta plasmatilavuuden kasvu suorituksen jälkeen oli suurempi, jos urheilujuomaa nautittiin. Kuormituksen aiheuttama plasmatilavuuden lasku johtui luultavasti nesteen siirtymisestä supistuvan lihaksen soluvälitilaan ja solunsisäiseen tilaan.

Avainsanat: plasmatilavuus, urheilujuoma, hiihtokilpailu.

SISÄLTÖ

KÄYTETTYJEN TERMIEN SELITYKSET

1 JOHDANTO	1
2 KEHON NESTEAITIOT	3
2.1 Solunsisäinen ja solunulkoinen tila	3
2.2 Soluvälitila	4
3 PLASMATILAVUUDEN MUUTOKSIIN VAIKUTTAVAT MEKANISMIT	5
3.1 Fysiologiset tekijät	5
3.1.1 Kapillaarit	6
3.1.2 Plasman proteiinit	7
3.1.3 Plasman elektrolyytit ja hormonaaliset vasteet	8
3.2 Asennon vaikutus plasmatilavuuteen	10
3.3 Lämpökuormituksen vaikutus plasmatilavuuteen	11
4 PLASMATILAVUUDEN MERKITYS KUORMITUKSESSA	12
4.1 Plasmatilavuuden vaikutus kardiovaskulaarisiin muuttujiin	12
4.2 Plasmatilavuuden vaikutus lämmönsäätelyyn	13
4.3 Plasmatilavuuden vaikutus suorituskykyyn	13
5 PLASMATILAVUUDEN MUUTOKSEN LASKEMINEN	15
6 PLASMATILAVUUDEN MUUTOS KUORMITUKSEN AIKANA	16
7 PLASMATILAVUUDEN MUUTOS KUORMITUKSEN JÄLKEEN	17
7.1 Plasmatilavuuden muutoksen ajoittuminen ja suuruus	17
7.2 Kuormitustehon vaikutus plasmatilavuuteen	18
8 HARJOITTELUN VAIKUTUS PLASMATILAVUUTEEN	20
8.1 Poikkileikkaustutkimukset	20
8.2 Pitkittäistutkimukset	21

9 NESTETASAPAINON VAIKUTUS PLASMATILAVUUTEEN	23
10 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT	26
11 MENETELMÄT	28
11.1 Koehenkilöt	28
11.2 Koeasetelma	28
11.3 Aineiston keräys ja analysointi	29
11.4 Tilastollinen analyysi	31
12 TULOKSET	32
13 POHDINTA	36
LÄHTEET	40

KÄYTETYTTYJEN TERMIEN SELITYKSET

Absorptio	aineen imeytyminen kudoksesta toiseen diffuusion tai osmoosin avulla
Dehydraatio	kehon nestemäärä normaalia pienempi
Diffuusio	liunneen molekyylin liike korkeamman konsentraation alueelta matalamman konsentraation alueelle
Euhdraatio	keho nestetasapainossa
Filtraatio	nesteen liike puoliläpäisevän kalvon läpi korkeamman paineen alueelta matalamman paineen alueelle
Hemodiluutio	solujen ja ravinteiden laskenut konsentraatio veressä yleensä johtuen kudoksista tulleesta nesteestä
Hemokonsentraatio	solujen ja ravinteiden kohonnut konsentraatio veressä yleensä johtuen nesteen menetyksestä kudoksiin
Hydrostaattinen paine	nesteen mekaaninen voima solukalvoja vasten
Hyperhydraatio	kehon nestemäärä normaalia suurempi
Hypertooinen	suurempi konsentraatio liuenneita aineita kuin solunulkoisella nesteellä
Hypervolemia	kokonaisverimäärä normaalia suurempi
Hypotooinen	matalampi konsentraatio liuenneita aineita kuin solunulkoisella nesteellä
Hypovolemia	kokonaisverimäärä normaalia pienempi
Isotooinen	sama konsentraatio liuenneita aineita kuin solunulkoisella nesteellä
Onkoottinen paine	plasman proteiinien muodostama osmoottinen paine
Osmolaliteetti	molekyylien konsentraatio kilogrammassa vettä
Osmoosi	veden liike matalamman konsentraation alueelta korkeamman konsentraation alueelle puoliläpäisevän kalvon läpi
Rehydraatio	menetetyn nesteen palautuminen
Retentio	normaalisti eritettävien aineiden kehossa pitäminen

1 JOHDANTO

Fyysinen työkapasiteetti, maksimaalinen hapenottokyky ja kestävyysuorituskyky riippuvat suurelta osin hapen tehokkaasta kuljetuksesta työskenteleviin kudoksiin. Hapenkuljetuksen tehokkuuteen vaikuttaa monia tekijöitä mukaan lukien veritilavuus ja sen hapenkuljetuskapasiteetti. Hapenkuljetuskapasiteetti riippuu hemoglobiinikonsentraatiosta ja erytrosyyttien määrästä. Hemoglobiinin kokonaismäärällä, hemoglobiinin konsentraatiolla, hematokriitillä, erytrosyyttien määrällä ja punasolujen hemoglobiinipitoisuudella on havaittu olevan erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio maksimaaliseen hapenottokykyyn ja uupumisaikaan kuormituksessa. Samanlainen korrelaatio on myös maksimaalisen hapenottokyvyn ja veritilavuuden välillä. (Celsing ym. 1986, 1987; Newhouse & Clement 1988.)

Edellä mainitun perusteella voisi olettaa, että fyysisen harjoittelun aiheuttaman fyysisen kunnan nousun pitäisi aiheuttaa muutos myös veren hapenkuljetuskyvyssä nostamalla tiettyjä hematologisia muuttujia kuten punasolujen lukumäärää, hematokriittiä ja hemoglobiinikonsentraatiota. Tämä käsitys on kuitenkin kiistanalainen. Monet fyysisen suorituskyvyn vaikutusta käsittelevistä tutkimuksista, sekä yksittäistä suoritusta että harjoittelua käsittelevistä, ovat antaneet ristiriitaisia tuloksia. Useimmat tutkijat raportoivat hematologisten muuttujien noususta yksittäisen intensiivisen kuormituksen jälkeen. (Dill & Costill 1974; Naveri ym. 1985; van Beaumont 1973; van Beaumont ym. 1972; Wilkerson 1977.) Monet tutkimukset ovat osoittaneet punasolujen lukumäärän, hemoglobiinikonsentraation ja hematokriitin laskevan yksittäisen intensiivisen kuormituksen jälkeen lähtötason alapuolelle (Karvonen & Saarela 1976; Puhl & Runyan 1980; Refsum ym. 1976; Åstrand & Saltin 1964). Sama on huomattu harjoittelun vaikutuksesta (Diehl ym. 1986; Hasibeder ym. 1987; Magazanik ym. 1988; Puhl & Runyan 1980). Toisaalta toiset tutkijat eivät ole havainneet merkitseviä muutoksia verimuuttujissa yksittäisen kuormituksen tai harjoittelun jälkeen, erityisesti jos tutkittavana on ollut hyvin harjoitelleita urheilijoita (Akgun ym. 1974; Glass ym. 1969; Wells ym. 1982).

Kuormituksen aikana fysiologiset ja metaboliset tapahtumat muuttavat tasapainoa kehon nesteiden jakaantumisessa verisuoniston ja muiden nesteaitioiden välillä. Dynaamisen kuormituksen alkaessa verisuonten laajentuminen lisää kapillaarien pinta-alaa mahdollistaen kuormitettujen lihasten paremman verenkierron. Lisääntynyt pinta-ala lisää aineiden siirtymistä sisään ja ulos verisuonistosta. (Rotstein ym. 1998.)

Kuormituksen alkamiseen liittyvät fysiologiset tapahtumat lisäävät kapillaarien hydrostaattista painetta ja filtraatiopainetta. Lihaksen metaboliset tapahtumat lisäävät verisuonten sisäistä osmoottista painetta ja siten vesi liikkuu ulos verenkierrosta kunnes uusi tasapaino saavutetaan. (Rotstein ym. 1998.)

Kuormituksen alkaessa plasmatilavuus laskee akuutisti. Tämä lasku plasmatilavuudessa on riippuvainen kuormituksen intensiteetistä ja kestosta, kuormitustavasta, kehon asennosta, nestetasapainosta ja ympäristöolosuhteista. (Rotstein ym. 1998.) Kuormituksen aikaiset ja jälkeiset muutokset veri- ja plasmatilavuuksissa vaikuttavat huomattavasti hematokriittiin sekä hemoglobiini- ja proteiinikonsentraatioihin (Kargotich ym. 1998). Metodologisesti tämä ilmiö on tärkeää ottaa huomioon, koska se voi johtaa verimuuttujien virheelliseen tulkintaan, joten plasmatilavuuden muutokset täytyy aina huomioida tulkittaessa muita muuttujia (Kraemer & Brown 1986).

Kansainvälinen hiihtoliitto on ottanut käyttöön säännön, jonka mukaan kilpailuista suljetaan pois ne hiihtäjät, joiden hemoglobiinikonsentraatio (Hb) on tunti ennen kilpailua yli tietyn rajan, miehillä $> 185 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ja naisilla $> 165 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. On väitetty, että kilpailun aikainen nesteen menetys voisi lisätä hemoglobiinikonsentraatiota niin, että saataisiin vääriä positiivisia tuloksia, jos hemoglobiinikonsentraatio mitattaisiin kilpailun jälkeen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia urheilujuoman nauttimisen vaikutusta plasmatilavuuteen, hemoglobiinikonsentraatioon ja hematokriittiin 11.5 km hiihtokilpailun jälkeen.

2 KEHON NESTEAITIOT

Kehon prosentuaalinen nestemäärä vaihtelee 40 – 70 prosenttiin. Syynä tähän laajaan vaihteluun ei ole ikä eikä sukupuoli vaan rasvamäärän ero tutkittavissa populaatioissa. Kehon kokonaisvesimäärä on 20 – 30 vuotiailla miehillä noin 60 % ja saman ikäisillä naisilla noin 50 % johtuen rasvamäärän erilaisuudesta. Rasvakudoksessa on vähän vettä ja naisilla on enemmän rasvaa kehossaan. Rasvattomasta kehon painosta on noin 73 % vettä. (Senay & Pivarnik 1985). Kokonaisverimäärä on punasolutilavuuden ja plasmautilavuuden summa. Käytettävissä on rajallinen määrä tietoa verisuoniston nestetilavuuksista nuorilla terveillä miehillä. Verisuoniston nestetilavuudet tulisi normalisoida kehon kokoon vertailutarkoituksissa, toisaalta paras kehon koon indeksi on vielä epäselvä. (Sawka ym. 1992.)

2.1 Solunsisäinen ja solunulkoinen tila

Kehon nesteet jakautuvat kahteen pääaitioon: solunsisäiseen ja solunulkoiseen. Solunsisäisen nesteen määrä on noin $\frac{2}{3}$ ja solunulkoisen nesteen määrä noin $\frac{1}{3}$ kehon kokonaisnestemäärästä. Normaalilla 70 kg painavalla miehellä on 42 litraa nestettä kehossaan, josta siis noin 28 litraa on solunsisäistä ja noin 14 litraa solunulkoista. Jokainen solu sisältää yksilöllisen määrän erilaisia aineksia, mutta nämä aineet pysyvät suurin piirtein samalaisina solusta toiseen. Siksi kaikkien solujen sisäinen neste lasketaan yhdeksi suureksi nesteaitioksi. (Guyton & Hall, 1996).

Solunulkoinen tila jaetaan soluvälitilan nesteeseen ja veren plasmaan. Plasma on veren soluton osa ja jatkuvassa yhteydessä soluvälitilan nesteeseen kapillaarimembraanien aukkojen kautta. Nämä aukot läpäisevät melkein kaikki solunulkoiseen nesteeseen liuenneet aineet proteiineja lukuunottamatta. Solunulkoiset nesteet sekoittuvat jatkuvasti keskenään siten että plasman ja soluvälitilan nesteen koostumus on lähes samanlainen lukuunottamatta proteiineja, joiden konsentraatio on plasmassa suurempi. (Guyton & Hall, 1996).

Veri sisältää sekä solunulkoista nestettä (plasma) että solunsisäistä nestettä (punasoluisissa oleva). Kuitenkin veri käsitetään omaksi nesteaitiokseen koska se on omassa ”kam-

miiossaan” eli verenkiertoelimistössä. Normaalisti veritilavuus on noin 8 % kehon painosta. (Guyton & Hall, 1996).

2.2 Soluvälitila

Kuudesosa kehosta koostuu solujen välisistä tiloista joita kutsutaan yhteisesti soluvälitilaksi. Soluvälitilan neste on tullut filtraation ja diffuusion kautta kapillaareista. Sen sisältämien aineiden vaikutusta verinäytteisiin ei usein huomioida, vaikka ne voivat olla tärkeitä arvioitaessa dynaamisen kuormituksen vaikutusta kehon nesteisiin. (Guyton & Hall, 1996).

3 PLASMATILAVUUDEN MUUTOKSIIN VAIKUTTAVAT MEKANISMIT

Kuormitus vaikuttaa ionitasapainon häiriöihin veressä ja lihaksissa, mikä osaltaan johtaa veden ja ionien uudelleenjakautumiseen kehon eri nesteaitioiden välillä. Keskirasakas ja raskas liikunta aiheuttaa veri- ja plasmatilavuuden laskun, koska vettä siirtyy supistuvien lihasten soluvälitilaan ja solunsisäiseen tilaan. (Kowalchuk ym. 1988). Siitä johtuen hemokonsentraatioon vaikuttavia mekanismeja on useita. Plasmatilavuuden muutokseen vaikuttaa kapillaarien nestepaine (Senay & Pivarnik, 1985). Lisääntynyt valtimopaine ja pienten laskimoiden lihassupistus nostaa kapillaarien hydrostaattista painetta ja suodattaa plasmaa solunulkoiseen tilaan (Nose ym. 1991).

3.1 Fysiologiset tekijät

Plasmatilavuuden lasku fyysisen kuormituksen aikana johtuu sekä nesteen menetyksestä hikoilun ja hengitysteiden kautta, että veden siirtymisestä verisuonistosta sen ulkopuolelle (Wells ym. 1987; Verstappen 1989). Nesteen siirtyminen verisuoniston sisältä ulkopuolelle tapahtuu pääasiassa kuormituksen alussa ja on suhteessa kuormituksen intensiteettiin (Wilkerson ym. 1977). Tämä ilmiö johtuu luultavasti lisääntyneestä hydrostaattisesta paineesta verisuonissa ja lisääntyneestä osmoottisesta paineesta lihaskudoksessa (Wells ym. 1987).

Jotkut korostavat, että fyysisen kuormituksen aikana punasoluja vapautuu ”verivarastoista” kuten maksasta ja pernasta (Konstam ym. 1982). Erityisesti perna, joka supistuu fyysisen kuormituksen vuoksi tuotettujen katekoliaamiinien ansiosta, vapauttaa tietyn määrän punasoluja verenkiertoon. Intensiivisen kuormituksen jälkeen perifeerinen veri sisältää nuoria punasoluja ja retikulosyyttejä, joita on vapautettu luuytimestä fyysisen kuormituksen aikana. (Schmidt ym. 1988, 1989.)

Verisuoniston sisäisen nestemäärän lisääntymisen aiheuttama hypervolemia näyttäisi olevan superkompensatorinen muutos, joka seuraa akuuttia plasmatilavuuden pienenemistä ja osmolaliteetin lisääntymistä. Myös lämmölle altistuminen aiheuttaa kroonista veritilavuuden kasvua ja lämpötekijä vaikuttaa kuormituksen aiheuttamaan hypervolemiaan noin 40 % kun muut tekijät selittävät noin 60 %. (Convertino ym. 1980, Green

ym. 1984.) Palautumisen aikana transkapillaarinen hydrostaattinen paine ja kudospaine palaavat kuormitusta edeltävälle tasolle ja plasman osmolaliteetti ja elektrolyyttikoncentraatio säilyvät muuttumattomina huolimatta plasmatilavuuden kasvusta. Osmoottisten komponenttien (proteiinit ja elektrolyytit) massa on siis lisääntynyt. (Fellmann 1992.)

3.1.1 Kapillaarit

Kapillaarimembraanin läpi kulkevan veden ja liuosten filtraatioon ja absorptioon vaikuttavia syitä on useita ja niiden tasapaino vaihtelee kudoksesta toiseen (Gore ym. 1992). Dynaaminen kuormitus vaikuttaa eri aineiden tasapainoon kapillaariseinämän eri puolilla. Hetken kuluttua kuormituksen alusta suonet laajentuvat sallien suuremman veren virtauksen. Kapillaarien laajentuessa lisääntyy aineiden siirto pois verenkierrosta ja verenkiertoon. Samanaikaisesti prekapillaarinen vastus vähenee ja postkapillaarinen vastus lisääntyy johtuen laskimoiden tilavuuden pienentymisestä ja laskimotonuksen kasvusta. Siten kapillaarin aineiden vaihto lisääntyy johtuen kasvaneesta filtraatiopaineesta. Jos muita voimia ei ole vaikuttamassa vaihto saavuttaa uuden tasapainotilan. Dynaamisessa kuormituksessa tämä ei kuitenkaan välttämättä tapahdu kovin pian ja siihen vaikuttavat monet tekijät kuten esimerkiksi kuormituksen intensiteetti ja henkilön asento. (Rose ym. 1970).

Koska valtimopaine ja postkapillaarivastus nousevat rytmikkäässä kuormituksessa, on todennäköistä että kapillaarien hydrostaattinen paine nousee. Tämä itsessään lisää nesteiden siirtoa kapillaariseinämän läpi, mutta kun siihen vielä lisätään osmoottiset tapahtumat lihasfibereissä, ovat olosuhteet nesteiden siirtymiselle ulos verenkiertoelimistöstä otolliset. (Lundvall ym. 1972).

Tietyissä kuormitustutkimuksissa on epäilty kapillaariseinämien läpäisykyvyn muuttuvan, yleensä lisääntyvän jos proteiinien menetystä plasmasta voidaan pitää läpäisyn mittarina. Läpäisykyvyn lisääntymisen syyksi epäillään lisääntyneen kapillaaripaineen aiheuttamaa endoteelisolujen liitosten venymistä, joka sallii suurempien molekyylien kulkemisen näiden aukkojen kautta. Proteiinia kulkee kapillaarista soluvälitilaan vesikkelien transsytoosilla ja lihassolujen kapillaarit sisältävät runsaasti vesikkeleitä. (Harrison ym. 1975.)

3.1.2 Plasman proteiinit

Plasmaan voi tulla vettä aktiivisista kudoksista. Lihasten osmolaliteetti lisääntyy kuormituksessa ja lihakset pitävät nesteensä sisällään, mutta mahdollisesti vapauttavat sen plasmaan palautuksen aikana. (Costill ym. 1976.) Tätä veden liikettä suosii proteiinien virtaaminen verenkiertoon. Verenkierron proteiinimäärä lisääntyy kestävyysuurtusten (Röcker ym. 1989), kestävyysuurtamisen ja kuuma-aklimatisaation jälkeen (Conver-tino ym. 1980). Plasmatilavuuden lisäys on yhteydessä plasman albumiinipitoisuuden nousuun, joka lisää veden retentiota verisuonistossa onkoottisten ominaisuuksiensa avulla (Gillen ym. 1994). Yksi gramma proteiinia sitoo 14 – 15 ml vettä ja proteiineista laskettu plasman vedensitomiskapasiteetti vastaa hyvin arvioitua hypervolemiaa (Fellmann 1992).

Verenkiertoon tulevat proteiinit ovat todennäköisimmin lähtöisin lymfakierrosta. Fyysinen kuormitus voi lisätä lymfakierron nopeuden 20-kertaiseksi, jolloin ylimääräiset proteiinit voisivat tulla ihonalaisesta soluvälitilasta lymfakierron huuhtomana. Tämä on kuitenkin epätodennäköistä, koska tuloksena olisi proteiinivaje soluvälitilassa, mikä on aikaisempien havaintojen vastaista. (Fellmann 1992.)

Plasmatilavuuden laajentuminen 24 tuntia suorituksen jälkeen on yhteydessä laskeneeseen albumiinin kapillaareista poistumiseen ja tämä johtaa lisäykseen plasman albumiinipitoisuudessa. Lisäksi mikrosirkulatoriset voimat, jotka ohjaavat transkapillaarista albumiinvirtausta luurankolihasessa muuttavat suuntaansa siten, että ne tukevat vähentynyttä albumiinin poistumista verestä. Plasmatilavuuden palautumista kahden ensimmäisen tunnin aikana kuormituksen jälkeen, kun nestettä ja proteiinia palaa nopeasti verisuonistoon, ei kuitenkaan tutkittu vaikka sillä on ratkaiseva merkitys plasmatilavuuden säilymisessä ja palautumisessa. (Haskell ym. 1997.) Gillenin ym. (1994) tutkimuksessa plasman albumiinipitoisuus lisääntyi tunnin sisällä kuormituksen jälkeen ja plasmatilavuus palautui kontrollitasolle huolimatta siitä, että kehon nestemäärä laski n. 900 ml.

3.1.3 Plasman elektrolyytit ja hormonaaliset vasteet

Natrium on merkittävä solunulkoisen nestetilavuuden säätelijä (Guyton & Hall 1996). Kuormituksen aiheuttama plasmatilavuuden laajentuminen johtuu osaltaan munuais-tubulusten natriumin reabsorption lisääntymisestä (Luetkemeier ym. 1994). Armstrong ym. (1987) huomasivat, että plasmatilavuuden laajeneminen akklimatisoituessa kuumaan oli heikentynyt niillä, jotka oli siirretty vähäisen natriumin saannin ryhmään. Nose ym. (1988) huomasivat, että kuormituksen aikana menetetty plasmatilavuus palautui entiselleen nopeammin kun rehydraatiojuomaan lisättiin natriumkloridia. Luetkemeier (1995) tutki arvioidun natriumin saannin ja harjoittelun aiheuttaman plasmatilavuuden muutoksen välistä yhteyttä. Kymmenen tervettä miestä polki polkupyöräergometrillä 94 min päivässä kolmena perättäisenä päivänä 68 % VO_{2max} teholla. Koehenkilöt saivat syödä jakson aikana oman makunsa mukaan ja natriumin saanti arvioitiin ruokapäiväkirjoista. Plasmatilavuus määritettiin ennen ja jälkeen harjoitusjakson. Plasmatilavuus nousi $4,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ eli 11 %. Yksilöllinen vaihtelu oli kuitenkin $-1.4 - 14.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$. Korrelaatio arvioidun natriumin saannin ja plasmatilavuuden muutoksen välillä oli 0.81 eli ruokavalion natriumpitoisuus vaikutti merkittävästi harjoittelun aiheuttamaan plasmatilavuuden muutokseen.

Kardiopulmonaarirefleksien heikkeneminen tapahtuu kahden tunnin kuluessa kuormituksen jälkeen. Tämä vaikuttaa osaltaan plasmatilavuuden laajenemiseen sallimalla verisuoniston tilavuuden laajeta aiheuttamatta muutosta nesteitä säätelevissä hormoneissa, jotka toimisivat tilavuuden laajentumista vastaan. (Gillen ym. 1994.) Kuormituksen jälkeiseen natriumin ja veden säilymiseen kehossa vaikuttavat monet hormonit, esim. reniini, aldosteroni, vasopressiini ja atrial natriuretic peptide (ANP) (Szygula 1990).

Kuormituksessa munuaisten perfuusio ja hormonasot suosivat nesteen säilymistä kehossa. Kuormituksen aikana sydämen minuuttitilavuus jakaantuu uudelleen siten, että esimerkiksi munuaiskierrosta verta siirtyy iholle ja työskenteleviin lihaksiin. Plasmatilavuuden ja solunulkoisten nestetilavuuksien säilymisen tai laajentumisen katsotaan myös olevan riippuvaisia reniini-angiotensiini-aldosteronisysteemistä. Tämä saa aikaan Na^+ säilymisen elimistössä, joka puolestaan aiheuttaa nesteen siirtymisen verenkiertoon. Vasopressiini vaikuttaa myös kehon nesteiden säilymiseen lisäämällä veden reabsorbaatiota. Näiden hormonien vasteet kuormitukseen ovat monimutkaisia, koska niiden

tasot vaikuttavat toisiinsa ja niihin vaikuttaa myös veritilavuus ja verenpaine sekä plasman Na^+ , K^+ ja osmolaliteetti. (Fellmann 1992.)

Na^+ erityksen sekä aldosteronin ja plasman reniiniaktiivisuuden välillä on korkea korrelaatio (Convertino ym. 1980). Seitsemänä peräkkäisenä päivänä tehdyn rasittavan kuormituksen aiheuttama plasmatilavuuden laajentuminen oli yhteydessä progressiiviseen natriumin ja veden retentioon. Plasmatilavuus laajentui 22 % ja soluvälitilan nestemäärä 17 %, mutta intrasellulaarinnesteen määrä pieneni 8 %. (Williams ym. 1979.) Convertinon ym. (1980) mukaan on mahdollista, että solunsisäisen nesteen väheneminen on tärkeässä osassa kroonisen hypervolemian mekanismeissa.

Plasmatilavuuden lisääntyminen ja Na^+ kertyminen olivat vielä ilmeisiä, vaikka plasman reniiniaktiivisuus ja aldosteroni olivat palanneet kuormitusta edeltävälle tasolle 24 tunnin kuluttua pitkäkestoisesta kävelystä (Milledge ym. 1982). Myös Costill ym. (1976) huomasivat, että plasman reniiniaktiivisuus ja aldosteroni palasivat kuormitusta edeltäneelle tasolle 4 – 12 tunnissa ja siitä huolimatta samaan aikaan plasmatilavuus lisääntyi merkittävästi ja Na^+ erityks pysyi pienentyneenä. Samanlaisesta hormonaalisesta vasteesta ja Na^+ reabsorptiosta raportoivat Fellmann ym. (1989). Kaksi vuorokautta 24 tunnin juoksun jälkeen virtsan Na^+ / K^+ -suhde pysyi suoritusta edeltävää tasoa matalampana ja silti plasmatilavuus oli kasvanut 24 %, vaikka aldosteroni ja vasopressiini palasivat samaan aikaan kuormitusta edeltävälle tasolle. Myös Röcker ym. (1989) huomasivat 11 % lisäyksen plasmatilavuudessa, vaikka aldosteronin ja vasopressiinin arvot olivat samaa tasoa kontrolliryhmän kanssa. Nämä tutkimukset antavat olettaa että muutkin tekijät vaikuttavat pitkäkestoisen suorituksen aiheuttamaan hemodiluutio-vasteeseen.

Kestävyysharjoittelun vaikutus aldosteronin ja vasopressiinin tasoihin ja kuormitusvasteeseen sekä plasman reniinin aktiivisuuteen on kiistanalainen. Näiden hormonien konsentraation muutosten ja kuormituksen aiheuttaman hypervolemian välillä ei ole havaittu merkittävää korrelaatiota. Hormonien vaikutukset riippuvat myös reseptorien tiheydestä ja herkkyudestä. On esitetty, että kestävyysurheilijoilla plasman reniiniaktiivisuuden kontrolli olisi muuttunut. (Fellmann 1992.)

Atrial natriuretic peptide (ANP) vaikuttaa nestetasapainon säätelyyn. Kohonnut ANP-pitoisuus heikentää veden ja proteiinien pysymistä verenkierrössä ja muokkaa siten

kuormituksen vaikutusta plasman laajentumisen. ANP-taso nousee kuormituksen aikana, koska eteispaine, joka on sen pääasiallinen stimulus, kasvaa kuormituksessa. ANP lisää virtsan ja natriumin eritystä sekä inhiboi reniinin ja aldosteronin synteesiä. Kestävyyssuorituksessa aldosteronin, vasopressiinin, plasman reniiniaktiivisuuden ja ANP:n yhteisvaikutus on antidiureettinen siitä huolimatta, että ANP-taso on koholla. Palautuksen ensimmäisten tuntien aikana ANP-konsentraatio oli merkitsevästi matalalampi kuin kilpailua edeltänyt taso johtaen yhdessä aldosteronin ja vasopressiinin kanssa Na^+ ja veden säilymiseen kehossa. ANP-tasossa ei ole havaittu eroa harjoitelleiden ja harjoittelemattomien välillä levossa tai kuormituksessa. Oikean eteisen paine vähenee harjoittelun myötä, joka voi myös vaikuttaa tämän stimuluksen vasteeseen kestävyysurheilijoilla. (Freund ym. 1988.)

Yhteenvedon voitaneen sanoa, että nestetasapainoa säätelevillä hormoneilla on osansa Na^+ ja veden kehossa säilymisen aiheuttamassa hypervolemiaassa kuormituksen aikana ja jälkeen.

3.2 Asennon vaikutus plasmatilavuuteen

Asennon on raportoitu vaikuttavan plasmatilavuuteen (Bjerkhoel ym. 1995). Plasmatilavuus on suurempi makuulla kuin pystyasennossa. Seisomisen aiheuttama hydrostaattisen paineen lisääntyminen voi laskea plasmatilavuutta 10 – 15% (Lundvall & Bjerkhoel 1994). Hematokriitti nousee nopeasti seisomaan noustaessa ja se laskee makuulle mentäessä (Senay & Pivarnik 1985). Asennon muuttumisesta johtuvat plasmatilavuuden muutokset tapahtuvat lähes täydellisesti 20 minuutissa ja tasanne saavutetaan 30 – 35 minuutissa. Plasmatilavuus laski 16 %, kun 35 minuutin makuulla oloa seurasi 35 minuutin seisominen. (Hagan ym. 1978.)

Plasmatilavuuden muutokset kuormituksen aikana riippuvat vertailumittauksen asennosta ja ajasta, joka on käytetty tässä asennossa stabiloitumiseen (Ertl ym. 1991). Kuormitus makuuasennossa ei johtanut sen suurempaan hypervolemiaan kuin kuormitus pystyasennossa (Ray ym. 1990). Yhdessä tutkimuksessa samalla suhteellisella teholla ($\text{VO}_{2\text{max}}$) plasmatilavuus laski enemmän pyöräilyssä kuin juoksussa (Senay ym. 1980), mutta toisessa eroa ei havaittu (Gore ym. 1992). Proteiinien ja nesteen paluu ve-

renkiertoon on vähäisempää, jos kuormituksesta palaututaan makuulla verrattuna istuma-asennossa palautumiseen (Gillen ym. 1994.)

3.3 Lämpökuormituksen vaikutus plasmatilavuuteen

Ympäristön lämpötilan on osoitettu vaikuttavan plasmatilavuuteen. Lämmölle altistuminen aiheuttaa kroonista veritilavuuden kasvua ja lämpötekijä vaikuttaa kuormituksen aiheuttamaan hypervolemiaan noin 40 % kun muut tekijät selittävät noin 60 %. (Convertino ym. 1980, Green ym. 1984.) Lämpökuormitus voi yksistään johtaa hemokonsentraatioon tai hemodiluutioon (Stephenson & Kolka 1988). Kuumen ilmaston on osoitettu lisäävän kehon ydinlämpöä ja ihon veren virtausta arteriolien laajentumisen kautta. Tämä johtaa kapillaarikäytävien avautumiseen johtuen lisääntyneestä hydrostaattisesta paineesta. (Rendell & Kelly 1993.) Tämä yksistään johtaa nesteen siirtymiseen solunulkoiseen tilaan (Stephenson & Kolka 1988).

Kuormitus kuumassa ympäristössä johtaa plasmatilavuuden laskuun, joka voi vaarantaa kehon lämmönsäätelyn ja kyvyn työskennellä. Kyky säilyttää plasmatilavuus rajoittamalla sen laskua kuormituksen aikana on tärkeä adaptiivinen vaste. (Harrison 1985, 1987.) Kaikki nämä ”puolustusmekanismit” tapahtuvat muokkaamalla nesteen kulkua kapillaariseinämän läpi (hydrostaattinen, osmoottinen ja onkoottinen paine) intravaskulaaritalasta soluvälitilaan (Aukland ym. 1993).

Kylmä ympäristö laskee ihon veren virtausta arteriolien vasokonstriktion välityksellä, jotta kehon lämpötila säilyisi. Tämä voi lisätä hydrostaattista painetta ja siten plasman filtraatiota. (Kargotich ym. 1998.)

4 PLASMATILAVUUDEN MERKITYS KUORMITUKSESSA

Kuormituksen aikana veren virtaus jakaantuu pääasiassa työskentelevien lihasten ja lämmönpoistosysteemin välillä. Soluvälitilan nesteen väheneminen hienmuodostuksen ja nestesiirtymien vuoksi aiheuttaa hypovolemiaa, joka heikentää verenkierron ja lämpötilan säätelyä. Harjoitteleiden tai kuumaan sopeutuneiden hypervolemia sallii huomattavan kehonnesteen menetyksen ennen kuin plasmatilavuus palaa harjoittelua tai kuuma-altistusta edeltäneelle tasolle. Voidaan olettaa hypervolemian parantavan suoritusta parantamalla lihasten perfuusiota, pienentämällä iskuutilavuuden laskua ja fasiltoimalla lämpötilansäätelyä lisäämällä ihon verenvirtausta. Sydämen vasteet ovat todennäköisesti erilaisia, jos hypervolemia saadaan aikaan fyysisellä kuormituksella, kuin jos se on saatu aikaan keinotekoisesti. Fysiologiset vasteet riippuvat luonnollisestikin myös plasmatilavuuden laajentumisen suuruudesta. (Candas ym. 1986.)

4.1 Plasmatilavuuden vaikutus kardiovaskulaarisiin muuttujiin

Jos maksimihapenotto paranee plasmatilavuuden kasvaessa, voi se johtua plasmatilavuuden kasvun vaikutuksista verenkiertoelimistöön. Plasmatilavuuden kasvu ilman, että punasolumassassa tapahtuu muutoksia johtaa niin sanottuun urheilijan anemiaan, jossa hemoglobiinikonsentraatio on laskenut. (Green ym. 1991.) Valtimoveren hapenkuljetuskyvyn laskeminen voi heikentää hapen saantia ja sen käyttöä lihaksissa. Kuitenkin kompensoivia mekanismeja on olemassa. Verenkiertoelimistön kuormitusvasteisiin vaikuttaa suurelta osin iskuutilavuus. Plasmatilavuuden kasvaminen 300 – 400 ml lisää iskuutilavuutta kuormituksessa 10 – 20 %. (Convertino 1983.) Laskimopaluu lisää kammi- on täyttöpainetta ja Starlingin lain mukaan myös iskuutilavuutta, joka aiheuttaa sykkeen laskun submaksimaalisessa ja maksimaalisessa kuormituksessa sekä maksimaalisen minuuttitulavuuden nousun. Hypovolemia puolestaan pienentää iskuutilavuutta ja saa aikaan korkeamman sykkeen ja matalamman minuuttitulavuuden. (Fellmann 1992.) Plasmatilavuuden laajentumisen myönteiset vaikutukset ovat kuitenkin rajalliset. Harjoittelemattomilla 400 ml plasmatilavuuden laajennus näyttäisi olevan optimaalinen. Suurempi (700 ml) laajennus ei enää lisännyt iskuutilavuutta. Harjoitteleilla, joiden iskuutilavuus kasvoi luonnollisella tavalla saman verran kuin harjoittelemattomilla, ei 400 ml lisälaajennus vaikuttanut juurikaan iskuutilavuuteen. Näyttää siis siltä, että plasmatilavuuden

lisäyksen ja hemodiluution välillä on kompromissi, jolloin valtimoveren happipitoisuus laskee minimaalisesti ja viskositeetti on optimaalinen. (Hopper ym. 1988.) Dengel ym. (1992) raportoivat, että kuormituksella ja nestemanipulaatiolla 36 tunnin aikana aiheutettu 5.6 % nestehukka ei vaikuttanut kardiorespiratorisiin tai laktaattivasteisiin progressiivisessa nousevakuormaisessa pyöräilyssä neutraalissa lämpötilassa.

4.2 Plasmatilavuuden vaikutus lämmönsäätelyyn

Hypervolemia parantaa kehon kykyä säädellä lämpötilaansa lisäämällä ihonalaista verenkiertoa ja lisää hikoilua kasvattamalla soluvälitilan nesteen määrää. Ihonalainen verenkierto on suurempi, hikoilu lisääntynyt ja kehon lämpötila alempi. (Convertino 1983, Deschamps ym. 1989.) Dehydraatiossa ydinlämpö on aina korkeampi kuin euhydraatiossa (Fortney ym. 1981). Hypervolemia on harjoitelleilla vielä merkityksellisempää, koska he hikoilevat enemmän kuin harjoittelemattomat. He menettävät vähemmän ioneja hikilitraa kohti, mutta kaiken kaikkiaan menettävät enemmän vettä ja elektrolyyttejä. Kehon lämpötilan säätelyssä plasmatilavuuden laajentumisella on suurempi merkitys kuin veritilavuuden laajentumisella. Veritilavuuden lisääminen 10 prosentilla infusoimalla kokoverta ei vaikuttanut ydinlämpöön 30 minuutin pyöräilyssä (60 % VO_{2max}). Sama kuormitus toistettiin siten, että veritilavuutta laajennettiin kahdeksan prosenttia infusoimalla isotonista seerumin albumiiniliuosta, jolloin kehon lämpötila oli kuormituksessa merkitsevästi alempi. (Fortney ym. 1981.)

4.3 Plasmatilavuuden vaikutus suorituskykyyn

Plasmatilavuuden laajentuminen voi lisätä hapen kuljetusta kudoksille lisäämällä sydämen minuuttitilavuutta, alentamalla veren viskositeettia ja lisäämällä vapaiden rasvahappojen kuljetusta (Allen 1992). Plasmatilavuuden laajentuessa 12 % kahdeksan päivän harjoittelun tuloksena hapenottokyky nousi 8 % (Convertino ym. 1983). Harjoittelemattomuuden jälkeen hapenottokyky palautui lähes ennalleen kun veritilavuus laajennettiin samalle tasolle missä se oli harjoittelun aikana (Coyle ym. 1986). Toisissa tutkimuksissa ei havaittu plasman keinotekoisien laajennuksien (Dechamps ym. 1989) tai harjoittelun aiheuttaman laajentumisen (Green ym. 1987) vaikuttavan hapenottokykyyn. Näiden tutkijoiden mukaan muiden tutkijoiden huomaamat hapenoton parantumiset ei-

vät johdu plasmatilavuuden kasvamisesta sinänsä, vaan muista harjoittelun aiheuttamista adaptaatioista, jotka vaikuttavat joko yksinään tai yhdessä hypervolemian kanssa.

Kuumassa ilmastossa jo kahden prosentin nestehukka voi aiheuttaa suuren laskun maksimaalisessa aerobisessa tehossa. Hapenottokyvyn lasku on sitä suurempi mitä suurempi on nestehukka. (Sawka & Pandolf 1990.) Dehydraation vaikutus anaerobiseen suorituskykyyn on epäselvä. Kahden - viiden prosentin nestehukalla ei ole vaikutusta anaerobiseen Wingate testiin ja sen jälkeisiin laktaattiarvoihin (Jacobs 1980). Toisaalta Webster ym. (1990) huomasivat viiden prosentin dehydraation laskevan anaerobista suorituskykyä, mutta anaerobinen kynnys pysyi muuttumattomana.

5 PLASMATILAVUUDEN MUUTOKSEN LASKEMINEN

Tarkin menetelmä plasmatilavuuden mittaamiseen steady-state tilassa on plasman albumiinin leimaaminen tai Evansin sinivärjäysanalyysi. Näissä proteiinipohjaisissa menetelmissä on kuitenkin oletuksena, että proteiinimäärä säilyy vakiona mittauksen ajan. Siitä johtuen näitä mittauksia ei voida käyttää lyhytaikaisessa plasmamuutoksissa, koska plasmamäärän muuttuessa nopeasti yleensä proteiinien määrä muuttuu myös. (Fellmann 1992.) Plasmatilavuuden laajentuminen aiheuttaa hemodiluution, joka johtaa hematokriitin ja hemoglobiinikonsentraation laskuun. Siksi vaihtoehtoinen tapa arvioida plasmatilavuuden muutoksia on käyttää joko hematokriitin muutosta (Van Beaumont 1972) tai hematokriitin ja hemoglobiinin konsentraation muutosta (Strauss ym. 1951, Greenleaf ym. 1979).

Yksinkertaisin menetelmä on mitata pelkkää hematokriittiä. Tämä tapa vaatii punasolujen määrän ja keskimääräisen tilavuuden pysymistä samana. Greenleaf ym. (1979) mukaan näyttää siltä, että submaksimaalisessa ja maksimaalisessa kuormituksessa sekä kuuma- ja hypoksia-altistuksessa plasman osmolaliteetin muutokset eivät aiheuttaneet muutosta punasolujen määrässä tai keskitilavuudessa. Siksi hematokriittiä tai hematokriittiä ja hemoglobiinikonsentraatiota yhdessä voidaan käyttää plasmatilavuuden muutosten laskemiseen alle kahden tunnin kestoisissa suorituksissa. Kolka ym. (1982) vahvistivat Greenleaf ym. (1979) havainnon, että punasolut säilyttävät keskimääräisen tilavuutensa ja hemoglobinsa kovassa stressissä kuten maratonjuoksussa. Vaikka punasolujen tilavuus pysyy vakiona, voi virhettä tulla siitä, että koko kehon keskimääräinen hematokriitti on aina alhaisempi kuin valtimoiden tai laskimoiden hematokriitti (Fellmann 1992).

Plasmatilavuuden muutoksia voidaan myös arvioida plasman proteiinikonsentraation muutoksilla (Fellmann 1992). Tämän menetelmän riskinä on plasmatilavuuden aliarviointi, koska plasman proteiinimäärä voi nousta palautusjakson aikana (Böning ym. 1979). Toisaalta Schmidt ym. (1989) laskivat plasmatilavuuden muutoksen olevan yhtä suuri käytettiin sitten plasman proteiinivaihtelua tai hematokriitin ja hemoglobiinin konsentraation muutoksia.

6 PLASMATILAVUUDEN MUUTOS KUORMITUKSEN AIKANA

Useimpien tutkijoiden mukaan yksittäinen fyysinen kuormitus aiheuttaa hemoglobiini-konsentraation, hematokriitin ja punasolujen lukumäärän nousun perifeerisessä veressä (mm. Davidson ym. 1987; Robertson ym. 1988; Szygula 1990). Fyysisen kuormituksen aiheuttama dehydraatio laskee plasmatilavuutta ja lisää veren tiheyttä. Van Beaumont (1973) huomasi 15 – 16 % laskun plasmatilavuudessa lyhytkestoisen maksimaalisen polkupyöräergometrikuormituksen aikana. Samaan aikaan veren osmolaliteetti nousi 6 %, hemoglobiinikonsentraatio 9.6 %, hematokriitti 9.7 % ja punasolujen määrä 9.2 %.

Plasman poistuminen verenkierrosta on sitä voimakkaampaa mitä suurempi on kuormituksen intensiteetti (El-Sayed ym. 1990; Gillen ym. 1991). Välitön harjoituksen jälkeinen hemokonsentraatio kestää noin 30 – 60 min ja sitä seuraa hemodiluutio, joka voi kestää jopa 24 tuntia (Gillen ym. 1991; Kargotich ym. 1997; Ploutz-Snyder ym. 1995). Wells ym. (1982) raportoivat juoksumattokuormitusten, joiden teho vaihteli välillä 33 – 90 % VO_{2max} aiheuttavan plasmatilavuuden laskun 11 – 18 prosentilla.

Kansallisen tason uimareiden plasmatilavuus laski 11 % lyhyen maksimaalisen uintitestin aikana (Hasibeder ym. 1987). Hemokonsentraatiota tapahtuu myös pitkäkestoisissa suorituksissa (Röcker ym. 1989). Huolimatta nesteen nauttimisesta hyvin harjoitelleilla triathlonisteilla tapahtui huomattavaa hemokonsentraatiota 10 km juoksun ja 40 km pyöräilyn aikana. Se johtui sekä plasmatilavuuden laskusta (n. 8 - 10 %) että dehydraatiosta (3 – 4 % painon lasku). (Wells ym. 1987.) Plasmatilavuuden lasku on miehillä suurempaa (13 %) kuin naisilla (8 %) (Wells ym. 1982).

Meszaro ym. (1994) tutkimuksessa 16 kansallisen tason jalkapalloilijaa suorittivat maksimaalisen juoksumattotestin. Noin 65 % plasmatilavuuden laskusta tapahtui kuormituksen ensimmäisten minuuttien aikana. Gore ym. (1992) tutkimuksessa plasmatilavuus laski pyöräilyssä 6.5 % ja lasku tapahtui lähes kokonaan ensimmäisen viiden minuutin aikana.

7 PLASMATILAVUUDEN MUUTOS KUORMITUKSEN JÄLKEEN

Refsum ym. (1976) kutsuivat kuormituksen jälkeistä plasmatilavuuden kasvua termillä ”postexercise overhydration”. Pitkäkestoisen suorituksen intensiteetti vaikuttaa kuormituksen jälkeiseen plasman lisääntymiseen. Mitä suurempi plasman menetys on suorituksen aikana, sitä suurempi on hemodiluutio suorituksen jälkeen (Fellman 1992).

7.1 Plasmatilavuuden muutoksen ajoittuminen ja suuruus

Refsum ym. (1976) huomasivat perifeerisen veren hemoglobiinikonsentraation ja hematokriitin laskeneen hyvin harjoitelleilla miehillä 70 – 90 km murtomaahiihdon jälkeen. Karvonen ja Saarela (1976) raportoivat kestävyysjuoksijoiden hemoglobiinikonsentraation laskeneen tunti 25 km juoksun jälkeen. Yksittäisen pitkäkestoisen kestävyysuorituksen (Vasaloppet) jälkeen voi plasmatilavuus nousta yli 10 % (Åstrand & Saltin 1964). Schmidt ym. (1989) huomasivat vastaavan (16 %) nousun plasmatilavuudessa maratonjuoksun jälkeen. Plasmaekspansio oli huipussaan kaksi päivää maratonin jälkeen. Myös Fellmann ym. (1989) raportoivat plasmatilavuuden olevan suurimmillaan kaksi vuorokautta 24 tunnin juoksun jälkeen.

Hemoglobiinikonsentraatio, hematokriitti ja punasolujen lukumäärä pysyvät kuormitusta edeltävää tasoa alempana muutamia päiviä, vaikka ne ovatkin kohollaan kuormituksen loputtua. (Davidson ym. 1987; Karvonen ja Saarela 1976; Refsum ym. 1976; Robertson ym 1988; Wells ym. 1982.) Edellä mainitut muuttujat ovat alimmillaan 24 – 72 tuntia kuormituksen päättymisestä ja säilyvät alentuneina 6 – 12 vuorokautta (Dickson ym. 1982; Refsum ym. 1976).

Schmidtin ym. (1989) tutkimuksessa plasmatilavuus kasvoi 16 % kahtena maratonia seuraavana päivänä. Absoluuttinen lisäys plasmatilavuudessa oli 560 ml toisena palautumispäivänä ja tilavuus säilyi 280 ml alkuperäistä suurempana vielä kolmantena palautumispäivänä. Robertson ym. (1988) huomasivat myös merkitsevän nousun plasmatilavuudessa 48 h (8.2 %) ja 72 h (9.8 %) 21 km juoksun jälkeen. Nämä tulokset ovat samansuuntaisia Åstrandin ja Saltinin tuloksien kanssa, joissa jo tunti 85 km hiihtokilpailun jälkeen plasmatilavuus oli 11.4 % korkeampi kuin ennen kilpailua. Maratonin tai

ultramaratonin jälkeen plasmatilavuus on kohonnut jopa 6 vuorokautta kuormituksen jälkeen (Irving ym. 1990). Davidson ym. (1987) huomasivat, että verrattuna kilpailua edeltävään mittaukseen plasmatilavuus kasvoi 8.6 % kolme tuntia, 11.2 % kuusi tuntia ja 17.4 % 24 tuntia maratonin jälkeen.

Gillen ym. (1991) raportoivat 10 – 15 % lisäyksen plasmatilavuudessa 24 h sisällä korkeaintensiteettisestä suorituksesta. Plasmatilavuuden kasvuun liittyi lisääntynyt plasman albumiinipitoisuus, joka sai onkoottisten ominaisuuksiensa vuoksi aikaan lisääntyneen veden retention intravaskulaariseen tilaan. Tämän lisäksi toisessa tutkimuksessa barorefleksien herkkyys oli laskenut kahden tunnin ajan kuormituksen jälkeen. Jälkimmäinen adaptaatio on merkittävä plasmatilavuuden laajentumisessa, sillä se sallii intravaskulaarisen tilavuuden laajentua ilman, että nesteitä säätelevät hormonit alkaisivat vaikuttamaan tilavuuden laajentumiseen. Toinen tärkeä huomio oli, että plasman albumiinipitoisuus lisääntyi tunnin sisällä kuormituksen jälkeen ja että plasmatilavuus palautui kontrollitasolle huolimatta siitä, että kehon nestemäärä laski n. 900 ml. (Gillen ym. 1994.)

Kuormituksen jälkeisen plasmatilavuuden kasvun pääsyyt ovat nesteen nauttiminen pitkäkestoisen suorituksen aikana, nesteen siirtyminen kudoksista verenkiertoon ja munuaisten natriumin ja veden erityksen lasku (Davidson ym. 1987; Schmidt ym. 1989). Kuormituksen jälkeiseen natriumin ja veden säilymiseen kehossa vaikuttavat monet hormonit, esim. reniini, aldosteroni, vasopressiini ja ANP (Szygula 1990).

7.2 Kuormitustehon vaikutus plasmatilavuuteen

Pitkäkestoisen suorituksen intensiteetti vaikuttaa kuormituksen jälkeiseen plasman lisääntymiseen. Mitä suurempi plasman menetys on suorituksen aikana, sitä suurempi on hemodiluutio suorituksen jälkeen (Fellman 1992).

Näiden muutosten suuruus riippuu kuormituksen kestosta ja tehosta, ympäristöolosuhteista sekä yksilön fyysisestä kunnosta. Mitä intensiivisempi kuormitus, sitä suurempia ovat kuormituksesta johtuvat muutokset ja mitä harjoitellempi yksilö, sitä vähemmän selviä muutokset ovat. Dehydraatiota on pidetty näiden muutosten pääasiallisena syynä. (Szygula 1990.) Plasmatilavuuden muutos ei ole lineaarisessa suhteessa kuormitusinten-

siteettiin, vaan välillä 45 – 75 % VO_{2max} tässä suhteessa tapahtuu muutos. Muutoskohdan on oletettu liittyvän plasman laktaatin määrän jyrkempään nousukohtaan. (Senay ym. 1980; Wilkerson ym. 1977).

8 HARJOITTELUN VAIKUTUS PLASMATILAVUUTEEN

Intravaskulaarisen nestetilavuuden kasvu on tärkeä verenkiertoelimistön vaste fyysiselle harjoittelulle (Convertino ym. 1980). Plasmatilavuuden kasvu on varhainen adaptaatio kaiken tasoiselle kestävyysharjoittelulle ja plasmatilavuuden lisäys korreloi kuormituksen tason kanssa. Viiden – kahdenkymmenen prosentin lisäyksiä on raportoitu. (Convertino 1991.) Kestävyysurheilijoilla on aina kasvanut plasmatilavuus ja punasolumassa, mutta plasmatilavuuden kasvu ylittää aina punasolumassan lisäyksen, joten hematokriitti laskee veren laimentumisesta johtuen (Allen ym. 1991).

8.1 Poikkileikkaustutkimukset

Kestävyysharjoittelu lisää plasmatilavuutta ja urheilijoiden plasmatilavuus on suurempi kuin harjoittelemattomien. (Dill ym. 1974; Green ym. 1991). Akuutti polkupyöräergometrikuormitus aiheuttaa yleensä (Harrison 1985; Senay & Pivarnik 1985), mutta ei aina (Macek ym. 1976; Novosadova 1977), plasmatilavuuden laskun sekä harjoitelleilla että harjoittelemattomilla yksilöillä. Muutamissa tutkimuksissa on verrattu plasmatilavuuden muutosta harjoitelleiden ja harjoittelemattomien välillä, mutta harjoitustaan vaikutuksesta plasmatilavuuden muutokseen ei ole yksimielisyyttä (Convertino 1983, 1980; Fortney & Senay 1979; Freund ym. 1987; Geysant ym. 1981; Sullivan ym. 1993).

Sullivan ym. (1993) vertasivat aerobisesti harjoitelleiden ja harjoittelemattomien miesten plasmatilavuuden akuuttia muutosta samalla absoluuttisella työteholla ja maksimiteholla. Työtehon noustessa (60, 120 ja 180W) plasmatilavuus laski enemmän harjoittelemattomilla (3.9, 9.2 ja 16.2 %) kuin harjoitelleilla (3.9, 6.8 ja 12.5 %). Maksimityössä plasmatilavuuden lasku oli yhtä suuri (18.6 %). Freund ym. (1987) mukaan akuutti maksimaalinen kuormitus aiheuttaa samanlaisen muutoksen plasmatilavuudessa harjoitelleilla ja harjoittelemattomilla yksilöillä.

8.2 Pitkittäistutkimukset

Harjoittelun aiheuttaman plasmatilavuuden laajentumisen päästimulus lienee kuormituksen intensiteetti. Plasmatilavuus voi nousta jopa 11.6 % kolmena peräkkäisenä päivänä tehdyllä korkeaintensiteettisellä kuormituksella. Kuormituksen jälkeinen plasmatilavuuden lisäys on sitä suurempi mitä suurempi on akuutti plasmatilavuuden menetys kuormituksen aikana. Hypervolemia on myös riippuvainen päivittäisen harjoittelun määrästä sillä yli kahden tunnin päivittäinen harjoittelu aiheuttaa suuremman plasmatilavuuden laajentumisen kuin alle kahden tunnin päivittäinen harjoittelu. (Convertino ym. 1980.) On hankalaa aiheuttaa plasmatilavuuden laajentumista henkilöille, jotka ovat hyvässä fyysisessä kunnossa ja joiden plasmatilavuus on jo laajentunut harjoittelusta johtuen (Convertino ym. 1980).

Myös kuormitustiheydellä voi olla vaikutusta plasmatilavuuden vasteeseen. Harjoittelu tai kilpailut perättäisinä päivinä aiheuttavat suuremman plasmatilavuuden nousun kuin ohjelma, jossa on yksi tai kaksi palautuspäivää kuormitusten välillä. Päivittäin toistetuissa kuormituksissa plasmatilavuus kasvaa ensimmäiset viisi vuorokautta saavuttaen sitten tasanteen (Fellmann 1992.)

Covertino ym. (1983) kuormittivat harjoittelemattomia miehiä polkupyöräergometrillä. Keskimääräinen plasmatilavuuden lasku oli 7 % 100 W, 11 % 175 W ja 14 % 225 W teholla. Kahdeksan päivän harjoittelu aiheutti 12 % hypervolemian, mutta silti polkupyöräergometrikuormituksen aiheuttama hemokonsentraation muutos ei ollut erilainen ennen ja jälkeen harjoittelun (Convertino ym. 1983). Veritilavuuden laajentuminen saavuttaa tasanteen 10 päivän harjoittelun jälkeen, jona aikana plasman lisääntyminen sellittää veritilavuuden lisääntymisen lähes kokonaan (Convertino 1991). Luetkemeier ja Thomas (1994) tutkivat pyöräilijöitä laboratorio-olosuhteissa. Kolmen päivän harjoittelu nosti plasmatilavuutta 11 %, mutta yksilölliset erot olivat suuret (-3 – 34 %). Erot eivät johtuneet fyysisistä eroista, harjoittelutaustasta tai kuumaan sopeutumisesta. Kolmen viikon kevyt aerobinen harjoittelu nosti harjoittelemattomien yliopistop opiskelijoiden maksimaalista hapenottokykyä 25.3 % ja plasmatilavuutta 5.9 %. Hematokriitti laski 3.4 %. (Allen ym. 1992.)

Samanlaisia muutoksia havaittiin myös muiden pitkäkestoisten suoritusten, kuten maratonin (Davidson ym. 1987; Schmidt ym. 1989), 312 mailin juoksun 20 päivässä (Dressendorfer ym. 1981) ja 1000 km 20 päivässä (Seiler ym. 1989) jälkeen. Näitä muutoksia ei voida kokonaan selittää nesteen siirtymisellä kudoksista verenkiertoon tai nesteen nauttimisella (Novosadova 1977; Wells ym. 1987). Muutkin tekijät, kuten erytrosyyttien lisääntynyt hemolyysi kuormituksen aikana ja erytrosyyttien menetys ruuan-sulatuskanavan ja virtsateitten kautta tulisi myös ottaa huomioon (Szygula 1990).

9 NESTETASAPAINON VAIKUTUS PLASMATILAVUUTEEN

Senay (1978) esitti, että nestetasapaino ennen kuormitusta voi vaikuttaa nesteen säätelyyn kuormituksen aikana. Erityisesti hän esitti käänteistä suhdetta suoritusta edeltävän plasman osmolaliteetin ja kuormituksen aikaisen hemodiluution välille. Dehydraatio aiheuttaa hemokonsentraatiota plasmatilavuuden pientymisestä johtuen. (Senay 1978.) Hikoilusta johtuva dehydraatio aiheuttaa nesteen liikkumisen verenkierrosta soluvälitilaan aiheuttaen plasmatilavuuden laskun. (Fellmann 1992.)

Useat tutkijat ovat tutkineet suoritusta edeltävän nesteytystilan vaikutusta kuormituksen jälkeiseen plasmatilavuuden muutokseen, mutta tulokset ovat olleet moniselitteisiä (Brandenberger ym. 1989, Claremont ym. 1976, Fortney ym. 1981, Gaebelein ym. 1980). Ristiriidat tutkimusten välillä voivat johtua filtraatioon vaikuttavien voimien (hydrostaattinen paine) tasapainosta tai absorptiosta (pääasiassa onkoottinen paine). Näihin voimiin vaikuttaa kuormitustapa ja intensiteetti sekä menetelmä, jolla dehydraatio on aikaansaatu (Harrison 1987). Dehydraation aiheuttaminen nesteen saantia rajoittamalla tai lämpökuormituksella laskee plasmatilavuutta lisäten samanaikaisesti plasman osmolaliteettiä (Fortney 1984). Verisuoniston nestesiirtymät kuormituksen aikana eivät ole pääasiallisesti plasmatilavuudesta johtuvia, vaan riippuvat hydrostaattisista painevoimista ja onkoottisista voimista (Zappe ym. 1993). Sawkan ym. (1984) tutkimuksessa, jossa kuormitettavat olivat dehydraatitilassa, plasmatilavuuden lasku oli riippuvainen plasman kokonaisproteiinimäärästä eli sen säilyttämisellä voi olla ratkaiseva merkitys plasmatilavuuden menettämisen ehkäisyssä dehydraatiossa. On myös esitetty, että lymfavirtaus voi laskea dehydraatiossa, joka puolestaan vähentää proteiinin paluuta verisuonistoon kuormituksen aikana (Sawka 1988).

Kuormitus vaikuttaa nesteiden vaihtoa kontrolloiviin prosesseihin pääasiassa lisäämällä kapillaarien hydrostaattista painetta, joka johtaa plasman nesteen menetykseen soluvälitilaan (Harrison 1985). Plasmatilavuuden menetys kuormituksessa on siten osaltaan riippuvainen kuormituksen intensiteetistä, joka määrää lihaskapillaarien hydrostaattisen paineen (Convertino ym. 1983). Kapillaarien hydrostaattinen paine on pääasiallinen verisuoniston nestesiirtymiä määräävä tekijä ja dehydraatio kuormituksen aikana voi vaikuttaa siihen (Sawka 1988).

Zappe ym. (1993) huomasivat tutkimuksessaan, että harjoitelleilla henkilöillä 24 tunnin juomattomuudella aiheutettu dehydraatio ei vaikuttanut plasmatilavuuden laskuun kuumassa ilmastossa suoritetussa pyöräilyssä. Gaebelein ja Senay (1980) raportoivat, että polkupyöräergometrikuormituksessa (60 min, 34 % VO_{2max}) hemoglobiinikonsentraatio lisääntyi kummallakin ryhmällä, mutta lisäys ilmaantui aikaisemmin dehydroituneilla.

Nesteytystilalla on myös vaikutusta plasmatilavuuteen heti 15 minuutin pyöräilyn (teho 80 % maksimisykkeestä) jälkeen. Plasmatilavuus laski yhtä paljon dehydraatio- (11.8 %) ja hyperhydraatioryhmällä (10.9 %), mutta hieman enemmän nestetasapainossa pysyneillä (15.3 %). Yksi tunti kuormituksen jälkeen plasmatilavuus oli lisääntynyt 3.8 % euhydraatio-, 3.6 % dehydraatio- ja 9.4 % hyperhydraatioryhmällä. (Viinämäki, 1990.)

Nesteen nauttimisen vaikutusta suoritukseen on tutkittu laajasti (Coyle & Coggan 1984; Lamb & Borodowicz 1986; Maughan 1991). Urheilujuoman tarkoituksena on tarjota vettä korvaamaan dehydraation vaikutuksia ja myös hiilihydraatteja täydentämään kehon rajallisia varastoja. Hiessä menetettyjen elektrolyyttien korvaamiseen voi myös olla tarvetta, mutta tämä ei ole yleensä kovin tärkeää kuormituksen aikana. Nautitun nesteen hyödyntämiseen vaikuttavat pääasiassa vatsan tyhjentymisnopeus ja suoliston absorptiivisuus. Näitä kumpaakin prosessia on tutkittu tarkoituksena optimoida urheilujuomien koostumus. (Lamb & Borodowicz 1986; Murray 1987.)

Kuormituksen aikainen nestetäydennys isotonisella sakkaroosiliuoksella johti plasman hypervolemiaan (Candas ym. 1986). Rehydraatio voi siis johtaa plasmatilavuuden laajentumiseen pitkäkestoisessa suorituksessa kuumassa ilmastossa, jos nesteen saanti on yhtä suurta kuin nesteen menetys (Sawka ym. 1983).

Natriumin lisäämistä urheilujuomiin voidaan perustella kahdella syyllä. Ensinnäkin, natrium stimuloi glukoosin absorptiota ohutsuoletta. Veden absorboituminen suolistosta on passiivinen prosessi, jonka nopeus määräytyy pääasiassa paikallisen osmoottisen gradientin mukaan. Glukoosin ja natriumin aktiivinen yhteiskuljetus luo osmoottisen gradientin, joka edistää veden absorptiota ja siksi rehydraatio on suurempi verrattaessa glukoosi-natriumkloridiliuoksen nauttimista pelkän veden nauttimiseen. Toiseksi, hikoilun aiheuttaman nestehukan korvaaminen voi johtaa hemodiluutioon, jos nautittu nestemäärä on suuri. Plasman osmolaliteetin ja natriumkonsentraation lasku voi pienentää

halukkuutta juomiseen ja voi aiheuttaa hyponatremian. (Maughan ym. 1994; Noakes ym. 1985; Nose ym. 1988.)

Kuormituksen aikainen voimakas hikoilu voi aiheuttaa kehon nestemäärän tippumisen yli litralla tunnissa. Kehon nestetasapainon palauttaminen on välttämätöntä seuraavien kuormitusten optimaalisen kardiovaskulaarisen toiminnan ja lämmönsäätelyn kannalta. Veden ja elektrolyyttien palautumista rehydraation aikana rajoittavat mahalaukun tyhjentymisen ja nesteen suolistosta imeytyminen sekä kehon kyky pitää nautittu neste sisällään. (Gonzales-Alonzo ym. 1992.)

Kuormituksen jälkeiseen nestetasapainon ja elektrolyyttihomöostaasin palautumiseen liittyviä tutkimuksia ei ole niin paljon kuin kuormituksen aikaiseen liittyviä. Costill & Sparks (1973) osoittivat, että glukoosi-elektrolyyttiliuoksen nauttiminen dehydraation jälkeen aiheutti vähäisemmän virtsan erityksen ja täydellisemmän plasman palautumisen kuin pelkän veden nauttiminen. Natriumin lisäämisen rehydraationesteeseen stimuloi nesteen ottoa elimistöön ja vähentää virtsan tuoton määrää (Nose ym. 1988). Kofeiinipitoiset juomat aiheuttavat diureesia ja siten heikentävät rehydraatiota (Gonzales-Alonzo ym. 1992).

10 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Tausta

Hiihtäjillä on todettu terveydelle vaarallisen korkeita hemoglobiinikonsentraatioarvoja ($> 190 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) vuoden 1995 maailmanmestaruushiihtojen yhteydessä. (Videman ym. 2000). Kansainvälinen hiihtoliitto otti vuonna 1997 käyttöön säännön, jonka mukaan kilpailuista suljetaan pois ne hiihtäjät, joiden hemoglobiinikonsentraatio (Hb) on yli tietyn rajan, miehillä $> 185 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ja naisilla $> 165 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Hemoglobiinitesti, joka ei siis ole doping-testi vaan eräänlainen terveystarkastus, tehdään tunti ennen kilpailun alkua. Varsinainen doping-testi tehdään kilpailun jälkeen ja on esitetty mielipiteitä, että hemoglobiinitesti tulisi tehdä myös sen yhteydessä.

Useat tutkijaryhmät raportoivat hematologisten muuttujien noususta yksittäisen intensiivisen kuormituksen aikana (Dill & Costill 1974; Naveri ym. 1985; van Beaumont 1973; van Beaumont ym. 1972; Wilkerson 1977). Monet tutkimukset ovat osoittaneet punasolujen lukumäärän, hemoglobiinikonsentraation ja hematokriitin laskevan yksittäisen intensiivisen kuormituksen jälkeen lähtötason alapuolelle (Karvonen & Saarela 1976; Puhl & Runyan 1980; Refsum ym. 1976; Åstrand & Saltin 1964). Toisaalta toiset tutkijat eivät ole havainneet merkitseviä muutoksia hematologisissa muuttujissa yksittäisen kuormituksen tai harjoittelun jälkeen, erityisesti jos tutkittavana on ollut hyvin harjoitelleita urheilijoita (Akgun ym. 1974; Glass ym. 1969; Wells ym. 1982). Hematologiset muuttujat ovat voimakkaasti riippuvaisia plasmatilavuuden muutoksista (Novosadova 1977; van Beaumont ym. 1972).

Tutkimusongelmat

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, mitä urheilujuoman juominen, yksi litra ennen kilpailua ja yksi litra kilpailun jälkeen, vaikuttaa plasmatilavuuteen, hemoglobiinikonsentraation ja hematokriittiin kilpailun jälkeen.

Tutkimusongelmat asetettiin seuraavasti: Vaikuttaako urheilujuoman nauttiminen plasmatilavuuteen ja hematologisiin muuttujiin 11.5 km hiihtokilpailun jälkeen?

Hypoteesit

Tutkimuksen hypoteesi oli seuraava: Urheilujuoman nauttiminen lisää plasmatilavuutta sekä hemoglobiinikonsentraation ja hematokriitin laskua 11.5 km hiihtokilpailun jälkeen.

11 MENETELMÄT

11.1 Koehenkilöt

Kahdeksantoista vapaaehtoista aikuista kansallisen tason mieshiihtäjää (ikä 24 ± 4 vuotta) osallistui tähän tutkimukseen. Koehenkilöt kävivät maksimaalisessa sauvakävelytestissä ja punasolumassamäärityksessä 11 ± 6 päivää ennen hiihtoputkessa suoritettua hiihtokilpailua. Heidän fyysiset ominaisuutensa olivat: kehon massa 74 ± 5 kg, pituus 1.80 ± 0.05 m, rasvaprosentti 11 ± 2 % ja maksimaalinen hapenottookyky 66 ± 5 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹. Henkilöt jaettiin plasmatilavuuden, punasolumassan ja hapenottokyvyn perusteella koe- ja kontrolliryhmään, jolloin kumpaankin ryhmään tuli yhdeksän urheilijaa.

TAULUKKO 1. Taustamuuttujat

	Hapenottookyky (L \cdot min ⁻¹)	Punasolu- massa (L)	Plasmatila- vuus (L)	Veritilavuus (L)
Koeryhmä (n = 9)	4.86 ± 0.58	2.67 ± 0.37	4.42 ± 0.51	7.08 ± 0.83
Kontrolliryhmä (n = 9)	4.87 ± 0.39	2.67 ± 0.25	4.37 ± 0.51	7.04 ± 0.61
Ero ryhmien välillä (t-testi, p =)	0.959	0.988	0.849	0.899

11.2 Koeasetelma

Tutkittaville selvitettiin ennen tutkimuksen alkua tutkimuksen tarkoitus ja mahdolliset tutkimukseen liittyvät riskit ja he allekirjoittivat suostumuslomakkeen ennen mittauksia. Tutkimus on hyväksytty Jyväskylän yliopiston eettisessä toimikunnassa. Alkumittaukset eli maksimaalinen sauvakävelytesti, antropometriset mittaukset ja punasolumassamittaus hiilimonoksidimenetelmällä (Burge & Skinner 1995) suoritettiin 25.5 – 9.6.1999 Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksessa Jyväskylässä. Varsinainen tutkimus toteutettiin Vuokatin hiihtoputkessa 14.6.1999. Tutkimus ajoittui hiihtäjien peruskunto-kauden alkuun.

Koehenkilöt hiihtivät Vuokatin hiihtoputkessa 11.5 km kilpailun vapaalla hiihtotavalla. Hiihtoputken ilman lämpötila oli -4 – -5 °C ja kosteusprosentti n. 80 %. Kilpailijat lähetettiin matkaan kolmen minuutin välein. Koeryhmä sai juotavakseen litran urheilujuomaa (Isotonic Force, Marli Oy, Turku) ennen ja jälkeen kilpailun (Taulukko 2).

TAULUKKO 2. Käytetyn urheilujuoman koostumus

Yksi litra juomaa sisältää veden lisäksi:	
Hiilihydraattia	37 g
- josta pitkäketjuisia sokereita	20 g
-glukoosia	11 g
-fruktoosia	6 g
Natriumia	150 mg
Kaliumia	39 mg
Magnesiumia	23 mg
Kalsiumia	14 mg

Urheilujuoma sekoitettiin kaksi kertaa ohjetta suurempaan vesimäärään, jotta varmistettiin juoman hyvä imeytyminen. Juoman osmolaliteetti oli 220 mosm • kg⁻¹ eli juoma oli hypotonista. Kontrolliryhmä oli koko ajan juomatta.

Hemoglobiini ja hematokriitti mitattiin kaksi kertaa ennen kilpailua ja kolme kertaa kilpailun jälkeen. Aamun paastoverinäytteen jälkeen koehenkilöt kävivät aamupalalla ja heitä kehoitettiin syömään normaaliin tapansa ja juomaan kolme lasillista/kupillista mehua, maitoa, teetä tai kahvia. Kaksi tuntia ennen kilpailua koehenkilöt punnittiin (Dayton-vaaka Oy, Espoo, Suomi) ja heille annettiin litra urheilujuomaa juotavaksi ennen kilpailua. Tunti ennen kilpailua tehtiin toinen verikoe. Kilpailun jälkeen verikokeet tehtiin heti maaliin tulon jälkeen sekä 15 ja 60 minuuttia kilpailun päättymisestä. Välittömästi kilpailun jälkeen koehenkilöt saivat myös toisen litran urheilujuomaa juotavaksi seuraavan tunnin aikana. Verinäytteiden ottamisen yhteydessä mitattiin virtsa-astioihin virtsatun virtsan määrä. (Taulukko 3.)

TAULUKKO 3. Mittausaikataulu

Aika	Tapahtuma	Paikka
7.00 -	Verinäyte 1 (paastonäyte)	Putken pukuhuone
7.30 -	Aamiainen	Ruokala
9.00 -	Punnitus + juomien ja virtsa-astioiden jako	Putken pukuhuone
9.00 -	Nesteen juonti (1 L) ja virtsaus keräysastiaan alkaa	
10.00 -	Verinäyte 2	Putken pukuhuone
11.00 -	Kilpailu (11.5km)	Putki
0 min jälkeen	Verinäyte 3 ja nesteen juonti (1 L) alkaa	Putken pukuhuone
15 min jälkeen	Verinäyte 4	Putken pukuhuone
60 min jälkeen	Verinäyte 5 + punnitus + virtsa-astioiden ja juomapullojen keruu	Putken pukuhuone

11.3 Aineiston keräys ja analysointi

Sauvakävelytestissä koehenkilöitä kuormitettiin nousevalla kuormituksella LIITE RY:n (1998) ohjeiden mukaan siten, että lähtökuorma vastasi teoreettisena hapenkulutuksena $26 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ja kuormitusta nostettiin teoreettisena hapenkulutuksena $6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Balke & Ware 1959). Kunkin kuorman kesto oli kolme minuuttia, jonka alusta 15 – 20 s ajan matto oli pysäytettynä verinäytteen ottamiseksi. Kuormitusta nostettiin kunnes koehenkilö uupui. Maksimaalisen hapenottokyvyn mittaus tapahtui SensorMedics 2900Z hengityskaasuanalysointilaitteella (SensorMedics Corporation, Yorba Linda, USA). Maksimihapenotoksi määritettiin korkein kolmen peräkkäisen 20 s mittausintervallin keskiarvo.

Antropometriset mittaukset suoritettiin ennen sauvakävelytestiä. Paino punnittiin digitaalilla vaa'alla (Dayton-vaaka Oy, Espoo, Suomi) lyhyissä urheiluhousuissa sukat jalassa. Ihopoimujen paksuus rasvaprosentin arvioimiseksi (Durnin & Womersley 1974) mitattiin seuraavista kohdista: biceps brachii, triceps brachii, subscapularis ja suprailiacca käyttämällä John Bull rasvapihtejä (British Indicators LTD, Englanti).

Laskimoverinäytteet otettiin koehenkilöiden istuessa tuolissa. Hemoglobiinin mittaamenetelmässä reagenssi sisältää pinta-aktiivista ainetta (dimetyyliaryylamiinioksidia) ja kaliumsyanidia. Pinta-aktiivinen aine rikkoo punasolun solukalvon ja denaturoi proteiinit. Kaliumsyanidi reagoi hemoglobiinista vapautuneen hemin kanssa, jolloin muodostuu värillinen liuos. Liuoksen absorbanssi mitataan kolorimetrisesti aallonpituudella 546 nm. Punasolujen määrittämisessä punasolut lasketaan ja niiden koko määritellään isovolumetrisen värjäyksen jälkeen punasolujen kulkiessa monokromaattisen lasersäteiden läpi. Hemoglobiini ja punasolumääritykset tehtiin Advia 120 verenkuvaa-analyysaattorilla (Bayer Diagnostics, New York, USA).

Plasmatilavuuden (PV) muutos laskettiin Greenleaf ym. (1979) kaavan mukaan:

$$\% \Delta PV = 100 \cdot (Hb_{pre} \cdot Hb_{post}^{-1} \cdot (1 - Hct_{post} \cdot 10^{-2}) \cdot (1 - Hct_{pre} \cdot 10^{-2})^{-1}) - 100,$$

jossa Hb on hemoglobiinkonsentraatio $g \cdot dl^{-1}$ ja Hct on punasolujen prosentuaalinen osuus koko verimäärästä.

11.4 Tilastollinen analyysi

Aineisto analysoitiin SPSS 8.0 for Windows ja Excel 97 -ohjelmilla. Tulokset esitetään keskiarvoina keskihajontoineen ($\bar{x} \pm kh$). Varianssien samankaltaisuus t-testissä testattiin Levenen testillä. Tutkimusjakson aikaisia muutoksia testattiin toistettujen mittausten ANOVA:lla ja ryhmien väliset erot koko tutkimusjakson aikana testattiin MANOVA:lla. Post hoc testinä käytettiin Bonferronia. Ryhmien väliset erot kullakin mittauskerralla testattiin kaksisuuntaisella riippumattomalla t-testillä. Tilastolliseksi merkitsevyystasoksi kaikkiin testeihin valittiin $p < 0.05$.

12 TULOKSET

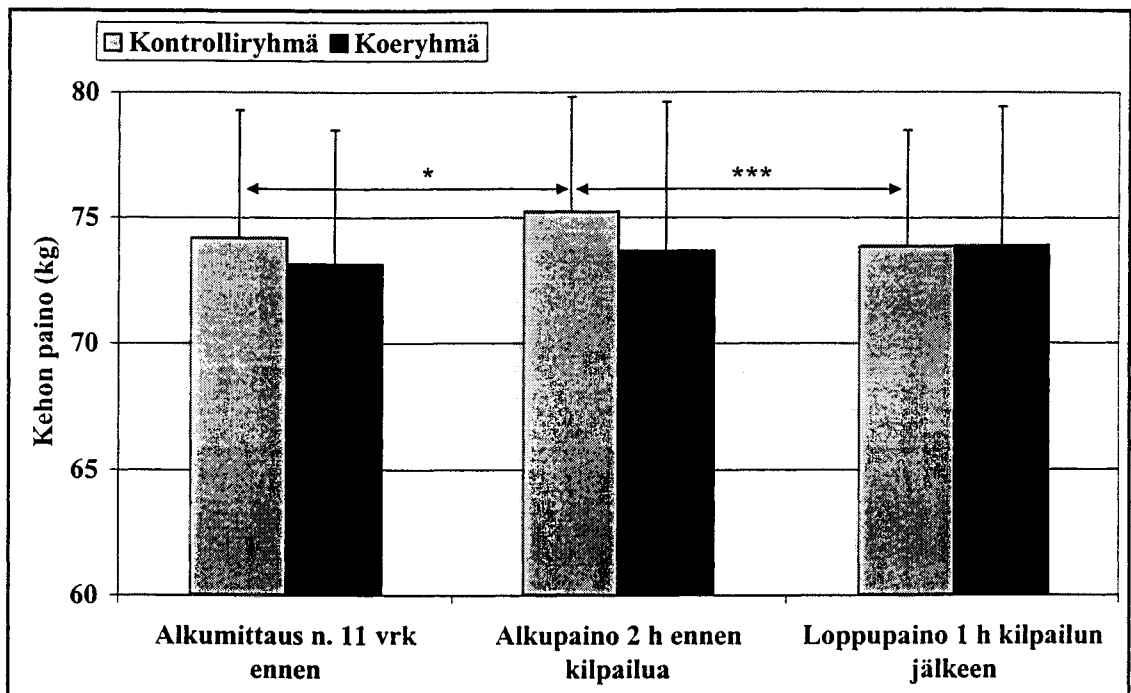
Hiihtoaajassa ei ollut eroa ryhmien välillä (Taulukko 4). Koeryhmä joi litran urheilujuomaa kahden tunnin aikana ennen kilpailua. Kilpailua edeltävää verinäytettä ennen koehenkilöt olivat juoneet keskimäärin kuusi desilitraa ja ennen 15 minuuttia maaliintulon jälkeen otettua verinäytettä he olivat juoneet keskimäärin 1.5 litraa. Virtsaamisen määrä oli suurempi ($p < 0.05$) koeryhmällä ennen kilpailua, mutta kilpailun jälkeen eroa ei ollut.

TAULUKKO 4. Hiihtoaika, juodun urheilujuoman määrä ja virtsaamisen määrä.

	Koeryhmä (N = 9)	Kontrolli- ryhmä (N = 9)	Ero ryhmien välillä (p=)
Hiihtoaika 11.5 km (min:s)	29:59 ± 1:18	29:52 ± 0:55	0.446
Juomisen määrä (kumulatiivinen, L)			
60 min ennen kilpailua	0.6 ± 0.2	0.0	
Välittömästi ennen kilpailua	1.0 ± 0.0	0.0	
15 min jälkeen kilpailun	1.5 ± 0.2	0.0	
60 min jälkeen kilpailun	2.0 ± 0.0	0.0	
Virtsan määrä (kumulatiivinen, L)			
60 min ennen kilpailua	0.18 ± 0.34	0.01 ± 0.02	0.146
Välittömästi ennen kilpailua	0.42 ± 0.33	0.15 ± 0.17	0.047
15 jälkeen kilpailun	0.42 ± 0.33	0.16 ± 0.17	0.052
60 min jälkeen kilpailun	0.42 ± 0.33	0.18 ± 0.16	0.070

Kuviosta 1 nähdään, että kummankin ryhmän kehon paino oli koepäivän aamuna korkeampi kuin alkumittauksissa, koeryhmän painon nousu ei tosin ollut tilastollisesti merkitsevä. Kokeen aikana urheilujuoman nauttiminen vaikutti siten, että koeryhmän paino pysyi samana mittausten alusta loppuun, kun samana aikana kontrolliryhmän paino laski 1.4 ± 0.5 kg ($p < 0.001$). Hikoilun määrässä (loppupaino - juominen + virtsaaminen -

alkupaino) ei ollut ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevää eroa (koeryhmä -1.2 ± 0.3 kg ja kontrolliryhmä -1.4 ± 0.5 kg, $p = 0.385$).

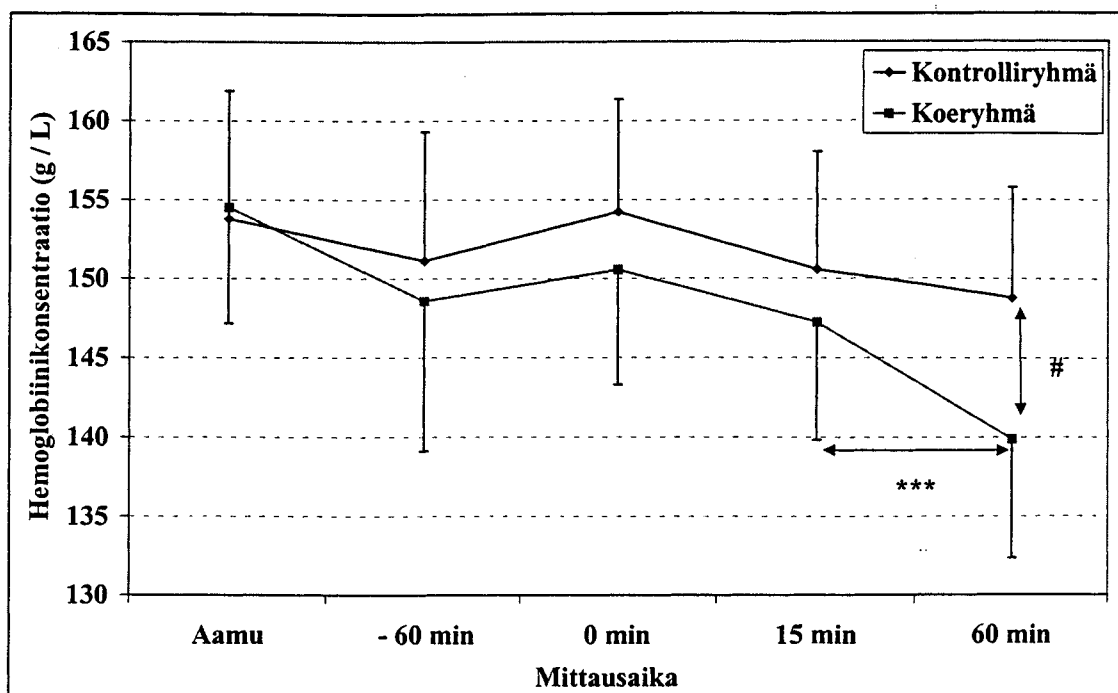


Ero mittausten välillä: * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

KUVIO 1. Kehon paino alkumittauksissa sekä kokeen alussa ja lopussa

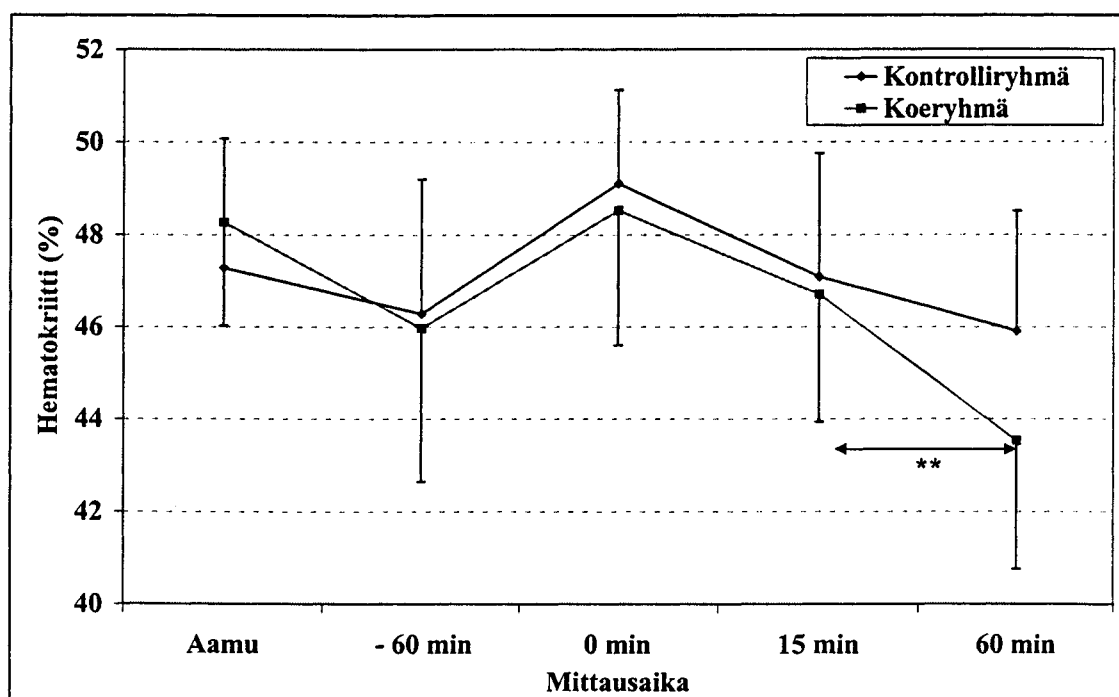
Hemoglobiinikonsentraation ja hematokriitin muutokset.

Kuvioista 2 ja 3 näkyvät muutokset hemoglobiinikonsentraatiossa ja hematokriitissä. Ryhmät eivät eronneet toisistaan Hb:n ja Hkr:n suhteen aamulla eli koe- ja kontrolliryhmät olivat näiden muuttujien suhteen samanlaiset. Koeryhmän Hb oli tunti kilpailun jälkeen merkitsevästi alempi kuin kontrolliryhmän. Hematokriitti laski koeryhmällä enemmän kuin kontrolliryhmällä välillä 15 – 60 min jälkeen kilpailun (-6.8 ± 2.9 % vs -2.5 ± 2.5 %).



Ero ryhmien välillä: # $p < 0.05$, ero muutoksessa ryhmien välillä *** $p < 0.001$

KUVIO 2. Hemoglobiinkonsentraation muuttuminen.

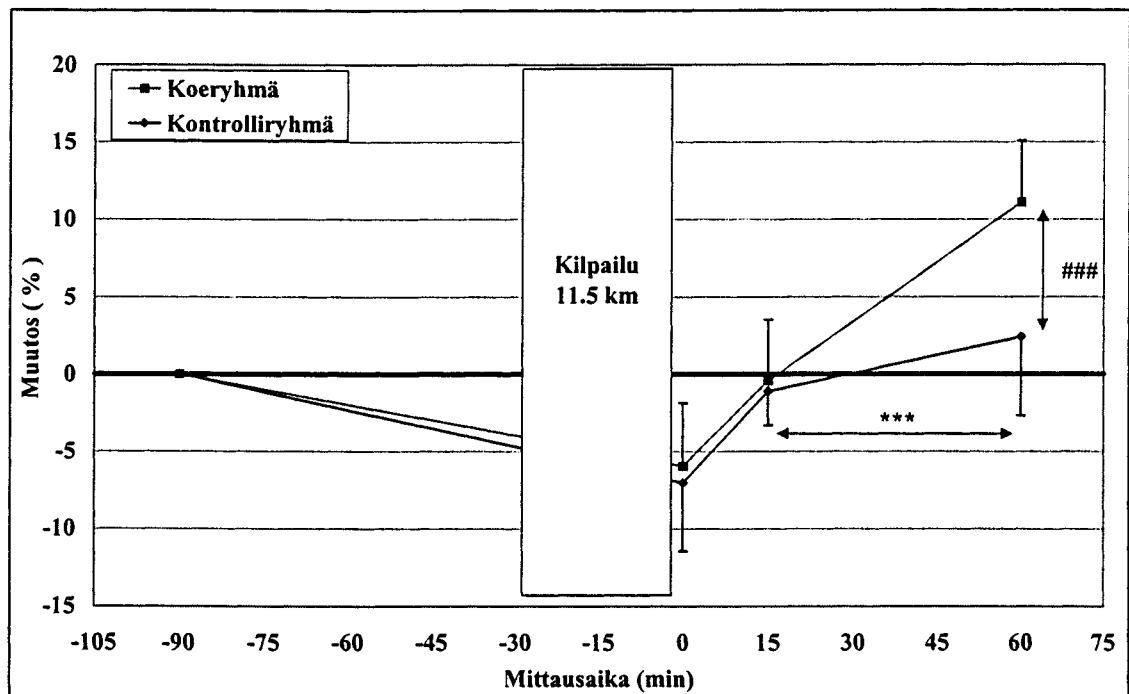


Ero muutoksessa ryhmien välillä ** $p < 0.01$

KUVIO 3. Hematokriitin muuttuminen.

Plasmatilavuuden muutos

Kuviossa 4 näkyy plasmatilavuuden muutos kilpailun aikana ja sen jälkeen. Plasmatilavuus laski kilpailun aikana koeryhmällä 6.0 ± 4.1 % ja kontrolliryhmällä 7.1 ± 4.4 %. Kilpailua seuraavan 15 minuutin aikana plasmatilavuus palasi kilpailua edeltävälle tasolle. Seuraavan 45 minuutin aikana koeryhmän plasmatilavuus kasvoi 11.1 ± 4.0 % ja kontrolliryhmällä 2.4 ± 5.1 %. Koeryhmän plasmatilavuuden kasvu oli merkitsevästi ($p < 0.001$) suurempi kuin kontrolliryhmän. Kontrolliryhmän plasmatilavuus ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi kilpailua edeltäneestä plasmatilavuudesta ($p = 0.195$).



Ero ryhmien välillä: ### $p < 0.001$, ero muutoksessa ryhmien välillä *** $p < 0.001$

KUVIO 4. Plasmatilavuuden muutos kilpailun aikana ja sen jälkeen

13 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia urheilujuoman nauttimisen vaikutusta plasmatilavuuteen hiihtokilpailun jälkeen. Plasmatilavuus laski kuormituksen aikana, mutta palasi kuormitusta edeltävälle tasolle jo 15 min kuormituksen jälkeen, riippumatta siitä nautittiinko urheilujuomaa vai ei. Tutkimuksen päätulos on, että plasmatilavuus kasvoi kuormitusta seuraavan tunnin aikana yli lähtötason, kun nautittiin urheilujuomaa.

Laskimoveren hemoglobiinin ja hematokriitin muutosten mittaaminen on vakiintunut tapa plasmatilavuuden muutosten laskemiseksi. Punasoluja ja hemoglobiinia ei poistu verisuonistosta plasman liikkeiden mukana. Tällöin lisäys hematokriittiarvossa ja hemoglobiinikonsentraatiossa heijastaa plasmatilavuuden laskua. Laskettaessa plasmatilavuuden muutos ($\% \Delta PV$) pelkästään hematokriitin avulla tehdään kolme oletusta: 1) verenkierrossa olevien punasolujen tilavuus pysyy vakiona, 2) koko veren hematokriitin ja laskimoveren hematokriitin suhde pysyy samana ja 3) punasolujen koko pysyy vakiona. Liittämällä hemoglobiinikonsentraatio osaksi laskutoimitusta voidaan eliminoida mahdolliset punasolujen koon muutoksien aiheuttamat virheet laskettaessa plasmatilavuuden muutosta. (Greenleaf ym. 1979; Harrison ym. 1975; Rotstein ym. 1998; van Beaumont ym. 1972.)

Plasmatilavuus tulee mitata aina samassa asennossa, sillä Hkr ja Hb vaihtelevat riippuen kehon asennosta. Tässä tutkimuksessa mittaus suoritettiin aina istuvassa asennossa. Jimenezin ym. (1999) tutkimuksessa 30 minuutin seisominen laski plasmatilavuutta 10.0 % verrattuna makuuasentoon, mutta istumisella ei ollut vaikutusta (- 0.2 %). Plasmatilavuuden muutoksiin vaikuttaa myös kuormituksen intensiteetti (Harrison 1985). Myös harjoitustaustalla on vaikutusta, sillä urheilijoilla on kehon nestemäärä suurempi kuin harjoittelemattomilla (Sawka ym. 1992). Tässä tutkimuksessa kuormituksena oli 11.5 km hiihtokilpailu ja koehenkilöinä hyvin harjoitelleita hiihtäjiä ($VO_{2max} 66 \pm 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Suoritusmotivaatiota pyrittiin lisäämään antamalla voittajalle palkinnoksi sykemittari. Tämä kilpailu oli ensimmäinen osa kolmen kilpailun sarjasta, jonka perusteella suoritettiin palkinto annettiin. Kaikkien kilpailijoiden kannatti siis yrittää maksimaalisesti, jotta ero voittajaan pysyisi mahdollisimman pienenä ennen seuraavia kilpailuja. Lisäksi yksi sykemittari arvottiin osallistujien kesken. Näin pyrittiin varmistamaan

maksimaalinen kilpailusuoritus kaikilta koe- ja kontrollihenkilöiltä. Ryhmät eivät eronneet alkumittauksissa toisistaan maksimaalisen hapenottokyvyn suhteen ja itse hiihtokilpailussakaan ryhmien välillä ei ollut eroa, joten näillä tekijöillä ei liene ollut vaikutusta ryhmien välisiin eroihin.

Tässä tutkimuksessa käytetyn protokollan aiheuttamat muutokset plasmatilavuudessa olivat samansuuntaisia kuin tutkimuksissa, joissa on käytetty maksimaalista pyöräergometri- tai juoksumattokuormitusta. Plasmatilavuuden lasku kuormituksen aikana (- 6.0 % koeryhmällä, - 7.1 % kontrolliryhmällä) on yhdenmukainen kirjallisuudessa esitettyjen muutosten kanssa. (Fortney ym. 1988; Novosadova 1977; Rocker ym. 1989; Rotstein ym. 1982; Senay ym. 1980; Wilkerson ym. 1977.)

Plasmatilavuuden lasku fyysisen kuormituksen aikana johtuu sekä nesteen menetyksestä hikoilun ja hengitysteiden kautta, että veden siirtymisestä verisuonistosta sen ulkopuolelle (Wells ym. 1987; Verstappen 1989). Nesteen siirtyminen verisuoniston sisältä ulkopuolelle tapahtuu pääasiassa kuormituksen alussa ja on suhteessa kuormituksen intensiteettiin (Wilkerson ym. 1977).

Plasmatilavuuden lasku kuormituksen aikana johtuu todennäköisesti lisääntyneestä plasman osmoottisesta paineesta ja paikallisesta kapillaarien hydrostaattisesta paineesta, joka saattaa johtua lisääntyneestä soluvälitilan hydrostaattisesta paineesta ja aktiivisten lihasten soluvälitilan onkoottisesta paineesta. (Jacobs ym. 1983; Rocker ym. 1989; Rotstein 1982.) Kuormituksen aikana plasmatilavuuteen voi vaikuttaa metabolinen veden tuotto, glykogeenista vapautuva vesi ja lihaksista vapautuva vesi (Sawka ym. 1992). Osa tutkijoista on havainnut plasman proteiinkonsentraation lisääntyvän kuormituksen aikana. Plasmatilavuuden muutoksen on osoitettu korreloivan voimakkaasti proteiinkonsentraation muutokseen. (Kargotich ym. 1997; Novosadova 1977).

Kuormitusta seuranneen 15 minuutin aikana nesteen paluu verisuonistoon aiheutti sen, että plasmatilavuus kasvoi koeryhmällä 6.5 % ja kontrolliryhmällä 6.0 %. Seuraavan 45 minuutin aikana plasmatilavuus kasvoi koeryhmällä enemmän (11.6 % vs 3.5 %) kuin kontrolliryhmällä. Kuormituksen jälkeinen plasmatilavuuden nousu verrattuna kuormitusta edeltäneeseen plasmatilavuuteen oli myös yhdenmukainen kirjallisuuden kanssa. Nesteen palautumista verisuonistoon säätelevät voimat, jotka määräävät kapillaarien

läpi tapahtuvan nestevirtauksen. On esitetty, että inaktiivisten lihasten laskenut verenvirtaus ja plasman lisääntynyt onkoottinen paine fasilitoivat plasmatilavuuden palautumista kuormituksen jälkeen (Fortney ym. 1988; Harrison ym. 1975; Senay ym. 1980; Wilkerson ym. 1977).

Muutokset transkapillaarisissa voimissa vaikuttavat niin, että nesteen palautuminen verenkiertoon voi olla erilaista eri kudoksissa. Kuormituksessa aktivoituneessa lihaksessa transkapillaarinen onkoottinen paine-ero on samanlainen ennen ja jälkeen kuormituksen ja ei siis vaikuta nesteen säilymisessä verisuonistossa. (Mack ym. 1998). Kuitenkin transkapillaarisen hydrostaattisen painegradientin lasku luurankolihaaksissa kuormituksen jälkeen viittaa pieneen lisäykseen soluvälitilanesteen paineessa, joka puolestaan suosii nesteen liikettä verisuonistoon kuormituksen jälkeen. Soluvälitilan nestepaineen nousu todennäköisesti lisää nesteen ja proteiinien lymfaattista paluuta verisuonistoon. (Auckland ym. 1993.)

Kehon painosta (kuvio 1) ja Hb-konsentraatiosta (kuvio 2) ja hematokriitista (kuvio 3) nähdään, että ryhmien nesteytystila oli samanlainen ennen koetta. Koeryhmän painon muutos ($+0.3 \pm 0.6$ kg) erosi merkitsevästi ($p < 0.001$) kontrolliryhmän painon muutoksesta (-1.4 ± 0.3 kg), mutta jos otetaan huomioon juodun nesteen ja erittyneen virtsan määrä, on hikoilu ollut kummallakin ryhmällä yhtä voimakasta (koeryhmä -1.2 ± 0.3 kg ja kontrolliryhmä -1.4 ± 0.5 kg, $p = 0.385$). Kilpailun aikaiset olosuhteet olivat vakiot ja kaikki hiihtivät lycra-hiihtopuvussa, jonka alla oli ohut alusasus. Kontrolliryhmänkin plasmatilavuus palautui ennalleen siitä huolimatta, että heidän painonsa laski 1.4 kg. Plasmatilavuuden palautuminen täytyy siis tapahtua soluvälitilan nesteen ja intrasellulaarisen nestetilavuuden kustannuksella. Mack ym. (1998) havaitsivat suorituksen jälkeen laskun transkapillaarisessa hydrostaattisessa painegradientissa eli soluvälitilanesteen paine nousi kuormitetussa lihaksessa.

Urheilujuoman nauttinut ryhmä ei tässä tutkimuksessa pystynyt parempaan suoritukseen kuin kontrolliryhmä. Kumpikin ryhmä käytti 11.5 km matkaan keskimäärin noin puoli tuntia. ACSM (1996) suosittelee, että optimaalisen hydraatiotilan saavuttamiseksi nestettä tulisi nauttia kuormitusta edeltävän kahden tunnin aikana 400 – 600 mL ja kuormituksen aikana yhtä paljon kuin nestettä menetetään. Kuitenkin tässä tutkimuksessa

kontrolliryhmän plasmatilavuus käyttäytyi ennen kuormitusta ja välittömästi sen jälkeen samalla tavalla kuin koeryhmällä. Suorituksen jälkeen plasmatilavuus palautui 15 minuutissa kuormitusta edeltävälle tasolle, vaikka kontrolliryhmä oli ollut nauttimatta nestettä edelliset neljä tuntia.

Kummassakaan ryhmässä ei yhdenkään urheilijan hemoglobiinikonsentraatio ylittänyt FIS:n asettamia rajoja. Korkein yksittäinen arvo oli $168 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ juomattomien ryhmässä ja $166 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ juoneiden ryhmässä. Kumpikin arvo mitattiin välittömästi kilpailun jälkeen. Tunti ennen kilpailua korkeimmat arvot olivat $167 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ kummassakin ryhmässä. Juomattomuus ennen kilpailua ja sen jälkeen ei siis vaikuta hemoglobiinikonsentraatioon niin, että olisi vaarana saada väärä positiivinen tulos hemoglobiinitestissä kilpailun jälkeen.

Tutkimuksen päätulos oli se, että plasmatilavuuden säilymisen kannalta ei siis ole välttämätöntä nauttia urheilujuomaa, jos suorituksen kesto on noin 30 minuuttia, mutta plasmatilavuuden kasvu suorituksen jälkeen jatkuu voimakkaampana, mikäli urheilujuomaa nautitaan. Tämä tutkimus ei kuitenkaan kerro mitä tapahtuu pitempikestoisen suorituksen aikana, jos urheilujuomaa nautitaan tai sitä ei nautita, joten lisätutkimusta tarvitaan.

LÄHTEET

- American College of Sports Medicine (1996). Position Stand: Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 28: i – vii.
- Akgun, N., Targaroglu, N. Dursoy, F. & Kocaturk, E. (1974) The relationship between the changes in physical fitness and in total blood volume in subjects having regular and measured training. *Journal of Sports Medicine*, 14, 73 – 77.
- Allen, M. E., Tully, B. S. G. & Bieling, A. M. (1991). Plasma volume expansion following mild aerobic exercise. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, 3, 157 – 163.
- Aukland, K. & Reed, R. K. (1993). Interstitial-lymphatic mechanisms in the control of extracellular fluid volume. *Physiological Reviews*, 73, 1 – 78.
- Bjerkhoel, P. Lindgren, P. & Lundvall, J. (1995). Protein loss and capillary protein permeability in dependent regions upon quiet standing. *Acta Physiologica Scandinavica*, 154, 311 - 320.
- Brandenberger, G., Candas, V., Follenius, V. & Kahn, J. M. (1989) The influence of the initial state of hydration on endocrine responses to exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 58, 674 – 679.
- Burge, C. M. & Skinner, S. L. (1995). Determination of hemoglobin mass and blood volume with CO: evaluation and application of a method. *Journal of applied physiology*, 79, 623 – 631.
- Böning, D., Skipka, W., Heedt, P. & Tibes, U. (1979). Effects and post-effects of two-hour exhausting exercise on composition and gas transport function of blood. *European Journal of Applied Physiology*, 42, 117 - 123.
- Candas, V., Libert, J. P., Brandenberger, G., Sagot, J. C. & Amoros, C. (1986). Hydration during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 113 - 122.
- Celsing, F., Nyström, J., Pihlstedt, P. Werner, B. & Ekblom, B. (1986) Effect of long-term anemia and retransfusion on central circulation during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 61, 1358 – 1362.
- Celsing, F., Svedenhag, J. Pihlstedt & Ekblom, B. (1987). Effects of anemia and step-wise induced polycythemia on maximal aerobic power in individuals with high and low haemoglobin concentrations. *Acta Physiologica Scandinavica*, 129, 47 – 54.

- Claremont, A. D., Costill, D. L., Fink, W. & Van Handel, P. (1976). Heat tolerance following diuretic induced dehydration. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 8, 239 – 243.
- Convertino, V. A., Greenleaf, J. E. & Bernauer, E. M. (1980). Role of thermal and exercise factors in the mechanism of hypervolemia. *Journal of Applied Physiology*, 48, 657 – 664.
- Convertino, V. A. (1983). Heart rate and sweat rate responses associated with exercise-induced hypervolemia. *Medicine and science in sport and exercise*, 15, 77 - 82.
- Convertino, V. A., Keil, L. C. & Greenleaf, J. E. (1983). Plasma volume, renin and vasopressin responses to graded exercise after training. *Journal of Applied Physiology*, 54, 508 – 514.
- Convertino, V. A. (1991). Blood volume: it's adaptation to endurance training. *Medicine and science in sport and exercise*, 23, 1338 – 1348.
- Costill, D. L. & Sparks, K. E. (1973). Rapid fluid replacement following thermal dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 34, 299 – 303.
- Costill, D. L., Branam, G, Finck, W. & Nelson, R. (1976). Exercise induced sodium conservation: changes in plasma renin and aldosterone. *Medicine and science in sports*, 8, 209 – 213.
- Coyle, E. F. & Coggan, A. R. (1984). Effectiveness of carbohydrate feeding in delaying fatigue during prolonged exercise. *Sports Medicine*, 1, 446 – 458.
- Coyle, E. F., Hemmert, M. K. & Coggan, A. R. (1986). Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: role of blood volume. *Journal of Applied Physiology*, 60, 95 – 99.
- Davidson, R. J. L., Robertson, J. D., Galea, G. & Maughan, R. J. (1987). Heatological changes associated with marathon running. *International journal of Sports Medicine*, 8, 19 – 25.
- Dengel, D. R., Weyand, P. G., Black, D. M. & Cureton, K. J. (1992). Effect of varying levels of hypohydration on responses during submaximal cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 1096 – 1101.
- Deschamps, A., Levy, R. D., Cosio, M. G., Marliss, E. B. & Madger, S. (1989). Effect of saline infusion on body temperature and endurance during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 66, 2799 – 2804.

- Dickson, D. N., Wilkinson, R. L. & Noakes, T. D. (1982). Effects of ultramarathon training and racing on hematologic parameters and serum ferritin levels in well-trained athletes. *International journal of Sports Medicine*, 3, 11 – 17.
- Diehl, D. M., Lohman, T. G., Smith, S. C. & Kertzer, R. (1986). Effects of physical training and competition on the iron status of female field hockey players. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 264 – 270.
- Dill, D. B. & Costill, D. L. (1974) Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma and red cells in dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 37, 247 – 248.
- Dressendorfer, R. H. & Wade, C. E. (1981). Development of pseudoanemia in marathon runners during a 20-day road race. *Journal of the American Medical Association*, 246 (11), 1215 – 1218.
- Durning, J. & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition*, 32, 73 – 92.
- Ekblom, B. Goldberg, A. N. & Gullbring, B. (1972). Response to exercise after blood loss and reinfusion. *Journal of Applied Physiology*, 33, 175 – 180.
- El-Sayed, M. S., Davies, B. & Morgan, D. B. (1990). Vasopressin and plasma volume response to submaximal and maximal exercise in man. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 30, 420 – 425.
- Ertl, A. C., Bernauer, E. D. & Hom, C. A. (1991). Plasma volume shifts with immersion at rest and two exercise intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 450 – 457.
- Fellmann, N., Bedu, M., Giry, J. Pharmakis-Amadiou, M. & Bezou, M. J. (1989). Hormonal, fluid and electrolyte changes during a 72-h recovery from a 24-h endurance run. *International Journal of Sports Medicine*, 10, 406 – 412.
- Fellmann, N. (1992). Hormonal and plasma volume alterations following endurance exercise. *Sports Medicine*, 13, 37 – 49.
- Fortney, S. M. & Senay, L. C. (1979). Effect of heat acclimation on exercise responses of sedentary females. *Journal of Applied Physiology*, 47, 978 - 984.
- Fortney, S. M., Nadel, E. R., Wenger, C. B. & Bove, J. R. (1981). Effect of acute alterations of blood volume on circulatory performance. *Journal of Applied Physiology*, 50, 292 – 298.

- Fortney, S. M., Wenger, C. B. & Bove, J. R. & Nadel, E. R. (1984). Effect of hyperosmolality on control of blood flow and sweating. *Journal of Applied Physiology*, 57, 1688 – 1695.
- Fotrney, S. M., Vroman, N. B., Beckett, W. S., Permutt, S., LaFrance, N.D. (1988). Effect of hemoconsentration and hyperosmolality on exercise responses. *Journal of Applied Physiology*, 65, 519 – 524.
- Freund, B. J. Claybaugh, J. R. & Dice, M. S. (1987). Hormonal and vascular fluid responses to maximal exercise in trained and untrained males. *Journal of Applied Physiology*, 63, 669 - 675.
- Freund, B., Wade, C. E. & Claybaugh, J. R. (1988). Effects of exercise on atrial natriuretic factor release: mechanisms and implications for fluid homeostasis. *Sports Medicine*, 6, 364 – 376.
- Gaebelein, C. J. & Senay, L.C. (1980). Influence of exercise type, hydration and heat on plasma volume shifts in men. *Journal of Applied Physiology*, 49, 119 – 123.
- Geyssant, A., Geelin, G., Denis, C., Allevard, A. M., Vincent, M., Jarsaillon, E., Bizolion, C. A., Lacour, J. R. & Gharib, C. L. (1981). Plasma vasopressin, renin activity and aldosterone: effect of exercise and training. *European Journal of Applied Physiology*, 46, 21 – 30.
- Gillen, C. M., Lee, R. & Mack, G. W. (1991). Plasma volume expansion in humans after a single intense exercise protocol. *Journal of Applied Physiology*, 71, 1914 – 1920.
- Gillen, C. M., Nishiyasu, T., Langhans, G., Weseman, C., Mack, G. W. & Nadel, E. R. (1994). Cardiovascular and renal function during exercise-induced blood volume expansion in humans. *Journal of Applied Physiology*, 76, 2602 – 2610.
- Glass, H. I., Edwards, R. H. T, De Garreta, A. C. & Clark, J. C. (1969). CO red cell labeling for blood volume and total hemoglobin in athletes: effect of training. *Journal of Applied Physiology*, 26 (1), 131 – 134.
- Gonzales-Alonso, J., Heaps, C. L. & Coyle, E. F. (1992). Rehydration after exercise with common beverages and water. *International Journal of Sports Medicine*, 13, 399 – 406.
- Gore, C. J., Scroop, G. C., Marker, J. D. & Catchside, P. G. (1992). Plasma volume, osmolarity, total protein and electrolytes during treadmill running and cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 65, 302 – 310.

- Green, H. J., Thomson, J. A., Ball, M. E., Hughson, R. L. & Houston, M. E. (1984). Alterations in blood volume following short-term supramaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 56, 145 – 149.
- Green, H. J., Jones, L. J., Hughson, R. L., Painter, D. C. & Farrance, B. W. (1987). Training induced hypervolemia: lack of an effect on oxygen utilisation during exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 19, 202 – 206.
- Green, H.J. Sutton, J. R. & Coates, G. (1991). Response of red cell and plasma volume to prolonged training in humans. *American Journal of Physiology*, 70, 1810 – 1815.
- Greenleaf, J. E, Convertino, V. A. & Mangseth, J. R.. (1979). Plasma volume during stress in man: osmolality and red cell volume. *Journal of Applied Physiology*, 47, 1031 – 1038.
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. (1996). *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Hagan, R. D., Diaz, F. J. & Horvath, S. M. (1978). Plasma volume changes with movement to supine and standing positions. *Journal of Applied Physiology*, 414 - 418.
- Harrison, M. H., Edwards, R. J. & Leitch, D. R. (1975). Effect of exercise and thermal stress on plasma volume. *Journal of Applied Physiology*, 39, 925 – 931.
- Harrison, M. H. (1985). Effects of thermal stress and exercise on blood volume in humans. *Physiological Reviews*, 65, 149 – 209.
- Harrison, M. H. (1987). Fluid balance as a limiting factor for exercise. Teoksessa: Macleod, D., Nimmo, M., Reilly, T. & Williams, C. (toim.) *Exercise benefits, limits and adaptations*. London, 367 – 383.
- Hasibeder, W., Schobersberger, W. & Mairbaurl, H. (1987). Red cell oxygen transport before and after short term maximal swimming in dependence on training status. *International Journal Of Sports Medicine*, 8, 105 – 108.
- Haskell, A. Nadel, E. R., Stachenfeld, N. S., Nagashima, K. & Mack, G. W. (1997). Transcapillary escape rate of albumin in humans during exercise induced hypervolemia. *Journal of Applied Physiology*, 83, 407 – 413.
- Haythorn, P. & Sheeham, M. (1979). Improved centrifugal analyser assay of albumin. *Clinical Chemistry*, 25, 194 – 196.
- Hopper, M. K., Coggan, A. R. & Coyle, E. F. (1988). Exercise stroke volume relative to plasma volume-expansion. *Journal of Applied Physiology*, 64, 404 – 408.

- Irving, R. A., Noakes, T. D. & Burger, S.C. (1990) Plasma volume and renal function during and after ultramarathon running. *Medicine and science in sport and exercise*, 22, 581 – 587.
- Jacobs, I. (1980). The effects of thermal dehydration on performance of the Wingate anaerobic test. *International Journal of Sports Medicine*, 1, 21 – 24.
- Jacobs I., Bar-Or., Dotan, R., Karlsson, J. & Tesch, P. (1983). Changes in muscle ATP, CP, glycogen and lactate after performance of the Wingate anaerobic test. *Teoksessa: Biochemistry of exercise. Human Kinetics Publishers, Champaign Illinois*, s. 234 – 238.
- Jimenez, C., Melin, B., Koulmann, N., Allevard, A.M. Launay, J. C. & Savorney, G. (1999). Plasma volume changes during and after acute variations of body hydration level in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 80, 1 – 8.
- Kargotich, S., Goodman, C. & Keast, D. (1997). The influence of exercise-induced plasma volume changes on the interpretation of biochemical data following high intensity exercise. *Clinical Sports Medicine*, 7 (3), 185 - 191.
- Kargotich, S., Goodman, C., Keast, D. & Morton, A. (1998). The influence of exercise-induced plasma volume changes on the interpretation of biochemical parameters used for monitoring exercise, training and sport. *Sports Medicine*, 26 (2), 101 – 117.
- Karvonen, J. & Saarela, J. (1976). Hemoglobin changes and decomposition of erythrocytes during 25 hours following a heavy exercise run, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 16, 171- 176.
- Kolka, M. A., Stephenson, L. A. & Wilkerson, J. E. (1982). Erythrocyte indices during competitive marathon. *Journal of Applied Physiology*, 58, 168 – 172.
- Konstam, M. A., Tumeh, S., Wynne, J. Beck, J. R. & Kozlowski, J. (1982). Effect of exercise on erythrocyte count and blood activity concentration after technetium-99m in vivo red cell labeling, *Circulation*, 66, 638 – 642.
- Kowalchuk, J. M., Heigenhauser, G. J. F., & Lidinger, M. I. (1988). Factors influencing hydrogen ion concentration in muscle after exercise. *Journal of Applied Physiology*, 65, 2080 - 2089.
- Kraemer, R. R. & Brown, B. S. (1986). Alterations in plasma volume-corrected blood components of marathon runners and concomitant relationship to performance. *European Journal of Applied Physiology* (1986), 55, 579 – 584.

- Lamb, D. R. & Borodowicz, G. R. (1986). Optimal use of fluids of varying formulations to minimise exercise-induced disturbances in homeostasis. *Sports Medicine*, 3, 247 – 274.
- LIITE RY (1999). Kestävyyssominaisuuksien testaaminen. Kansiossa: Kuntotestauksen perusteet, Liikuntalääketieteen- ja testaustoiminnan edistämisyhdistys, Helsinki, 10 – 62.
- Luetkemeier, M. J. & Thomas, E. L. (1994). Hypervolemia and cycling time trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 503 – 509.
- Luetkemeier, M. J., Flowers, K. & Lamb, D. R. (1994). Spironolactone administration and training-induced hypervolemia. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 295 – 300.
- Luetkemeier, M. J. (1995). Dietary sodium intake and changes in plasma volume during short-term exercise training. *International journal of sports medicine*, 16, 435 – 438.
- Lundvall, J., Mellander, S., Westling, H. & White, T. (1972). Fluid transfer between blood and tissue during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 85, 258 – 269.
- Lundvall, J. & Bjerkhoel, P. (1994). Failure of hemoconcentration during standing to reveal plasma volume decline induced in the erect posture. *Journal of Applied Physiology*, 77, 2155 – 2162.
- Macek, M., Vavra, J. & Novosadova, J. (1976). Prolonged exercise in prepubertal boys. Changes in plasma volume and in some blood constituents. *European Journal of Applied Physiology*, 35, 299 – 303.
- Magazanik, A., Weinstein, Y., Dlin, R. A., Derin, M. & Schwartzman, S. (1988). Iron deficiency caused by 7-weeks of intensive physical exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 198 – 202.
- Maughan, R. J. (1991). Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. *Journal of Sports Sciences*, 9, 117 – 142.
- Maughan, R. J., Owen, J. H., Shirrefs, S. M. & Leiper, J. B. (1994). Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *European Journal of Applied Physiology*, 69, 209 - 215.
- Meszaro, J., Mohacsi, J. Petrekanits, M & Prokai, A. (1994). Changes in relative plasma volume during a short term laboratory exercise. *Kalokagathia: review of Hungarian University of Physical Education* 32 (2), 66 – 72.

- Milledge, J. S., Bryson, E. I., Catley, D. M., Hesp, R. & Luff, N. (1982). Sodium balance, fluid homeostasis and the renin-aldosterone system during the prolonged exercise of hill walking. *Clinical Science*, 62, 595 – 604.
- Murray, R. (1987). The effects of consuming carbohydrate-electrolyte beverages on gastric emptying and fluid absorption during and following exercise. *Sports Medicine*, 4, 322 – 351.
- Naveri, H. & Kuoppasalmi, K. (1985) Metabolic and hormonal changes in moderate and intense long-term running exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 276 – 281.
- Newhouse, I. J. & Clement, D. B. (1988). Iron status in athletes: an update. *Sports Medicine*, 5, 337 – 352.
- Noakes, T. D. Goodwin, N., Rayner, B. L., Branken, T. & Taylor, R. K. N. (1985). Water intoxication: a possible complication during endurance exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 17, 370 – 375.
- Nose, H, Mack, G. W., Shi, X. & Nadel, E. (1988). Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *Journal of Applied Physiology*, 65, 318 – 324.
- Nose, H. Takamata, A. & Mack, G. W. (1991). Water and electrolyte balance in the vascular space during graded exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 70, 2757 - 2762.
- Novosadova, J. (1977). The changes in hematocrit, hemoglobin, plasma volume and proteins during different types of exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 36, 223 – 230.
- Perrault, H. Cantlin, H., Thibault, G., Brisson, G. R. & Beland, M. (1989). Plasma atrial natriuretic peptide during brief upright and supine exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 66, 2159 – 2167.
- Ploutz-Snyder, L. L., Convertino, V. A. & Dudley, G. A. (1995), Resistance exercise induced fluid shifts: changes in active muscle size and plasma volume. *American Journal of Physiology*, 269, R536 – 543.
- Puhl, J. L. & Runyan, W. S. (1980). Hematological variations during aerobic training of college women. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 533 – 541.
- Ray, C. A., Cureton, K. J. & Ouzts, H. G. (1990). Postural specificity of cardiovascular adaptations to exercise training. *Journal of Applied Physiology*, 69, 2202 – 2208.

- Refsum, H. E., Jordfold, G. & Stromme, S. B. (1976). Hematological changes following prolonged heavy exercise. *Teoksessa: Medicine in Sport, Vol 9, Advances in exercise physiology. Toim. Jokl & Annand. Karger, Basel*, 91 – 99.
- Rendell, M. S. Kelly, S. T. & Bamisedun, O. (1993). The effect of increasing temperature on skin blood flow and red cell deformability. *Clinical Physiology*, 13, 235 - 245.
- Robertson, J. D., Maughan, R. J. & Davidson, R. J. L. (1988). Changes in red cell density and related indices in response to distance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57, 264 - 269.
- Rocker, L. Kirch, K. A., Heyduck, B. & Altenkirch, H. U. (1989). Influence of prolonged physical exercise on plasma volume, plasma proteins, electrolytes and fluid regulating hormones. *International Journal of Sports Medicine*, 10, 270 – 274.
- Rose, L. I., Carroll D. R., Lowe, S. L, Peterson, E. W. & Cooper, K. H. (1970). Serum electrolyte changes after marathon running. *Journal of Applied Physiology*, 29, 449 – 451.
- Rotstein, A., Bar-Or, O. & Dlin, R. (1982). Hemoglobin, hematocrit and calculated plasma volume changes induced by a short supramaximal task. *International Journal of Sports Medicine*, 3, 230 – 233.
- Rotstein, A., Falk, B., Einbinder, M. & Ziegel, L. (1998). Changes in plasma volume following intense intermittent exercise in neutral and hot environmental conditions. *Journal of Sports Medicine Physical Fitness*, 38, 24 – 29.
- Röcker, L. Kirsch, K. A. & Heyduck, B. (1989). Influence of prolonged physical exercise on plasma volume, plasma proteins, electrolytes and fluid regulating hormones. *International Journal of Sports Medicine*, 10, 270 - 274.
- Sawka, M. N., Hubbard, R. W., Francesconi, R. P. & Horstman, D. H. (1983). Effects of acute plasma volume expansion on altering exercise-heat performance. *European Journal of Applied Physiology*, 51, 303 – 312.
- Sawka, M. N., Francesconi, R. P., Pimental, N. & Pandolf, K. B. (1984). Hydration and vascular fluid shifts during exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 56, 91 – 6.
- Sawka, M. N. (1988). Body fluid responses and hypohydration during exercise-heat stress. *Teoksessa: Pandolf, K. B., Sawka, M. N. & Gonzales, R. R. Environ-*

- mental Medicine at Terrestrial Extremes. Indianapolis: Benchmark Press Inc., 227 – 66.
- Sawka, M. N. & Pandolf, K. B. (1990). Effects of body water loss on physiological function and exercise performance. Teoksessa: Gisolfi, C. V. & Lamb, D. R. (toim.) . Perspectives in exercise science and sports medicine. Vol 3, Fluid homeostasis during exercise. Carmel, Indiana: Benchmark Press, 1 – 31.
- Sawka, M. N., Young, A. J., Pandolf, K. B., Dennis, R. C. & Valeri, C. R. (1992). Erythrocyte, plasma, and blood volume of healthy young men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 447 – 53.
- Schmidt, W. Maassen, N., Trost, F. & Boening, D. (1988). Training induced effects on blood volume, erythrocytic turnover and haemoglobin oxygen binding properties. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57, 490 - 8.
- Schmidt, W. Maassen, N., Tegtburger, U. & Braumann, K. M. (1989). Changes in plasma volume and red cell formation after a marathon competition. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 58, 453 - 8.
- Seiler, D., Nagel, D., Franz, H., Hellstern, P. & Leitzmann, C. (1989). Effects of long-distance running on iron metabolism and hematological parameters. *International Journal of Sports Medicine*, 10, 357 – 362.
- Senay L. C. (1978). Early response of plasma contents on exposure of working men to heat, *Journal of Applied Physiology*, 44, 166 – 70.
- Senay L. C, Rogers, G. & Jooste, P. (1980). Changes in blood plasma during progressive treadmill and cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 19, 137 – 42.
- Senay L. C & Pivarnik, M. (1985). Fluid shifts during exercise. *Exercise & Sport Science Reviews*, 13, 335 – 87.
- Stephenson, L. A. & Kolka, M. A. (1988). Plasma volume during heat stress and exercise in women. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 373-81.
- Strauss, M. B., Davis, R. K., Rosenbaum, J. D. & Rossmeis, E. C. (1951). Water diuresis produced during recumbency by the intravenous infusion of isotonic saline solution. *Journal of Clinical Investigation*, 30, 862 – 8.
- Sullivan, W., Alejandro-De Leon, A., Heather, L. M., Jordan, R. & Gutin, B. (1993). Plasma volume changes in trained and untrained men during submaximal and maximal work. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, 4, 281 – 290.

- Szygula, Z. (1990). Erythrocytic system under the influence of physical exercise and training. *Sports Medicine*, 10 (3), 181 – 197.
- Van Beaumont, W. (1972) Evaluation of hemoconcentration from hematocrit measurements. *Journal of Applied Physiology*, 32, 712 – 3.
- Van Beaumont, W., Greenleaf, J. E. & Juhas, L. (1972). Disportional changes in hematocrit, plasma volume and proteins during exercise and bed rest. *Journal of Applied Physiology*, 33, 55 - 61.
- Van Beaumont, W. (1973). Red cell volume with changes in plasma osmolarity during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 35, 47 – 50.
- Verstappen, F. (1989). Fluid and thermal balance in sports. Teoksessa: Paavo Nurmi Congress book. The Finnish Society of Sports Medicine, Turku. 69 – 73.
- Videman, T., Lereim, I., Hemmingsson, P., Turner, S., Rousseau-Bianchi, M.-P., Jenoune, P. Raas, E., Schönhuber, H., Rusko, H. & Stray-Gundersen, J. (2000). *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 10, 98 – 102.
- Viinamäki, O. (1990). The effect of hydration status on plasma vasopressin release during physical exercise in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 139, 133 - 137.
- Webster, S. F., Rutt, R. A. & Weltman, W. (1990). Physiological effects of weight loss regimen practised by college wrestlers. *Medicine and Science in Sports and exercise*, 22, 229 – 34.
- Weichselbaum, T. E. (1946). An accurate and rapid method for the determination of proteins in small amounts of blood serum and plasma. *American Journal of Clinical Pathology*, 16, 40.
- Wells, C. L., Stern, J. R. & Hecht, L. H. (1982). Hematological changes following a marathon race in male and female runners. *European journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 48, 41 – 9.
- Wells, C. J., Stern, J. R., Kohrt, W. M. & Cambell, K. D. (1987). Fluid shifts with successive running and bicycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19, 137 – 42.
- Wilkerson, J. E., Gutin, B. & Horvath, S. M. (1977). Exercise induced changes in blood, red cell and plasma volumes in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 9, 155 – 8.

- Williams, E. S., Ward, M. P., Milledge, J. S., Withey, W. R. & Older, M. (1979). Effect of the exercise of seven consecutive days hill-walking on fluid homeostasis. *Clinical Science*, 56, 305 – 16.
- Zappe, D. H., Tankersley, G. Meister, T. G. & Kenney, W. L. (1993). Fluid restriction prior to cycle exercise: effects on plasma volume and plasma proteins. . *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 1225 - 30.
- Åstrand, P. O. & Saltin, B. (1964). Plasma and red cell volume after prolonged severe exercise. *Journal of Applied Physiology*, 19, 829 – 832.