

SAUNA JA NESTETASAPAINO

Esa Ahonen ja Unto Nousiainen

Saunominen vaikuttaa monin eri tavoin elimistön neste-, elektrolyytti- ja happo-emästasapainoon. Hikoilemisen ja sitä seuraavan janontunteen lisäksi saunomisen yhteydessä toimii joukko sisäisiä säätelymekanismeja, jotka huolehtivat elimistön nesteaitioiden välisistä suhteista ja verenkierron taroituksenmukaisesta jakautumisesta muuttuneissa olosuhteissa. Vaikka nestevajaus ei muodostukaan tavanomaisessa saunomisessa yleensä kovin suureksi, on sen korvaaminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa tarpeellista. Käytännössä tehokkainta ja miellyttävintä lienee nestevajauksen korvaaminen pienehköin, usein nautittavin juomaerin jo saunomisen yhteydessä ja jopa sitä ennen, jos saunomaan mennään hikiä liikuntasuorituksen jälkeen.

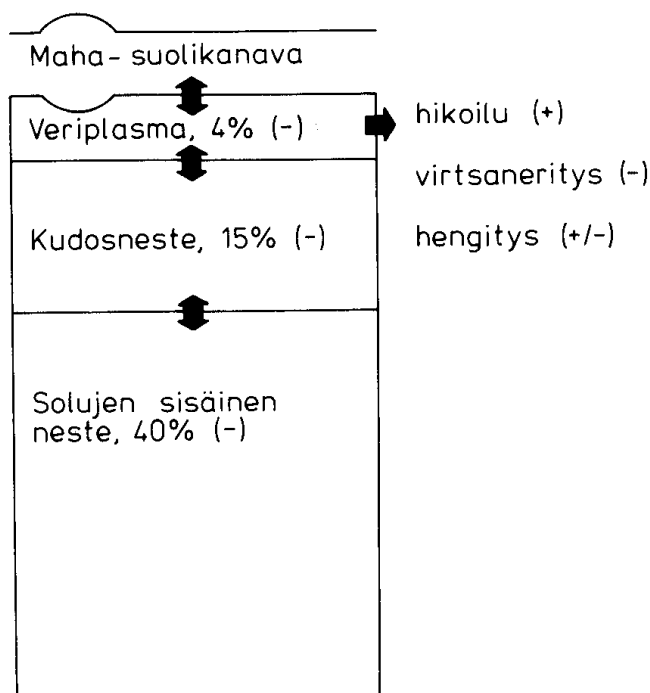
Saunojan ja saunan ominaisuudet sekä saunomistottumukset vaikuttavat nestetasapainon säätelyyn saunassa. Saunomisen vaikutukset riippuvat huomattavasti henkilön fyysisestä suoriutuvuudesta, kuumuuteen totumisesta ja nesteytystilasta. Sukupuolten välillä ei ole todettu merkitseviä eroja lämmön aiheuttamissa vasteissa, vaikka säätelymekanismeissa onkin eroja. Nestetasapainon muutokset saunassa johtuvat kohonneesta ilman lämpötilasta, saunan sisäosien säteilylämmöstä sekä ilman muuttuneesta kosteudesta ja liikenoudesta. Saunomisen kesto korreloi läheisesti nestetasapainon muutosten suuruuteen, joskin yksilölliset tottumukset muuttavat sekä elimistön reaktioita että niitä seuraavia vasteita.

Saunomisen vaikutuksista nestetasapainoon on olemassa yllättävän vähän tutkimustietoa. Urheilu- ja työlääkätieteen periaatteita voidaan

tosin soveltaa osittain myös saunomisen vaikutusten arviointiin.

NESTEAITIOT JA NESTETASAPAINO

Saunomisella on sekä lyhyt- että pitkäkestoisia vaikutuksia elimistön nestetasapainoon. Lämpökuormitus muuttaa jo muutamien minuuttien kuluessa veritilavuutta, mistä seuraa ohimenevä hemodiluutio tai -konsentraatio sen mukaan, kulkeutuuko nestettä verisuoniston sisälle vai sen ulkopuolelle (kuva 1). Tällöin elimistön painon ja kokonaisvesimäärän ei välttämättä vielä tarvitse muuttua lainkaan. Nesteen kulkeutumissuunta verenkierrossa riippuu kapillaariverkon toiminnasta ja sen muutoksista (Aukland ja Nicolaysen 1981). Nestetasapainon säätely kuumassa liittyy läheisesti verenkierron säätelyyn. Verenkierron



K u v a 1. Nesteaitiot ja niiden väliseen säätelyyn vaikuttavat tärkeimmät tekijät lämpökuormituksessa. (+) = lisääntyminen, (—) = vähentyminen. Prosenttiluvut ilmaisevat karkeasti kunkin nesteaition osuuden kehon kokonaispainosta (Nienstedt ym. 1987, mukailtu).

to jakautuu uudelleen siten, että ihon ja lihasten verenkierto lisääntyy, kun taas verenkierto munuaisten ja vatsa-alueen kautta vähentyy (Vuori ja Oja 1987, ks. Vuori, tässä numerossa). Eri-tyisesti splanknikusalueen verenkierrolla on huomattava kyky siirtää nestettä soluvälitilasta verenkiertoon tai päinvastoin.

Hemokonsentraation tai -diluution suuruus määräytyy solujenvälisen ja suonensisäisen nesteaition onkoottisen, osmoottisen ja hydrostaattisen tasapainotilan perusteella (Aukland ja Nicolaysen 1981). Lisäksi ihon ja sentraalisen lämpötilan muutokset säätelevät plasmatilavuutta. Jo viiden asteen suuruinen iholämpötilan muutos aiheuttaa muutamassa minuutissa huomattavan plasmatilavuuden muutoksen. Ihon laskimot reagoivat valtimoita herkemmin lämpötilamuutoksiin; ihon viilentyessä ne supistuvat ja lämmitessä laajenevat. Siten viileästä kuumaan siirryttäessä laskimot laajentuvat ensin kapillaaripaineen alentumisen vuoksi.

Sentraalisen lämpötilan nousu aiheuttaa tämän jälkeen myös valtimoiden laajentumisen, jolloin kapillaaripaineen noususta seuraa vuorostaan hemokonsentraatio. Yleensä veritilavuuden pienentyminen on sitä suurempi, mitä voimakkaampi on lämpökuormitus. Hypovolemia etenee kuitenkin vain tiettyyn rajaan, joka useissa eri tutkimuksissa on ollut noin 16—20 %:n suuruinen plasmatilavuuden pienenemä (Harrison 1985).

Nestetasapainon säätelyyn saunassa vaikuttaa oleellisesti kehon asento; onhan 70 % verimäärästä pystyasennossa sydämen tason alapuolella ja noin 75 % tästä verimäärästä venyväseinämissä laskimoissa. Jo pelkästään makuuasennosta pystyyn siirryttäessä kulkeutuu keskimäärin 500 ml verta jalkoihin. Samalla lämpöaltistuksella plasmatilavuuden pienenemä pystyasennossa on jopa 17 %, kun se vaaka-asennossa on vain 2 % (Diaz ym. 1979).

SÄÄTELYMEKANISMIT LÄMPÖKUORMITUKSESSA

Elimistö tasaa lämpökuormaa lisäämällä iho-verenkierron kautta välittyvää hikoilua. Saunomiseen liittyy siten verenkierron ja nesteaitioiden välinen uudelleen jakautuminen. Tämä mekanismi huolehtii elimistön sisäisen lämpötasapainon ylläpitämisestä. Taulukossa 1 on esitetty nestetasapainon muutoksiin vaikuttavat tärkeimmät tekijät saunomisen yhteydessä.

Kuumaan tottuminen vaikuttaa saunomisen fysiologisiin vasteisiin, jos saunominen toistuu useita kertoja viikossa. Lisääntynyt hikoilukyky mahdollistaa lämpötilan säätelyn alemmassa lämpötilassa kuin ennen tottumista (Shvartz ym. 1979). Elimistössä tapahtuu myös endokrinologisia muutoksia, joista seuraa hikirauhasten ja munuaisten kautta välittyvä natriumretentio (Allan ja Wilson 1971). Lisäksi suonensisäinen tilavuus lisääntyy solujenvälisen nesteaition tilavuuden kustannuksella (Harrison ym. 1981). Tähän hypervolemiaa liittyy myös hyperproteinemia, joka johtuu pääosin albumiinipitoisuuden lisää-

T a u l u k k o 1. Tärkeimmät nestetasapainon muutoksiin vaikuttavat tekijät saunomisen yhteydessä.

Saunojan ominaisuudet

Ikä
Elimistön rakenne
Kuumaan tottuminen
Fyysinen suorituskyky
Nesteytystila
Sairaudet ja lääkitys

Saunomisolosuhteet

Saunomisen kesto
Lämpötila
Ilman kosteus
Ilman liikkuvuus
Vilvoittelujaksot

tymisestä. Tämä saattaa olla seurausta liikunnan tehostamasta kuumaan totumisesta ja veren proteiinimäärän lisääntymisestä, mutta syytä ei tarkoin tunneta (Harrison 1985). Lämmönsiedossa esiintyy eri vuodenaikoina vaihtelua, jota tottuminenkaan ei kokonaan hävitä. Talvella lämpöön totutumisen on todettu lisäävän sekä plasman että verisolujen mutta kesällä ainoastaan plasman tilavuutta (Shapiro ym. 1981).

Hyvä fyysinen suorituskyky lisää lämmönsietokykyä hypervolemian ja hyperproteinemian kautta. Ilman liikuntaa plasmatilavuus lisääntyy kuumaan totumisen aikana noin 7 % (Bonner ym. 1976) ja liikunnan yhteydessä jopa 13 % (Harrison ym. 1981). Sekä saunominen (Kukkonen-Harjula 1987) että liikunta (Harrison 1985) aiheuttavat plasman aldosteroni- ja vasopressiini- pitoisuuksien muutoksia, jotka tehostavat nestetasapainon ylläpitämistä.

Elimistön nesteytystila vaikuttaa huomattavasti säätelytehokkuuteen. Elimistön hikoiluherkkyys välittyy ilmeisesti hypotalamuksen kautta veren natriumpitoisuuden ja osmolaalisuuden muutosten perusteella. Elimistön nestevajauksen on todettu kehittyvän kuumassa vakionopeudella (Harrison 1974), jolloin kehon lämpötilan nousu vähentää hikoilumekanismien herkkyyttä (Senay 1979). Dehydraatio pienentää huomattavasti

plasmatilavuutta (Costill ja Fink 1974). Plasmatilavuus korreloi karkeasti kehon painon muutoksiin, kuitenkin siten, että plasmatilavuus pienenee suhteellisesti enemmän kuin kehon paino. Plasmatilavuuden prosenttinen vähenemä painonpientymiseen verrattuna on vaihdellut 2.2-kertaisesta (Caldwell ym. 1984) 3.6-kertaiseen (Horstman ja Horvath 1972).

Saunavihdan käyttö lisää paikallisesti ihoverenkiertoa ja tehostaa siten hikoilua. Samalla ilman liikkuminen saunojan (ja tunnetusti myös seuralaisten) iholla nopeutuu, jolloin lämpöä kulkeutuu enemmän iholta ilmapirran mukana (konvektio). Ilman kosteudesta riippuu, kuinka tehokkaasti lämpö haihtuu tätä kautta ympäristöön.

Nestetasapainon muutosten mittareina voidaan käyttää veren hematokriitti- ja hemoglobiiniarvoja, jotka suurenevat nestevajauksen yhteydessä (Dill ja Costill 1974). Lisäksi muutokset heijastuvat veren proteiinimuutoksina. Tutkimustulokset ovat tosin tältä osin ristiriitaisia, mikä johtuu erilaisista tutkimusasetelmista. Pitoisuusmuutosten arviointia vaikeuttaa valkuaisaineiden muutoinkin jatkuva kulkeutuminen kapillaarien läpi soluvälitilaan, sieltä imusuonistoon ja uudelleen verenkiertoon. Hemokonsentraatioon on todettu liittyvän suonensisäisten valkuaisaineiden vähentymistä ja hemodiluutioon niiden lisääntymistä (Senay 1975). Lämpökuormituksen aikana maksan verenkierto on vähentynyt (Rowell ym. 1971), jolloin proteiinisynteesituotteiden pääsy verenkiertoon saattaa vähentyä. Proteiinien pääsy kuumassa iho- ja lihaskapillaarien läpi on samanaikaisesti lisääntynyt (Harrison 1985), mistä voi olla seurauksena proteiinipitoisuuden pieneneminen.

Plasmatilavuuden vähentyessä veren ainesosien pitoisuudet muuttuvat. Maksimaalisen toistuvan saunomisen 80 °C:ssa kahdesti päivässä on todettu lisäävän seerumin proteiinipitoisuutta useiden päivien ajan (Leppäluoto ym. 1986). Hemokonsentraation merkinä myös muiden veriarvojen, mm. hematokriitti-, hemoglobiini- ja leukosyyttiarvojen, on havaittu suurentuvan.

NESTEVAJAUKSEN VAIKUTUKSET

Kiertävän verimäärän vähentyminen saunomisen vaikutuksesta aiheutuu osin verenkierron sisäisestä ja nesteaitioiden välisestä uudelleenjakautumisesta sekä osin hikoilusta. Hikoilun alkamisajankohta ja määrä vaihtelevat yksilöittäin. Tärkein tekijä lienee kuumaan tottuminen. Kuumaan tottumattomalla hikoilu on vähäisempää ja lämpökuormitus samalla voimakkaampaa kuin kuumaan tottuneella. Tottumisen yhteydessä hikoilu alkaa aikaisempaa alhaisemmassa lämpötilassa ja voi lisääntyä yli kaksinkertaiseksi. Maksimaalinen hikoilu saattaa tottuneella ylittää määrään 2 l/h (Bonner ym. 1976). Samanaikaisesti ihoverenkierto lisääntyy 20—40-kertaiseksi lähtötilanteeseen verrattuna.

Lämpökuormitus rasittaa verenkiertojärjestelmää, koska sen tehokkuudesta riippuu, kuinka hyvin elimistön sisäinen lämpöylimäärä on mahdollista siirtää ympäristöön. Tällöin tarvitaan riittävä sydämen minuuttitilavuus, jonka ylläpitämiseksi syketaajuus kasvaa saunomisen aikana ja sen jälkeen. Jos syntynyt nesteveajausta ei korvata, verenkierto kuormittuu lisää hypovolemian kasvaessa. Samalla fyysinen suorituskyky heikkenee huomattavasti (Caldwell ym. 1984). Asennonmuutosten ja kuormituksen sieto esimerkiksi liikuntasuoritusten yhteydessä voi tällöin yllättävästi heiketä.

Nestevajaus on saunomisen yhteydessä useimmiten lievä ja nopeasti ohimenevä, ellei saunojalla ole nestetasapainon ylläpitämistä häiritsevää sairautta tai lääkitystä. Esimerkiksi diureeteilla on voimakas plasmatilavuutta pienentävä vaikutus, joka voi tehostua hikoilun yhteydessä (Claremont ym. 1976).

Nestevajauksen on todettu hidastavan lämmön haihtumista ihoverenkierron vähentymisen takia (Horstman ja Horvath 1972). Lämpö voi siten varastoitua nestevajauksen yhteydessä huomattavasti nopeammin kuin nestetasapainon vallitessa (Nadel ym. 1980). Lievässä, 2—3 %:n painonlaskuun johtavassa nestevajauksessa ei nesteytyksellä kuitenkaan ole todettu olevan merkittävää

vaikutusta lämpötalouteen (Myhre ja Robinson 1977).

SAUNAN VAIKUTUKSET ELEKTROLYYTTI- JA HAPPO-EMÄSTASAPAINOON

Saunominen lisää hemokonsentraation kautta useiden veren osatekijöiden pitoisuutta. Koska hien osmolaalisuus on noin neljannes veren osmolaalisuudesta, saunomisen aiheuttama hikoilu lisää plasman osmolaalisuutta. Tällöin seerumin natrium-, kalium- ja kloridipitoisuudet pyrkivät kasvamaan (Kozlowski ja Saltin 1964, van Beaumont ym. 1981, Caldwell ym. 1984). Maksimaalisessa toistuvassa saunomisessa seerumin natriumpitoisuuden on kuitenkin todettu pienenevän jo vuorokauden aikana ja kalium- ja rauta-pitoisuuksien vähentyvän kolmannelta vuorokaudelta lähtien (Leppäluoto ym. 1986). Tämän vuoksi tutkijat kiinnittävät erityistä huomiota elektrolyytti- ja hivenainetasapainon ylläpitämiseen pitkäaikaisen maksimaalisen lämpökuormituksen yhteydessä. Tulokset ovat samansuuntaiset aikaisempien tulosten kanssa, joiden mukaan saunominen on pienentänyt huomattavasti hivenaineiden pitoisuuksia (Uhari ym. 1983).

Saunomiseen liittyvä elektrolyyttien menetys painon laskiessa noin 4 % on natriumin osalta noin 270 mmol, kaliumin 35 mmol ja kloridin noin 210 mmol (Kozlowski ja Saltin 1964). Näiden aineiden erittymisessä virtsaan ei lämpöaltituksen yhteydessä ole todettu merkittäviä muutoksia (Myhre ja Robinson 1977).

Happo-emästasapainon muutoksia voi saunomisen yhteydessä kehittyä useilla mekanismeilla. Lämpötilan nousu sellaisenaan saattaa aiheuttaa hyperventilaation pohjalta respiratorista alkaloosia (Senay 1979). Toisaalta perusaineenvaihdunnan lisääntyminen saattaa aiheuttaa muutoksia metaboliselta pohjalta. Lievässä, noin 50°:n lämmössä ventilaation ja hapenkulutuksen on todettu pysyvän perustasolla (van Beaumont ym. 1981). Maksimaalinen saunominen 80°:ssa

sitä vastoin lisää sekä hapenkulutusta että hiili-diksidin tuottoa ja muuttaa siten hengitysosamäärää (Leppäluoto ym. 1986). Lisäksi jo kevyehköön lämpökuormitukseen on osoitettu liittyvän happo-emästasapainon muutoksia arteriovenooosisen oikovirtauksen pohjalta. Tällöin laskimoveren pH ja happiosapaine kasvavat ja hiilidioksidiosapaine pienenee (van Beaumont ym. 1981).

NESTETASAPAINOHÄIRIÖIDEN KORJAAMINEN

Saunomiseen liittyvät nestetasapainohäiriöt ovat terveillä vähäisiä, mutta huonokuntoisilla, sairailta tai iäkkäillä muutokset voivat johtaa oireita aiheuttaviin häiriöihin. Ongelmia syntyy tällöin lähinnä verenkierrossa, jonka säätelytehokkuus joutuu lämpökuormituksessa koetukselle. Sukupuolella ei ole merkittävää vaikutusta lämmönsietoon, vaikka säätelymekanismeissa esiintyykin sukupuolten välisiä eroja (Kenney 1985). Kuukautiskierto ja siihen liittyvät hormonaaliset muutokset aiheuttavat vaihtelua lämmönsäätelyyn. Naisilla pinta-alan ja massan suhde on keskimäärin hieman suurempi, mikä saattaa vaikuttaa erilaisen hikoilutehokkuuden kaut-

ta nestetasapainon säätelyyn (Nunneley 1978). Lämpöä muodostuu suhteessa kehon massaan, kun taas lämmön luovutus on suhteessa kehon pinta-alaan. Siten naisille sopii yleensä parhaiten kostea ja miehille kuiva lämpö.

»Saunajuomilla» on ensisijaisesti edullinen vaikutus nestetasapainon ylläpitoon, tosin alkoholipitoiset juomat heikentävät keskushermostosäätelyn ohella myös verenkierron säätelytoimintoja. Nestevajauksen korvaamisella voidaan varmistaa maksimaalinen lämmönsiirto kehon sisäosista iholle ja edelleen ympäristöön. Glukoosielektrolyyttiliuos palauttaa plasmatilavuuden nopeammin kuin pelkkä vesi (Costill ja Sparks 1973). Tämä saattaa olla tarpeellista ottaa huomioon toistuvassa tai pitkäkestoisessa saunomisessa.

Saunomistottumukset ja -olosuhteet vaikuttavat suuresti nestetasapainomuutosten suuruuteen. Kolmen tunnin aikana saunomalla aiheutetusta 4 %:n suuruudesta painon alenemasta noin puolet on peräisin solujensisäisestä ja puolet solujenulkoisesta nesteaitiosta (Kozlowski ja Saltin 1964). Nestevajaus ei siis koske pelkästään verenkiertoa ja soluväliä, joten saunomiseen liittyvät väsymis- ja heikkousoireet voivat pohjautua myös solutason toimintahäiriöihin.

KIRJALLISUUTTA

- Allan J R, Wilson C G: Influence of acclimatization on sweat sodium concentration. *J Appl Physiol* 30: 708—712, 1971
- Aukland K, Nicolaysen G: Interstitial fluid volume: local regulatory mechanisms. *Physiol Rev* 61: 556—643, 1981
- Bonner R M, Harrison M H, Hall C J, Edwards R J: Effect of heat acclimatization on intravascular responses to acute heat stress in man. *J Appl Physiol* 41: 708—713, 1976
- Caldwell J E, Ahonen E, Nousiainen U: Differential effects of sauna-, diuretic-, and exercise-induced hypohydration. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 57: 1018—1023, 1984
- Claremont A D, Costill D L, Fink W, ym.: Heat tolerance following diuretic induced dehydration. *Med Sci Sports* 8: 239—243, 1976
- Costill D L, Fink W J: Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. *J Appl Physiol* 37: 521—525, 1974
- Costill D L, Sparks K E: Rapid fluid replacement following thermal dehydration. *J Appl Physiol* 34: 299—303, 1973
- Diaz F J, Brandsford D R, Kobayashi K, ym.: Plasma volume changes during rest and exercise in different postures in a hot humid environment. *J Appl Physiol* 47: 798—803, 1979
- Dill D B, Costill D L: Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 37: 247—248, 1974
- Harrison M H: Plasma volume changes during acute exposure to a high environmental temperature. *J Appl Physiol* 37: 38—42, 1974
- Harrison M H: Effects of thermal stress and exercise on blood volume in humans. *Physiol Rev* 65: 149—209, 1985
- Harrison M H, Edwards R J, Graveney M J, ym.: Blood volume and plasma protein responses to heat acclimatization in humans. *J Appl Physiol* 50: 597—604, 1981
- Horstman D H, Horvath S M: Cardiovascular and temperature regulatory changes during progressive dehydration and euhydration. *J Appl Physiol* 33: 446—450, 1972
- Kenney W L: A review of comparative responses of men and women to heat stress. *Environ Res* 37: 1—11, 1985
- Kozlowski S, Saltin B: Effect of sweat loss on body fluids. *J Appl Physiol* 19: 1119—1124, 1964
- Kukkonen-Harjula K: Saunomisen aiheuttamat hormonimuutokset.

- Suom Lääkäril 42: 1983—1986, 1987
- Leppäluoto J, Tuominen M, Väänänen A, ym.: Some cardiovascular and metabolic effects of repeated sauna bathing. *Acta Physiol Scand* 128: 77—81, 1986
- Myhre L G, Robinson S: Fluid shifts during thermal stress with and without fluid replacement. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 42: 252—256, 1977
- Nadel E R, Fortney S M, Wenger C B: Effect of hydration state on circulatory and thermal regulations. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 49: 715—721, 1980
- Nienstedt W, Hänninen O, Arstila A, Björkqvist S-E: Ihmisen fysiologia ja anatomia. WSOY, Porvoo 1987
- Nunneley S A: Physiological responses of women to thermal stress: a review. *Med Sci Sports* 10: 250—255, 1978
- Rowell L B, Detry J-M R, Profant G R, ym.: Splanchnic vasoconstriction in hyperthermic man — role of falling blood pressure. *J Appl Physiol* 31:864—869, 1971
- Senay L C Jr: Plasma volumes and constituents of heat-exposed men before and after acclimatization. *J Appl Physiol* 38: 570—575, 1975
- Senay L C Jr: Temperature regulation and hypohydration: a singular view. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 47: 1—7, 1979
- Shapiro Y, Hubbard R W, Kimbrough C M, ym.: Physiological and hematologic responses to summer and winter dry-heat acclimation. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 50: 792—788, 1981
- Shvartz E, Bhattacharya A, Sperinde S J: Sweating responses during heat acclimation and moderate conditioning. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 46: 675—680, 1979
- Uhari M, Pakarinen A, Hietala J, ym.: Serum iron, copper, zinc, ferritin and ceruloplasmin after intense heat exposure. *Eur J Appl Physiol* 51: 331—335, 1983
- van Beaumont W, Underkofler S, van Beaumont S: Erythrocyte volume, plasma volume, and acid-base changes in exercise and heat dehydration. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 50: 1255—1262, 1981
- Vuori I, Oja P: Saunomisen hemodynaamiset vaikutukset. *Suom Lääkäril* 42: 1976—1982, 1987

Esa Ahonen, LKT, erikoislääkäri

Kuopion aluetyöterveyslaitos, PL 93, 70701 Kuopio

Unto Nousiainen, LKT, erikoislääkäri

Kuopion yliopiston fysiologian laitos, PL 6, 70211 Kuopio