

# LÄÄKETIETEEN ALAN VALINTAKOE

## 28.5.2009

### TEHTÄVÄMONISTE

Tämä on valintakokeen tehtävämoniste. Moniste sisältää aineistotekstiä, johdantoja tehtäviin, valintakoetehtävät sekä liitteenä valintakokeen kaavakokoelman ja taulukkotietoja. Tehtävien ratkaiseminen edellyttää valintakoe kirjassa olevien tietojen, tehtävämonisteessä olevien aineistotekstin ja johdantotekstien sekä kaavojen ja taulukkotietojen hallintaa ja soveltamista. Johdantotekstissä olevat tiedot voivat liittyä muidenkin kuin sitä seuraavan tehtävän tai tehtäväsarjan ratkaisemiseen. Tutustu huolellisesti tehtävämonisteeseen liitteineen.

Tehtävämonisteen lisäksi olet saanut erillisen vastausmonisteen, jossa on oma vastaustilansa jokaista tehtävää varten. Kirjoita vastauksesi selvällä käsialalla vastausmonisteessa kullekin tehtävälle varattuun tilaan. **Epäselvästi kirjoitettua, viivoitetun tilan ylittävää (vain yksi kirjoitusrivi kutakin viivaa kohti!) tai vastaustilan reunaviivoituksen ylittävää tekstiä ei oteta arvioinnissa huomioon.** Laskutehtävien ratkaisemisessa vakioarvoina käytetään liitteessä olevia arvoja. Vastauksiksi tulee esittää tulokseen johtavat laskutoimitukset. Pelkkä numeerinen tulos ei riitä vastaukseksi. Numeerinen lopputulos tulee esittää tehtävänannon epätarkimman numeerisen arvon perusteella, ellei tehtävässä toisin mainita.

Vastausten arviointi perustuu valintakoe kirjiaan ja valintatilaisuudessa jaettuun tehtävämonisteeseen liitteineen. Vastaukset pisteytetään paitsi niissä olevien asiatietojen ja ratkaisujen oikeellisuuden niin myös niiden johdonmukaisuuden ja selkeyden perusteella.

Vastausten yhteenlaskettua kokonaispistesummaa kutsutaan raakapisteiksi. Niiden muuttamisesta valintakoepisteiksi, osatehtävien mahdollisesta karsimisesta sekä muista arvosteluun liittyvistä toimenpiteistä päättävät eri yliopistojen valintatoimikunnat itsenäisesti sääntöjensä puitteissa.

\*\*\*\*\*

Lääketieteen alan valintakoe alkaa klo 9 ja päättyy klo 14 ja kestää tasan 5 tuntia. Koesaleihin pääsee klo 9:40 asti ja kokeesta saa poistua aikaisintaan klo 10:00.

Tarkista, että saamassasi tehtävämonisteessä on kansilehden lisäksi aineisto- ja tehtävisivut 1-16, kaavaliitesivut 1-4 ja vastausmonisteessä kansilehden lisäksi sivut 1-11.

Merkitse henkilötietosi jokaiselle vastausmonisteen sivulle heti, kun koetilaisuus on alkanut. **Vain ne sivut tarkastetaan, joihin pyrkijä on merkinnyt henkilötietonsa ennen kokeen päättymistä.** Kaikki kirjoittaminen koetilaisuuden päättymisen ja vastausmonisteen palauttamisen välisenä aikana on kielletty.

Vastausmonisteen palautus tapahtuu valvojan ohjeiden mukaisesti.

**AINEISTOTEKSTI:**

**Otteita Eero Jokisen väitöskirjasta CHILDREN'S PHYSIOLOGICAL ADJUSTMENT TO HEAT STRESS DURING FINNISH SAUNA BATH, Kirjapaino Pika Oy, Turku, 1989**

*Aineisto-otteet valittu ja käännetty englannin kielestä Eero Jokisen luvalla*

*(Valitut otteet eivät muodosta yhtenäistä tekstikokonaisuutta väitöskirjassa, vaan ne ovat erillisiä. Tämän vuoksi ne on erotettu toisistaan katkoviivalla. Aineisto-otteiden kirjallisuusviitteet on lisätty alla olevaan tekstiin väitöskirjassa olevan viiteluettelon mukaisesti. Tekstissä viitteet on merkitty hakasuluissa yläindeksiin seuraavan esimerkin mukaisesti: "... saunomisen aikana<sup>[6,7]</sup>."*)

**LASTEN FYSIOLOGINEN SOPEUTUMINEN SAUNAN AIHEUTTAMAAN LÄMPÖRASITUKSEEN**

**Otteita väitöskirjan kirjallisuuskatsauksesta:**

*(Väitöskirjan kirjallisuuskatsauksessa esitellään ennen tutkimuksen aloittamista aiheeseen liittyvät keskeiset julkaistut tutkimustulokset.)*

---

**KUUMAN YMPÄRISTÖN AIHEUTTAMAT FYSIOLOGISET SOPEUTUMISMUUTOKSET**

Fysiologisia vasteita lämmön aiheuttamaan stressiin levossa on tutkittu runsaasti erilaisissa lämpöolosuhteissa. Kuuma-altistusta on aiheutettu asuilla, joissa on vesikierto, pitämällä koehenkilöä vedessä tai ihon paikallisella lämmittämällä. Lisäksi mittauksia on tehty ilmastokammioissa sekä suomalaisessa saunassa. Tutkimuksen kohteena ovat olleet myös lämpöhalvauspotilaat.

**Iho-, peräsuoli- ja ydinlämpö**

Ympäristön kanssa tapahtuva lämmönvaihto on riippuvainen kehon pinta-alan suhteesta kehon massaun sekä lämpötilaerosta, joka vallitsee ihon ja ympäröivän ilman välillä. Lämpösäteilyn ja lämmönsiirtymisen (konvektion) aiheuttama lämmön lisäys on suhteellisesti suurempi hoikilla kuin lihavilla henkilöillä, joista jälkimmäisillä ihon pinta-alan suhde massaun on pienempi<sup>[1]</sup>. Samoin peräsuolilämmön kohoaminen kuuma-altistuksen aikana on kääntäen verrannollinen kehon massaun.

---

Kuumassa ja kuivassa ympäristössä, kuten saunassa, kehon lämpötilan nousu on hitaampaa. Useiden tutkimusten mukaan peräsuolilämpö nousee 0,5-1,2 °C<sup>[2, 3, 4]</sup>, toisin sanoen 37,6-40,0 °C:een<sup>[5]</sup>. Aikuisilla kielen alta mitattu lämpötila nousee 39,0-39,8 °C:een ja ihon lämpötila noin 39,7-39,9 °C:een saunomisen aikana<sup>[6, 7]</sup>.

---

**Hikoilu**

Hikoilu on tehokas tapa poistaa lämpöä kehosta kuumassa ympäristössä. Hikoilu käynnistyy, kun ydinlämpötila on korkeampi kuin 36,8 °C, kuitenkin sillä edellytyksellä, että ihon lämpötila on samanaikaisesti yli 33 °C<sup>[8, 9, 10]</sup>.

---

Saunan kuumassa kuivassa ilmassa hien haihtumisen viilentävä vaikutus on tehokasta, kun taas kuumassa ja kosteassa ympäristössä osa hiestä valuu iholta haihtumatta eikä sen vuoksi yhtä tehokkaasti ylläpidä lämpötasapainoa. Kuumassa ympäristössä hikoilu on runsasta: kuumuuteen sopeutuneet henkilöt voivat hikoilla jopa 2 litraa tunnissa. Kun terveet mieshenkilöt olivat 71 °C:n asteen lämpötilassa tunnin ajan, keskimääräinen hieneritys oli noin 1000g<sup>[11]</sup>. Hieneritys oli noin 1,5 litraa tunnissa, kun kuumaan sopeutumattomat mieshenkilöt olivat kuumassa ympäristössä sietokyvyn rajoille saakka<sup>[12]</sup>.

---

Tavanomaisen saunomisen yhteydessä miehet menettävät painostaan 500-1000 g<sup>[3, 4, 7, 13, 14, 15]</sup>. Naiset hikoilevat saunassa vähemmän kuin miehet<sup>[2, 3, 15]</sup>. Kuumuuteen sopeutumattomat miehet hikoilevat huomattavasti enemmän kuin kuumuuteen sopeutumattomat naiset<sup>[16, 17]</sup>. Hikoiluun liittyvät sukupuoli erot vähenevät tai katoavat kuumaan sopeutumisen myötä<sup>[18, 19]</sup>. Haihtumiseen perustuvan lämmönmenetyksen on todettu olevan pienempi lihavilla kuin laihoilla naisilla<sup>[1]</sup>.

---

Lisääntynyt hikoilu vähentää solunulkoisen nesteen määrää. Hikoilun yhteydessä menetetään myös natrium-, kalium-, kloridi-, magnesium- ja kalsiumioneja<sup>[13, 20]</sup>.

### **Voimakkaan kuumuuden aiheuttamat hemodynaamiset vasteet**

Kehon altistuessa kuumalle verenkierto joutuu koetukselle. Suurimmat hemodynaamiset muutokset johtuvat ääreisverenkierron voimakkaasta lisääntymisestä. Iho, joka on yksi kehon suurista verivarastoista, on kehon tärkein lämmönvaihtoon osallistuva elementti. Kylmässä ympäristössä ihon verenkierto voi olla lähes olematonta; termoneutraalissa ympäristössä sen osuus sydämen minuuttitulavuudesta on 5-10 %, kun taas ankarassa kuumuudessa ihoverenvirtauksen osuus sydämen minuuttitulavuudesta voi olla 50-70 %<sup>[21, 22, 23]</sup>.

Kuumassa ympäristössä vastussuonet laajenevat ja laskimoiden venyvyys (komplianssi) lisääntyy. Ihon arteriolioiden maksimaalinen laajentuminen aiheuttaa suuren verimäärän siirtymisen keskeisen verenkierron verisuonista ääreisverisuoniin ihonalaislaskimopunosten suuren komplianssin ja suuren kapasiteetin vuoksi. Ihon verenkierrolla on taipumus lisääntyä ydinlämpötilan noustessa<sup>[24, 25, 26]</sup> mutta myös ihon oma lämpötila ohjaa sitä<sup>[27]</sup>. Kun ihoverisuonet ovat laajimmillaan, ihon verenvirtaus on aikuisilla miehillä keskimäärin 7,8 l/min<sup>[28]</sup>. Ihoverenkierron lisääntymiseen liittyy voimakas virtausvastuksen väheneminen.

---

Saunomisen aikana aikuisten miesten ääreisverenkierron vastus laskee keskimäärin 42 %<sup>[6]</sup>. Verenpaineen ylläpitämiseksi sydämen minuuttitulavuus kasvaa ja suoliston alueen verisuonet supistuvat. Vesikiertopuvuilla aiheutetun lämpöaltistuksen on todettu laskevan suoliston alueen verenkiertoa 30 % ja munuaisten verenkiertoa 37 %<sup>[28]</sup>. Samassa tutkimuksessa havaittiin myös, että samalla suolistoverenkierron virtausvastus kohosi 39 % kontrolliarvojen yläpuolelle. Keskeisen verenkierron verimäärä vähenee saunottaessa 25 %<sup>[6]</sup>. Kuumuuden aiheuttama suoliston- ja munuaisten verenvirtauksen väheneminen lisää veren virtausta ihossa yhdellä ylimääräisellä litralla minuutissa. Lihaksissa tapahtuva verivirtaus vähenee hieman kuuma-altistuksen aikana<sup>[29]</sup>. Suolistoverisuonten supistuminen on osittain seurausta sympaattisen hermoston heijasteista, osittain reniini-angiotensiini-aldosteronijärjestelmän toiminnasta ja mahdollisesti valtimoiden supistusta säätävien painereseptoriheijasteiden toiminnasta.

---

### **Sydämen syketiheys ja minuuttitulavuus**

Lämpö lisää sympaattisen hermoston toimintaa. Tämä nähdään sympaattisen aktiviteetin tasoa kuvaavien hormonien pitoisuuksien kohoamisena, esimerkiksi plasman noradrenaliini- ja adrenaliinipitoisuudet kohoavat<sup>[30, 31, 32]</sup>. On esitetty, että sympaattisen hermoston aktivaation määrä heijastaa lämpöaltistuksen voimakkuutta<sup>[23]</sup>. Kuumassa ympäristössä tapahtuva sympaattisen hermoston aktiviteetin lisääntyminen ja ihon verenvirtauksen progressiivinen kasvu ovat suorassa suhteessa sydämen syketiheyden ja minuuttitulavuuden kasvuun. Tavanomainen sydämen minuuttitulavuuden nousu on 50-70 %<sup>[11, 33]</sup> eli 7-10 l/min<sup>[34]</sup>. Sydämen minuuttitulavuuden kasvu on ensisijaisesti seurausta sydämen syketiheyden lisääntymisestä<sup>[34]</sup>. Kun terveet mieshenkilöt altistettiin suureen lämpökuormitukseen vesikiertopukujen avulla, heidän sydämensä syketiheys kasvoi 116:sta 163:een lyöntiin minuutissa ruokatorvesta mittaamalla arvioidun ydinlämpötilan noustessa 39,2 °C:sta 41,8 °C:een<sup>[35]</sup>. Sydämen syketiheyden todettiin muuttuvan suoraviivaisesti suhteessa ydinlämpötilaan vaihteluvälillä 37-38 °C, kun ihon lämpötila pidettiin 38 °C:ssa<sup>[10]</sup>.

---

Saunomisen on raportoitu aiheuttavan suurempiakin sydämen syketiheyksiä, noin 145 lyöntiä minuutissa<sup>[14, 36, 37, 38, 39, 40]</sup>, suurimpien arvojen kohotessa 180 lyöntiin minuutissa<sup>[41, 42]</sup>. Korkeimmat lukemat ovat verrattavissa raskaan fyysisen suorituksen aikaisiin syketiheyksiin.

---

Edellä raportoitu vaihtelu sydämen syketiheydessä voi johtua saunaan tottumattomien aikuisten epävarmasta tai jopa hieman pelokkaasta suhtautumisesta saunomiseen. Pelokkuuden merkityksestä sydämen syketiheyteen saunomisen yhteydessä on saatu epäsuoraa vahvistusta seuraavalla havainnolla: urheilijoiden syke nousi saunassa ainoastaan 110 lyöntiin minuutissa, mutta kun heiltä mitattiin kaksi minuuttia saunasta poistumisen jälkeen sydämen syketiheys verinäytteen oton yhteydessä, syke kohosi 130 lyöntiin minuutissa<sup>[43]</sup>. Saunasta poistumisen jälkeen sydämen syketiheys palaa muutamassa minuutissa lepotasolle<sup>[39, 40, 44, 45]</sup>.

---

### **Lämpöaltistuksen vaikutus aineenvaihduntaan ja hengitykseen**

Aineenvaihdunta kiihtyy kuumassa ympäristössä. Aineenvaihdunnan lisääntymisen tiedetään olevan yhteydessä kehon ydinlämpötilan nousuun. Tämän on katsottu perustuvan osittain Van't Hoffin ilmiöön. Kataboliset reaktiot kiihtyvät kaikilla eläimillä kehon lämpötilan noustessa; tämän kiihtymisen yläraja saavutetaan kuitenkin vasta sellaisissa lämpötiloissa, joilla on organismeja vaarantavia vaikutuksia<sup>[46]</sup>. Ainoastaan hyvin pieni osa siitä aineenvaihdunnan muutoksesta, joka ilmenee hypertermiassa, on seurausta lisääntyneestä lämmönpoistomekanismien aiheuttamasta työmäärästä, esimerkiksi hikoilusta<sup>[47]</sup>.

---

20-30 minuutin pituisen saunomisen jälkeen, kun peräsuolilämpö oli noussut 38,3 °C:een, perusaineenvaihdunnan taso oli noussut 20 %<sup>[48]</sup>. Pitkäkestoinen saunominen, tunnin ajan kaksi kertaa päivässä, kiihdytti aineenvaihduntaa 25-30 %<sup>[4]</sup>. Toisessa tutkimuksessa<sup>[49]</sup> ei puolestaan havaittu mitään muutoksia aineenvaihdunnan nopeudessa koehenkilöillä, jotka olivat kahden tunnin ajan 42,5 °C:n lämpötilassa, mutta peräsuolilämpötilassakaan ei todettu muutoksia.

Yhden tunnin oleskelu 71 °C:n lämpötilassa lisää hapenkulutusta 15 %<sup>[11]</sup>. Toisen raportin mukaan<sup>[47]</sup> peräsuolilämpötilan kahden asteen nousu lisäsi hapenkulutusta 19 %. Jos peräsuolilämpötila nousee 2,5 °C, hapenkulutusta lisääntyy 34,7 %<sup>[50]</sup>, ja se lisääntyy 44 %

kahden tunnin mittaisen kuuma-altistuksen (peräsuolilämpötila korkeimmillaan 41,8 °C) aikana<sup>[51]</sup>. Hapenkulutus pysyi koholla vähintään 30 minuuttia koehenkilöiden siirryttyä huoneenlämpöön. Kuumen ympäristön aiheuttama kiihtynyt aineenvaihdunta heijastuu siis lisääntyneenä hapenkulutuksena ja hapenkulutuksen lisääntyminen riippuu puolestaan ydinlämpötilassa tapahtuvan nousun suuruudesta.

---

Tavanomaisen saunomisen yhteydessä hengitystiheys lisääntyy noin 10 %<sup>[52, 53, 54]</sup>. Kuumassa ympäristössä kertahengitysilmatilavuus yleensä kasvaa<sup>[12, 55]</sup>.

---

### **Suuren lämpöaltistuksen vaikutus hormoneihin ja veren koostumukseen**

Ne hormonaaliset muutokset, joita on havaittu tapahtuvan saunomisen aikana, edistävät ensisijaisesti verenkierron sopeutumista lämpökuormitukseen ja toissijaisesti ylläpitävää lämpö- sekä nestetasapainoa. Voimakkaan, joskin lyhyen, lämpöaltistuksen aiheuttama lämpökuormitus on tekijä, joka ainakin osittain laukaisee saunomisen yhteydessä tapahtuvat hormonaaliset muutokset.

---

Seerumin adrenaliinipitoisuuksien muutoksissa esiintyy suuria yksilöiden välisiä eroja saunottaessa. Nämä erot saattavat selittyä saunaan tottumattomien henkilöiden jännittämisellä ja toisaalta säännöllisesti saunovien tottumisella saunomiseen. Plasman adrenaliinipitoisuus on kohonnut yli kaksinkertaiseksi joissakin saunatutkimuksissa, joissa koehenkilöinä on ollut saunomiseen tottumattomia koehenkilöitä<sup>[41, 56]</sup>, mutta plasman noradrenaliinipitoisuudessa ei havaittu muutosta saman ajanjakson aikana.

---

## **LASTEN LÄMMÖNSÄÄTELYN ERITYISPIIRTEET**

---

### **Verenkierron vasteet**

Huolimatta siitä, että hikoilu lapsilla on vähäistä, sydän- ja verisuonijärjestelmän rajallisen kapasiteetin on katsottu olevan tärkein lasten huonoa lämmönsietokykyä selittävä tekijä<sup>[57]</sup>. Sydämen leposyke on nuoremmilla lapsilla korkeampi<sup>[58, 59, 60]</sup> kuin nuorilla aikuisilla, kun taas maksimaalisen syketiheyden todettiin olevan lähes riippumaton iästä näiden kahden ikäryhmän välillä<sup>[61]</sup>. Tästä on seurauksena se, että submaksimaalisen ja maksimaalisen syketiheyden ero, jonka voidaan katsoa olevan eräänlainen sydämen syketiheyden reservi, on nuoremmilla lapsilla pienempi kuin nuorilla aikuisilla fyysisen suorituksen aikana<sup>[59, 61, 62]</sup>.

---

Lasten sydämen pienempi iskuilavuus kompensoituu osittain suuremmalla syketiheydellä kaikilla kuormituksen tasoilla<sup>[62]</sup>. Tästä huolimatta sydämen minuuttitilavuuden kasvu jää jonkin verran pienemmäksi lapsilla kuin aikuisilla<sup>[63, 64]</sup>. Yhteenvetona voidaan sanoa, että aikuisiin verrattuna lapsilla on pienempi kapasiteetti siirtää kuumassa ympäristössä lämpöä veren mukana kehon sisäosista iholle<sup>[65]</sup>. Tämän perusteella on esitetty, että henkilöillä, joilla on matala sydämen iskuilavuusindeksi levossa ja joiden leposyketiheyden ja maksimaalisen syketiheyden välinen ero on pieni, kestävät lämpökuormitusta huonoimmin<sup>[57]</sup>.

---

## Saunomiseen liittyvät fysiologiset muutokset lapsilla

---

Rauhallisesti saunassa istuneiden 8-11 kuukauden ikäisten lasten sydämen syketiheys ei muuttunut ensimmäisten 5-7 minuutin aikana. Keskimäärin syketiheys nousi noin 40 lyönnillä minuutissa 15 minuutin pituisen saunomisjakson aikana. Korkein mitattu syketiheys oli 270/min<sup>[66]</sup>. Useat eri tutkimukset osoittavat, että vanhemmilla lapsilla saunomiseen liittyvät syketiheyden muutokset vaihtelevat huomattavasti. Tämä vaihtelu saattaa heijastaa saunassa vallinneiden olosuhteiden erilaisuutta.

---

### Otteita väitöskirjan koehenkilö- ja menetelmäosasta:

*(Väitöskirjan tässä osassa kuvaillaan tutkimuksen kohteena oleva aineisto, käytetyt tutkimusmenetelmät, tutkimuksessa aineistosta mitattavat suureet sekä saatujen tulosten arvioinnissa käytetyt tilastolliset menetelmät.)*

### Koehenkilöt

Vapaaehtoiset koehenkilöt olivat lapsia ja aikuisia Turun alueelta; lasten osallistumisesta tutkimukseen oli saatu kirjallinen suostumus heidän vanhemmiltaan. Turun yliopiston eettinen toimikunta oli hyväksynyt tutkimuksen.

Koehenkilöiden fyysisiä ominaisuuksia on kirjattu Taulukkoon 1. Koehenkilöistä 74 oli esipuberteetti-ikäisiä (PIGI Tannerin luokituksen mukaan) ja 27 puberteetti-ikäisiä tai aikuisia.

Taulukko 1. Koehenkilöt

Ikäryhmä (v) Lukumäärä	Ryhmä A 2-5 21		Ryhmä B 5-10 20		Ryhmä C 10-15 20		Ryhmä D 15-40 20		Ryhmä E 5-10 20	
	poikia	tyttöjä	poikia	tyttöjä	poikia	tyttöjä	poikia	tyttöjä	poikia	tyttöjä
Sukupuoli	10	11	10	10	10	10	10	10	11	9
Lukumäärä	10	11	10	10	10	10	10	10	11	9
Ikä (v)	4,4	4,6	7,7	7,9	12,0	12,8	31,5	31,2	8,4	9,0
Pituus (cm)	107,4	112,3	129,1	132,6	153,3	150,9	179,8	162,8	132,4	129,7
Paino (kg)	18,1	20,1	28,9	27,6	42,8	45,0	79,8	61,6	29,3	27,4
Ihon pinta-ala (m <sup>2</sup> )	0,73	0,79	1,01	1,00	1,34	1,36	2,00	1,68	1,03	0,99

Ikä, pituus, paino ja ihon pinta-ala ilmoitettu keskiarvoina

Jotta mahdollinen pelokkuus ei vaikuttaisi tuloksiin, mitkään ryhmiin A-D sovelletut menetelmät eivät olleet kajoavia (invasiivisia). Samasta syystä käytettiin iholle levitettävää paikallispuudutetta ryhmälle E tehdyn verinäytteen oton yhteydessä.

Saunassa vallitsevaa ympäristöä vastaavat olosuhteet saatiin aikaan ilmastokammion avulla (3 m x 2 m x 2,5 m). Lämpötila kammiossa oli 70 °C ja suhteellinen kosteus 20 %. Kammiossa vallitsevan lämpötilan mittaustarkkuus oli ±1 °C ja kosteuden ±3 %. Kammion lämmittäminen tapahtui lattian alta 0,1 m/s nopeudella virtaavan lämpimän ilman avulla. Täten koko huoneessa oli tasainen lämpötila. Koehenkilöt olivat pukeutuneet uimapukuun ja he istuivat lämpökuormituksen aikana rauhallisesti kammiossa olevalla penkillä.

Tutkimus koostui kolmesta vaiheesta: 1) 10 minuutin istuminen laboratoriohuoneessa (21-23 °C), 2) 10 minuutin istuminen ilmastokammiossa ja 3) 10 minuutin pituinen

palautumisjakso laboratorihuoneessa (ryhmät A-D). Ryhmän E lapsia tarkkailtiin yhden tunnin ajan saunomisen jälkeen.

---

### **Veren koostumuksen ja hormonien analysointi**

Ryhmän E koehenkilöiltä otettiin verinäyte kemiallisia analyyseja ja hormonimäärityksiä varten. Lapset olivat olleet vähintään kahden tunnin ajan syömättä ja juomatta ennen tutkimuksen alkamista. Tutkimukset tehtiin klo 13.00-16.00. Kaikki näytteet yhtä lukuun ottamatta saatiin istuvassa asennossa olevilta koehenkilöiltä.

Lasten kädenselkäpuolella olevaan pinnalliseen laskimoon asetettiin tutkimuksen ajaksi 25 mm muovikanyyli. Kaikki verinäytteet otettiin tämän kanyylin kautta. Ensimmäinen verinäyte otettiin 20 minuuttia kanyylin asettamisen jälkeen. Verinäytteet otettiin 10 minuuttia ennen saunaan menemistä, välittömästi saunomisen jälkeen ja yhden tunnin mittaisen palautumisajan jälkeen. Kolme 12 ml:n suuruista näytettä otettiin hemoglobiinin, hematokriitin, leukosyyttien, plasman natriumin (Na), kaliumin (K), verensokerin, prolaktiinin, tyreotropiinin (TSH), kasvuhormonin, kortisolin, vasopressiinin (ADH), aldosteronin, atriopeptidin, noradrenaliinin, adrenaliinin ja dopamiinin määrittämiseksi.

---

Vasopressiini analysoitiin (Medix, Kliininen laboratorio, Helsinki) erottamattomasta plasmasta käyttämällä radioimmunoanalyysia (radioimmunoassay, RIA) menetelmällä, joka oli kehitetty tätä tarkoitusta varten<sup>[67]</sup>.

---

### **Otteita väitöskirjan tulososasta:**

*(Tulososaan kirjoitetaan menetelmäosassa kuvatulta aineistolta mitatut tulokset ja tehdyt havainnot, jotka on saatu käyttämällä esiteltyjä tutkimusmenetelmiä.)*

---

### **Hengitystiheys**

Hengitystiheys oli sitä korkeampi mitä nuorempi lapsi oli. Hengitystiheys lisääntyi tilastollisesti merkitsevästi ryhmissä A ja B saunomisen aikana, kun taas ryhmissä C ja D se pysyi ennallaan. Saunomisen jälkeen hengitystiheys palasi alkuperäiselle tasolle ryhmässä B ja pysyi muuttumattomana ryhmissä C ja D, kun sitä vastoin ryhmässä A se laski 22 % alkutason alapuolelle 10 minuuttia saunomisen jälkeen.

---

### **Kertahengitystilavuus**

Kaikkien koehenkilöiden kertahengitystilavuus kasvoi saunomisen aikana. Se palasi alkuperäiselle tasolle neljän minuutin kuluessa saunomisen jälkeen.

### **Hengityksen minuuttitulavuus**

Saunomisen yhteydessä hengityksen minuuttitulavuus kasvoi tilastollisesti erittäin merkitsevästi ryhmissä C ja D sekä tilastollisesti merkitsevästi ryhmässä A, mutta ei ryhmässä B (Taulukko 8).

**Taulukko 8. Hengityksen keskimääräinen minuuttitilavuus (l/min) 71 lapsella ennen saunomista, saunomisen aikana ja saunomisen jälkeen. N = osallistuneiden lukumäärä**

	<b>Ryhmä A (2-5-vuotiaat) (N=12)</b>	<b>Ryhmä B (5-10-vuotiaat) (N=20)</b>	<b>Ryhmä C (10-15-vuotiaat) (N=19)</b>	<b>Ryhmä D (yli 15-vuotiaat) (N=20)</b>
<b>Mittaushetki</b>				
<b>1. Ennen saunomista</b>	14,5	7,5	20,9	15,4
<b>2. Saunomisen aikana Maksimaalinen minuuttitilavuus</b>	30,6	15,8	29,0	20,3
<b>- muutos -</b>	15,1*	8,3 NS	8,1*	4,8*
<b>3. 10 min saunomisen jälkeen</b>	12,9	9,6	23,1	16,0

- muutos = keskimääräinen yksilökohtainen lepoarvojen (ennen saunomista) ja maksimaalisten arvojen erotus

\* = tilastollisesti merkitsevä muutos minuuttitilavuudessa lepoarvoista (ennen saunomista) maksimaalisiin arvoihin

NS = ei tilastollisesti merkitsevää muutosta

### Diastolinen verenpaine

Keskimääräinen diastolinen verenpaine ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi saunomisen aikana, mutta huomattavaa yksilöiden välistä vaihtelua esiintyi: 6 lapsella 81:stä diastolinen verenpaine nousi (korkein arvo 110 mmHg) ja 13 lapsella laski.

Diastolinen verenpaine laski tilastollisesti merkitsevästi alle 10 vuoden ikäisillä lapsilla (ryhmät A ja B) neljän lämpöaltistuksen jälkeisen minuutin aikana. Monilla ryhmien A ja B lapsilla esiintyi myös oireita samaan aikaan: 41 lapsesta 2 pyörtyi ja 7 valitti huimausta. Lisäksi yksi ryhmän E lapsista pyörtyi.

### Otteita väitöskirjan pohdintaosasta:

*(Pohdintaosassa arvioidaan omia tutkimustuloksia, niiden luotettavuutta ja niiden merkitystä sekä olemassa oleviin tutkimustuloksiin nähden, niin myös yleisesti.)*

### Hormonaaliset muutokset

Atriopeptidin vesitasapainoon ja natriumpitoisuuteen kohdistuvat vaikutukset johtuvat atriopeptidin suorista vaikutuksista munuaisiin: lisääntynyt glomerulusfiltraatio, huomattava natriumerityksen lisääntyminen virtsaan ja aldosteronin erityksen väheneminen<sup>[68, 69]</sup>.

Atriopeptidin pitoisuus ei muuttunut saunomisen aikana, mutta väheni tilastollisesti merkitsevästi tunnin kuluttua saunomisen jälkeen.

Atriopeptidipitoisuuden väheneminen oli odotettavissa, koska sekä systolinen että diastolinen verenpaine laskivat ja elimistö menetti nestettä saunomisen aikana<sup>[68, 69]</sup>. Atriopeptidin erityksen väheneminen on nestetasapainon säilymisen kannalta hyödyllistä, koska erityksen vähenemisen seurauksena vältetään enemmältä veden menetykseltä.



---

### **Verenkierron sopeutuminen**

Tutkimuksen tärkein havainto oli se, että lasten verenkierto sopeutuu saunomisen aikaiseen lyhyeen lämpökuormitukseen huomattavasti nopeammin kuin aikuisten verenkierto. Yksi mahdollinen selitys tälle löydökselle saattaa olla se, että lapsilla ydinlämpötilan nousun estäminen on ensisijaista ja se tapahtuu jopa riittävää keskeistä verenkiertoa ylläpitävien toimintojen kustannuksella.

---

Sydämen minuuttitulavuuden kasvu johtui lisääntyneestä sydämen syketiheydestä yli 5-vuotiailla lapsilla. Sydämen minuuttitulavuus kasvoi näillä koehenkilöillä hieman vähemmän kuin aikuisilla<sup>69</sup>. Vaikka sydämen syketiheys kasvoi tilastollisesti merkittävästi alle 5-vuotiailla lapsilla, iskuilavuuden pieneneminen oli niin suurta, että sydämen minuuttitulavuus ei kasvanut ollenkaan. Tästä syystä epänormaalin suuri verenkiertovasteiden vilkastuminen, joka hipoi kestokyvyn äärirajaa joillakin lapsilla, oli oleellisen tärkeä tekijä keskeisen verenkierron ylläpitämiseksi alle 5-vuotiailla lapsilla.

---

Verenpaineen säätely tapahtuu muuntelemalla sydämen minuuttitulavuutta ja ääreisverenkierron kokonaisvastusta. Mielenkiintoinen havainto oli, että alle 5-vuotiailla lapsilla ääreisverenkierron kokonaisvastus ei saunottaessa lisääntynyt vakaan verenpaineen ylläpitämiseksi. Näillä lapsilla sydämen iskuilavuus pieneni, ja sydämen minuuttitulavuutta voitiin ylläpitää vain lisäämällä syketiheyttä submaksimaaliselle tasolle. Reniini-angiotensiini-aldosteronijärjestelmän avulla tapahtuvan verenpaineen säätelyn sopeutuminen kestää useita tunteja ja sen vuoksi sillä ei todennäköisesti ollut mitään vaikutusta verenpaineen säätelyyn 10 minuuttia kestäneen saunomisen aikana.

Siirtyminen 70 °C:n lämpötilasta huoneenlämpöön (22 °C) aiheutti erittäin nopean sydämen syketiheyden laskun. Tämä saattoi johtua äkillisen ihon lämpötilan alenemisen aiheuttamasta parasympaattisesta ärsytyksestä. Toisaalta kehon ydinlämpötila säätelee ihon verenkiertoa kylmässä ympäristössä<sup>70</sup>. Tässä tutkimuksessa peräsuolilämpö palasi alkuperäiselle tasolle 50 minuutissa saunomisen loppumisesta, ja täten ihon verisuonet pysyivät laajentuneina tuona aikana. Sydämen syketiheyden pieneneminen ja verenvirtauksen ohjautuminen iholle ja alaraajoihin oli ilmeisen vaativa tehtävä lapsen verenpainetta sääteleville mekanismeille, erityisesti valtimoiden painereseptoriheijasteille. Alle 10-vuotiailla lapsilla kompensatoriset sydän- ja verenkiertovasteet eivät käynnistyneet välittömästi. Tämä johti systolisen ja diastolisen verenpaineen huomattavaan laskuun. Kolme koehenkilöä 101:sta pyörtyi, todennäköisesti alentuneen aivoverenvirtauksen vuoksi. Yli 10 vuoden ikäisillä lapsilla ei esiintynyt verenpaineen laskua eikä pyörtymisiä. Tämä viittaa siihen, että siirryttäessä saunan lämmöstä huoneenlämpöön valtimoverenpainetta ei pystytä ylläpitämään alle 10-vuotiailla lapsilla yhtä tehokkaasti kuin yli 10-vuotiailla lapsilla, koska heidän verenkiertojärjestelmänsä ei ole yhtä herkkä ja heidän verenkiertoheijasteensa ovat hitaampia. Näillä lapsilla tapahtunut pyörtymisen osoittaa verenkiertovasteiden riittämättömyyden tilanteessa, jossa tapahtuu nopea ja huomattava muutos ympäristön lämpötilassa. Pyörtymisen mahdollisuus vilvoittelun alkuvaiheessa on otettava huomioon lasten saunomisen yhteydessä.

**Väitöskirjassa käytetyt kirjallisuusviitteet:**

*(Väitöskirjan kirjallisuusluettelo on kirjataan kaikki ne julkaisut, joita työssä on siteerattu.)  
[Tähän on kerätty väitöskirjan viiteluettelosta ainoastaan ne lähteet, joihin valittujen otteiden tekstissä on viitattu.]*

1. Zahorska-Markiewicz B: Thermal and metabolic responses to heat exposure in obesity. Eur J Appl Physiol 48:379-385, 1982.
2. Shoenfeld Y, Udassin R, Shapiro Y, Ohry A and Sohar E: Age and sex difference in response to short exposure to extreme heat. J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol 44(1):1-4, 1978.
3. Hietala J, Nurmi T, Uhari M, Pakarinen A and Kouvalainen K: Acute phase proteins, humoral and cell mediated immunity in environmentally-induced hyperthermia in man. Eur J Applied Physiol 49:271-276, 1982.
4. Leppäluoto J, Tuominen M, Väänänen A, Karpakka J and Vuori I: Some cardiovascular and metabolic effects of repeated sauna bathing. Acta Physiol Scand 128:77-81, 1986a.
5. Hasan J and Karvonen MJ: Physiological effects of extreme heat. Special review. Part I. Am J Physical Med 45(6):296-314, 1966.
6. Eisalo A: Effects of the Finnish sauna on circulation. Studies on healthy and hypertensive subjects. Ann Med Exper BioI Fenniae, 34: Suppl. 4,1-96, 1956.
7. Piironen P and Äikäs E: Haihtuminen ja hikoilu erilaisissa saunaolosuhteissa. Sauna 2:1-6, 1961.
8. Hardy JD and Stolwijk JAJ: Partitional calorimetric studies of man during exposures to thermal transients. J Appl Physiol 21(6): 1799-1806, 1966.
9. Benzinger T: Heat regulation: Homeostasis of central temperature in man. Physiol Rev 49:671-752, 1969.
10. Wyss CR, Brengelmann GL, Johansson JM, Powell LB and Niederberger M: Control of skin blood- flow, sweating and heart rate: role of skin vs. core temperature. J Appl Physiol 36(6):726-733, 1974.
11. Gold J: Development of heat pyrexia. JAMA 173:1175-1182, 1960.
12. Gaudio R Jr and Abramson N: Heat induced hyperventilation. J Appl Physiol 25(6):742-746, 1968.
13. Haapanen E: Effects of Finnish sauna bath on the electrolyte excretions and the renal clearances. Ann Med Exper BioI Fenniae 36:suppl 5, 1958.
14. Shoenfeld Y, Sohar E, Ohry A and Shapiro Y: Heat stress: comparison of short exposure to severe dry and wet heat saunas. Arch Phys Med Rehabil 57:126-129, 1976.
15. Sohar E, Shoenfeld Y, Shapiro Y, Ohry A and Cabili S: Effects of exposure to Finnish sauna. Israel J Med Sci 12(11):1276-1282, 1976.
16. Frye AJ and Kamon E: Responses to dry heat of men and women with similar aerobic capacities. J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol 50(1):65-70, 1981.
17. Shapiro Y, Pandolf KB, Avellini BA, Pimenthal NA and Goldman RF: Heat balance and transfer in men and women exercising in hot-dry and hot-wet conditions. Ergonomics 24(5):375-386, 1981.
18. Wyndham CH, Morrison JF and Williams CG: Heat reactions of male and female Caucasians. J Appl Physiol 20(3):357-364, 1965.
19. Avellini BA, Shapiro Y, Pandolf KB, Pimenthal NA and Goldman RF: Physiological responses of men and women to prolonged dry heat exposure. Aviat Space Environ Med 51(10):1081-1085, 1980.
20. Verde T, Shephard RJ, Coney P and Moore R: Sweat composition *in* exercise and in heat. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol. 53(6): 1540-1545, 1982.
21. Edholm OG, Fox RH and MacPherson RC: The effect of body heating on the circulation in skin and muscle. J Physiol 134:612-619, 1956.
22. Rowell LB: Refl ex control of the cutaneous vasculature. J Invest Dermatol 69:154-166, 1977.
23. Vuori I: Sauna bather's circulation. Ann Clin Research 2058/1988b.
24. Wenger CB and Roberts MF: Control of forearm venous volume during exercise and body heating. J Appl Physiol 48(1):114-119, 1980.
25. Brengelmann GL: Circulatory adjustments to exercise and heat stress. Ann Rev Physiol 45:191-212, 1983.
26. Nielsen B, Rowell LB and Bonde-Petersen F: Cardiovascular responses to heat stress and blood volume displacements during exercise on man. Eur J Appl Physiol 52:370-374, 1984.
27. Roberts MF and Wenger CB: Thermal and baroreflex control of skin circulation. Biometeorology 7, Part 2:54-64, 1980.

28. Rowell L: Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev* 54:75-142, 1974.
29. Drettner B: The effect of the sauna bath on the peripheral blood flow. *Acta Soc Med Uppsalaensis* 69:279-280, 1964.
30. Huikko M, Jouppila P and Kärki NT: Effects of Finnish bath (sauna) on the urinary excretion of noradrenaline, adrenaline and 3-methoxy-4-hydroxymandelic acid. *Acta Physiol Scand* 68:316-321, 1966.
31. Kosunen KJ, Pakarinen AJ, Kuoppasalmi K and Adlercreutz H: Plasma renin activity, angiotensin II, and aldosterone during intense heat stress. *J Appl Physiol* 41(3):323-327, 1976.
32. Hussi E, Sonck T, Pösö H, Remes J, Eisalo A and Jänne J: Plasma catecholamines in Finnish sauna. *Ann Clin Res* 9:301-304, 1977.
33. Koroxenidis GT, Shephard JT and Marshall RJ: Cardiovascular response to acute heat stress. *J Appl Physiol* 16(5):869-872, 1961.
34. Rowell LB, Brengelmann GL and Murray JA: Cardiovascular responses to sustained high skin temperature in resting man. *J Appl Physiol* 27(5):673-689, 1969.
35. Bynum GD, Pandolf KB, Schuette WH, Goldman RF, Lees DE, Whang-Ping J, Atkinson ER and Bull JM: Induced hyperthermia in sedated humans and the concept of critical thermal maximum. *Am J Physiol* 235(5):R228-R236, 1978.
36. Eggers P and Goll W: Die Wirkung des Saunabades auf Herz und Kreislauf. *Dtsch med Wschr* 77:863-866, 1952.
37. Kaderávek F: Innerer Temperaturgradient als Indikator der Kreislaufkapazität in der heißen Umgebung des Saunabades. *Sauna-Archiv* 3:29-33, 1980.
38. Luurila OJ: Arrhythmias and other cardiovascular responses during Finnish sauna and exercise testing in healthy men and postmyocardial infarction patients. *Acta Medica Scand Suppl* 641: 1-60, 1980.
39. Holtz J and Bassenge E: Der Blutdruck in der Abkühlphase des Saunabades: Untersuchungen mit einer phasentreuen, nichtinvasiven, neuen Messtechnik. *Z f Phys Med* 4:247-255, 1981.
40. Bachmann K, Hoffmann H, Günthner W and Zerkawy R: Ergebnisse telemetrischer Kreislaufuntersuchungen beim Saunabadevorgang. *Sauna-Archiv* 9: 17, 1971.
41. Taggart P, Parkinson P and Carruthers M: Cardiac responses to thermal, physical and emotional stress. *Br Med J* 3:71-76, 1972.
42. Davies H: Cardiovascular effects of the sauna. *Am J Phys Med* 54(4):178-185, 1975.
43. Kosiek J-P, Vogler G, Schneider G and Klaus EJ: Kontinuierliche Herzschlagfrequenzregistrierung bei Sportlerinnen während eines Saunabades. *Sportarzt und Sportmedizin* 1:7-16, 1969.
44. Hüllemann K-D and Matthes D: Comparative telemetric measurements on heat attack patients and normal persons in the sauna, taking an ergometer test, at sports and at an interview. In H Teir, Y Collan and Pirkko Valtakari (editors): *Sauna-Studies*, pp 181-188, Vammalan Kirjapaino 1976.
45. Stanghelle JK and Hansen HJ: Kan hjertepasienter ta bastubad? *Tidskr Nor Laegeforen* 101(23):1273-1275, 1981.
46. Donhoffer SZ, Mestyään GY, Obrinsák E and Tóth I: The thermoregulatory significance of the increase in O<sub>2</sub> - consumption elicited by high environmental temperature. *Acta Physiol Acad Sci Hungar* 4:291-299, 1953.
47. Saxton C: Effects of severe heat on respiration and metabolic rate in resting man. *Aviat Space Environ Med* 52(5):281-286, 1981.
48. Hasan J and Niemi M: Metabolic responses of human subjects to severe acute thermal stress. *Acta Physiol Scand* 31:137-146, 1954.
49. Hardy JD and Stolwijk JAJ: Responses of man to thermal transients. In *Thermal problems in Aerospace Medicine*. pp. 105-127. Technivision Sciences, Maidenhead, England 1968.
50. Sherif NE, Shahwan L and Sorour AH: The effect of acute thermal stress on general and pulmonary hemodynamics in the cardiac patient. *Am Heart J* 79:305-317, 1970. .
51. Faithfull NS, Van Den Berg AD and Van Rhoon GC: Cardiovascular and oxygenation changes during whole body hyperthermia. *Adv Exp Med Biol* 157:57-70, 1982.
52. Conradi E: The behaviour of selected parameters of the heart-circulatory and respiratory systems of patients accustomed to the sauna in the course of nine sauna baths at weekly intervals. *Sauna Studies* 189-205, 1976a.
53. Conradi E and Schneider CH: Untersuchungen zum Verhalten des Kreislaufs im Verlauf einer Serie Saunabader. *Zchr Physiother* 28:335-341, 1976b.
54. Zegveld C: Physical changes caused by taking a sauna bath. *Sauna Studies* 1976.

55. Saxton C: Respiration during heat stress. *Aviat Space Environ Med* 46(1):41-46, 1975.
56. Britton BJ, Hawkey C, Wood WG, Perle M, Kaye J and Irving MH: Adrenergic, coagulation and fibrinolytic responses to heat. *Br Med J* 4:139-141, 1974.
57. Drinkwater BL and Horvath SM: Heat tolerance and ageing. *Med Sci Sports* 11(1):49-55, 1979.
58. Máček M and Vávra J: Cardiopulmonary and metabolic changes during exercise in children 6-14 years old. *J Appl Physiol* 30(2):202-204, 1971.
59. Bouchard C, Malina RM, Hallmann Wand Leblanc C: Submaximal working capacity, heart size and body size in boys 8-18 years. *Eur J Appl Physiol* 36:115-126, 1977.
60. Piekarski C, Morfeld P, Kampmann B, Ilmarinen R and Wenzel AG: Heart-stress reactions of the growing child. In: Rutenfranz J, Mocellin R and Klimt F (editors): *Children and exercise XII*. pp. 403-412, Human Kinetics Publishers Inc, Champaign, Illinois, 1986.
61. Andersen KJ, Selinger V, Rutenfranz J and Berndt I: Physical performance capacity of children in Norway. Part II. Heart rate and oxygen pulse in submaximal and maximal exercises - Population parameters in a rural community. *Eur J Appl Physiol* 33:197-206, 1974.
62. Bar-Or O: Physiologic responses to exercise of the healthy child. In: Oded Bar-Or: *Pediatric Sports Medicine for the Practitioner from Physiologic Principles to Clinical Applications*, pp. 1-65. Springer-Verlag, New York, 1983b.
63. Bar-Or O, Shephard RJ and Allen CL: Cardiac output of 10- to 13-year-old boys and girls during submaximal exercise. *J Appl Physiol* 30(2):219-223, 1971.
64. Eriksson BO: Cardiac output during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatr Scand Suppl* 217:53-55, 1971.
65. American Academy of Pediatrics, Committee on Sports Medicine: Climatic heat stress and the exercising child. *Pediatrics* 69(4):808-809, 1982.
66. Venho V: Untersuchungen und Beobachtungen an Säuglingen in der Finnischen Sauna. *Sauna-Archiv* 1:77-82, 1958.
67. Fyhrquist F, Wallenius M and Hollemans HJG: Radioimmunoassay of vasopressin in unextracted plasma. *Scand J Clin Lab Invest* 36:841-847, 1976.
68. Needleman P and Greenwald JE: Atriopeptin: a cardiac hormone intimately involved in fluid, electrolyte, and blood pressure homeostasis. *New Engl J Med* 13:828-834, 1986.
69. Garcia R, Thibault G, Cantin M and Genest J: Effect of purified atrial natriuretic factor on rat and rabbit vascular strips and vascular beds. *Am J Physiol* 247:234-239, 1984.
70. Rowell LB, Brengelmann GL, Detry JM and Wyss C: Venomotor responses to rapid changes in skin temperature in exercising man. *J Appl Physiol* 30(1):64-71, 1971.

*(Väitöskirjaan kuuluu myös muita osia, joiden sisältöä ole otettu mukaan edellä valittuihin otteisiin:*

- *Johdanto-osa väitöskirjan alussa, jossa selvitetään, minkä vuoksi valitun aiheen, ilmiön tai ongelman tutkiminen olisi perusteltua*
- *Tutkimuksen tavoitteet johdannon jälkeen, jossa lyhyesti kuvataan mihin kysymyksiin tutkimuksen avulla haetaan vastauksia*
- *Tiivistelmä pohdintaosan jälkeen, jossa tiivistäen esitellään tutkimuksen keskeiset tulokset*
- *Johtopäätelmät -osa edellisen jälkeen, jossa arvioidaan saavutettujen tulosten merkitystä tulevan tutkimuksen tai sovellusten kannalta*
- *Lisätietoja -osa, jossa kiitetään väitöskirjatyön eri vaiheisiin osallistuneita henkilöitä ja tahoja sekä muita työstä suoriutumiseen vaikuttaneita henkilöitä.)*

**TEHTÄVÄT:****Tehtävä 1****20 pistettä**

Kirjoita oheisten aineistotekstiotteiden perusteella yhteenvedo, jossa vertailet aikuisilla ja lapsilla tapahtuvia muutoksia verenkierrossa ja verenkiertoelimistön toiminnassa saunomisen aikana ja lyhytaikaisesti saunomisen jälkeen.

**Tehtävä 2****9 pistettä**

a) Mitkä ihon ja ihonalaiskudosten rakenteet osallistuvat tasalämpöisyyden ylläpitoon aikuisella ihmisellä? (4 p)

b) Millä tavoin nämä rakenteet edistävät tasalämpöisyyden säilymistä? (5 p)

**Tehtävä 3****17 pistettä**

Henkilö, jonka massa on 77 kg, ihon lämpötila 39 °C, ihon pinta-ala 1,9 m<sup>2</sup> ja perusaineenvaihdunnan teho 83 W, on saunassa 100,0 °C:n lämpötilassa. Saunan lämpötila on kaikkialla sama ja saunojan kontaktia lauteisiin ei huomioida laskuissa. Lämpösäteilyn emissio- ja absorptiokertoimille voit käyttää samaa (tarkkaa) arvoa  $k=1$  kuin mustalle kappaleelle. Veden höyrystymislämpö on 2260 kJ/kg.

a) Mikäli saunojan ihon lämpötila ei muutu, niin kuinka paljon henkilöstä siirtyy lämpöenergiaa säteilemällä 12 minuutin aikana? (4 p)

b) Entä kuinka paljon henkilöön siirtyy lämpöenergiaa säteilemällä samassa ajassa? (3 p)

c) Mikä on säteilemällä siirtyvän tehon nettomäärä ja -suunta? (2 p)

d) Laske lämpöenergian kuljetusteho ilmasta saunojaan käyttäen konvektioyhtälöä ja luonnollisen kuljettumisen laskukaavaa. (4 p)

e) Kuinka suuri henkilön hikoilunopeuden (kg/h) tulee saunassa olla, jotta kehon lämpötila ei nouse, kun oletetaan, että hiki haihtuu kokonaisuudessaan? Oleta hien olevan termodynaamisesti täysin veden kaltaista ja termodynaamisen prosessin saman kuin kiehumisessa. (4 p)

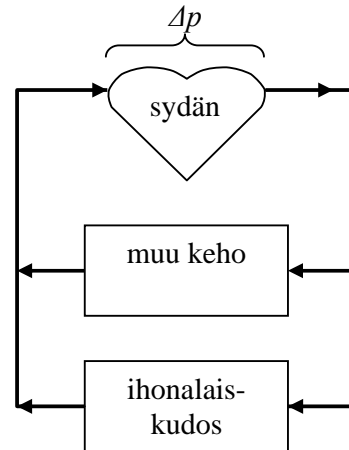
**Tehtävä 4****18 pistettä**

Aineistossa mainitussa tutkimuksessa mukana olleilla suomalaisilla aikuisilla sydämen keskimääräinen minuuttitilavuus ennen saunomista on 5,31 l/min ja saunomisen aikana 9,16 l/min. Käytä tehtävässä näitä arvoja. Lisäksi voidaan olettaa aortan poikkileikkauksen pinta-alaksi 3,0 cm<sup>2</sup> sekä keskimääräiseksi aorttapaineeksi ennen saunomista ja saunomisen aikana 101 mmHg.

a) Laske sydämen iskutilavuus ennen saunomista (syke 75 lyöntiä minuutissa) ja saunomisen aikana (syke 120 lyöntiä minuutissa). (4 p)

b) Laske prosentteina, paljonko sydämen keskimääräinen teho muuttuu suhteessa tilanteeseen ennen saunomista. Käytä laskussa SI-yksiköitä. (6 p)

c) Ihonalaiskudoksen ja muun kehon verenkierron jakaantumista voidaan tarkastella kuvassa 1 olevalla yksinkertaistetulla mallilla. Laske mallin avulla, paljonko ihonalaiskudoksen virtausvastus muuttuu PRU-yksiköissä (perifeerinen vastusyksikkö) tilanteissa ennen saunomista ja saunomisen aikana. Saunomisen aikana perifeerinen kokonaisvirtausvastus laskee 42 % ja ennen saunomista verenvirtauksesta 6,0 % kulkee ihonalaiskudoksen kautta. Saunomisen aikana muun kehon perifeerinen vastus = 1,1 PRU. Molemmissa tapauksissa keskimääräinen aortta- ja laskimopaineen ero  $\Delta p = 98$  mmHg. Huomioi miten PRU-yksikkö on määritelty. (8 p)



Kuva 1

### Tehtävä 5

10 pistettä

Typpioksidin eli typpimonoksidin kemiallinen kaava on NO. Typpioksidi on tärkeä signaaliaine nisäkkäillä, myös ihmisellä. Typpioksidia muodostuu elimistössä arginiinista ja hapesta typpioksidisyntaasientsyymien vaikutuksesta. Joidenkin tutkimusten mukaan näiden entsyymien aktiivisuus lisääntyy lämpöaltistuksessa. Tällöin typpioksidin määrä verenkierrossa kasvaa.

Arginiinin eri funktionaalisia ryhmiä vastaavat  $pK_a$  -arvot

Karboksyyliryhmä	1,82
$\alpha$ -aminoryhmä protonoituneena	8,99
Sivuketju protonoituneena kaksoissidokselliseen tyypeen	12,48

a) Pohdi mitä fysiologisia vaikutuksia sydämen toiminnan kannalta typpioksidilla voi olla saunomisen aikana. (4 p)

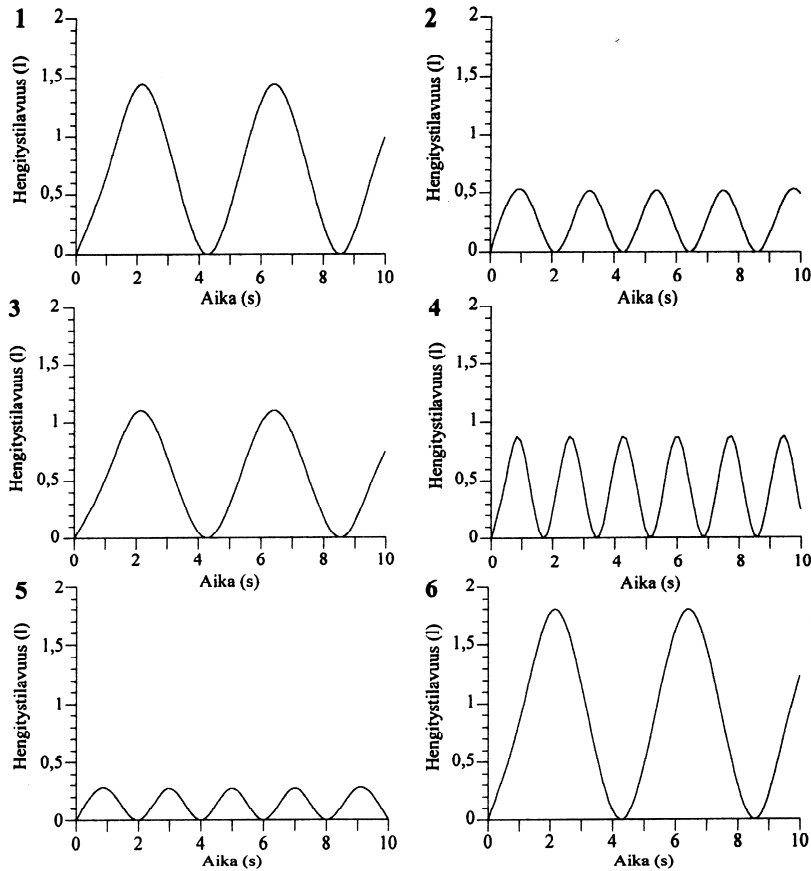
b) Piirrä täydellinen rakennekaava arginiinin siitä muodosta, joka on vallitseva vesiliuoksessa pH:n arvolla A) 1, B) 7 ja C) 13,5. Vihje: Arginiinin sivuketjun protonoituminen tapahtuu kaksoissidokselliseen tyypeen. (6 p)

### Tehtävä 6

12 pistettä

a) Mitkä kuvan 2 spirogrammeista 1-6 (ryhmien keskiarvokäyriä) kuvaavat aineistotekstissä mainittujen 2-5-vuotiaiden lasten hengitystä ennen saunomista ja maksimaalista hengitystä saunomisen aikana? Mitkä ovat vastaavat kuvaajat yli 15-vuotiaiden ryhmälle? Perustele vastauksesi. (6 p)

b) Mistä syystä saunominen lisää hengitystaajuutta ja/tai kertahengitysilmatilavuutta ja siten keuhkotuuletusta? (6 p)



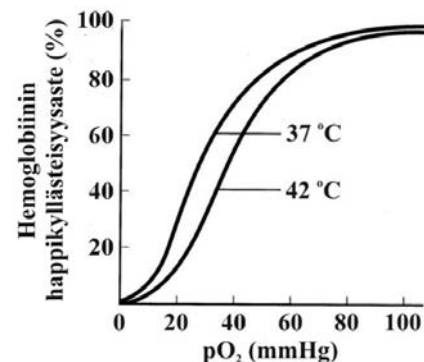
Kuva 2

**Tehtävä 7****16 pistettä**

Kudoksissa aineenvaihdunnan tuloksena muodostuva hiilidioksidi kulkeutuu veren mukana keuhkoihin poistettavaksi uloshengityksen mukana. Kvantitatiivisesti tärkein hiilidioksidin kuljetusmuoto veressä on veriplasmaan liuennut vetykarbonaatti-ioni, jonka muodostumiseen myös punasolut osallistuvat.

a) Kuva reaktioyhtälöiden ja kaavioiden avulla kudoksessa muodostuneen  $\text{CO}_2$ :n muuntuminen veriplasman vetykarbonaatti-ioniksi. Nimeä reaktiosarjan osareaktioita mahdollisesti katalysoivat entsyymit. Kuva myös, mitkä reaktiosarjan aineet siirtyvät solukalvon läpi ja millä tavoilla nämä siirtymiset tapahtuvat. (10 p)

b) Kuvassa 3 on esitetty oksihemoglobiinin dissosiaatiokäyrät kehon lämpötiloissa  $37^\circ\text{C}$  ja  $42^\circ\text{C}$ . Koska saunomisen aikana kehon lämpötila kohoaa, niin mitä dissosiaatiokäyrien perusteella voidaan päätellä saunomisen vaikutuksesta hapen sitoutumiseen keuhkoissa ja siirtymiseen kudoksiin verrattuna tilanteeseen, jossa kehon lämpötila on normaali? (6 p)



Kuva 3

**Tehtävä 8****11 pistettä**

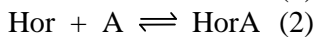
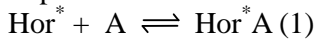
Normaalisti valtimoveren hiilidioksidiosapaine ( $p\text{CO}_2$ ) on 5,33 kPa, pH 7,40 ja vetykarbonaatti-ionin konsentraatio 26,6 mmol/l. Saunomisen aikana hiilidioksidin osapaine voi kohota kapillaariveren plasmassa arvoon 7,15 kPa ja veren pH laskea arvoon 7,26. Mitkä ovat tällöin kapillaariveren plasmaan liunneen hiilidioksidin ja vetykarbonaatti-ionin konsentraatiot (mmol/l)? Muita mahdollisia veren pH-arvoon vaikuttavia tekijöitä ei oteta huomioon.

**Tehtävä 9****14 pistettä**

Millä mekanismeilla elimistö pyrkii kompensoimaan saunomisen yhteydessä tapahtuvaa suolanmenetystä?

**Tehtävä 10****14 pistettä**

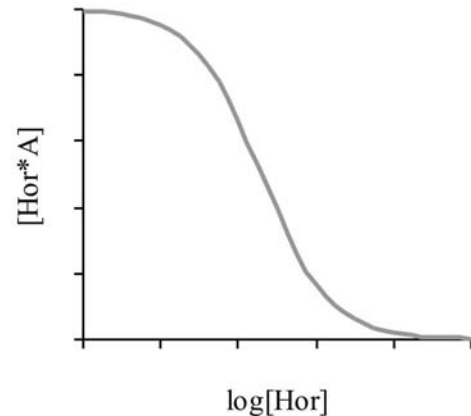
RIA on eräs klassinen tapa määrittää esim. veren hormonipitoisuus. RIA:aan tarvitaan hormonia spesifisesti sitova vasta-aine (A), radioaktiivisesti merkitty hormoni ( $\text{Hor}^*$ ) sekä näyte, jonka sisältämän hormonin (Hor) pitoisuus mitataan. Näytteen sisältämä hormoni kilpailee radioaktiivisen hormonin kanssa sitoutumisesta vasta-aineeseen.



Voimassa ovat siis tasapainot  $K_1 = \frac{[\text{Hor}^* \text{A}]}{[\text{Hor}^*][\text{A}]}$  ja  $K_2 = \frac{[\text{HorA}]}{[\text{Hor}][\text{A}]}$ .

Yksinkertaistuksen vuoksi oletamme, että jokainen vasta-ainemolekyyli sitoo vain yhden hormonimolekyylin.

Kun reaktiot ovat saavuttaneet tasapainon,  $\text{Hor}^* \text{A}$  eristetään ja sen pitoisuus ( $[\text{Hor}^* \text{A}]$ ) määritetään radioaktiivisuuden mittauksen avulla.  $[\text{Hor}^* \text{A}]$  on em. reaktioiden pohjalta kääntäen verrannollinen näytteen sisältämän hormonin pitoisuuteen (mitä pienempi radioaktiivisuus, sitä suurempi näytteen hormonipitoisuus; ks. kuva 4). Hormonipitoisuus näytteessä voidaan laskea, koska A:n ja  $\text{Hor}^*$ :n pitoisuudet ja reaktioiden tasapainovakiot tunnetaan.



Kuva 4

Eräs koetilanne, jossa näytteen hormonikonsentraatio määritettiin:

Reaktioseokset (kokonaistilavuus =  $V = 1,000 \text{ ml}$ )

- verrokkiseos (ei näytettä): 0,800 ml puskuriliuosta, 0,100 ml vasta-ainetta sisältävää liuosta (A-liuos) ja 0,100 ml radioaktiivista hormonia sisältävää liuosta ( $\text{Hor}^*$ -liuos)

- näytteen sisältävä seos: 0,600 ml puskuriliuosta, 0,200 ml näytettä, 0,100 ml A-liuosta ja 0,100 ml  $\text{Hor}^*$ -liuosta

- vasta-aineen kokonaiskonsentraatio (kummassakin seoksessa)

$$= C_A = [\text{A}] + [\text{Hor}^* \text{A}] + [\text{HorA}] = 1,00 \cdot 10^{-16} \text{ mol/l}$$

- radioaktiivisen hormonin kokonaiskonsentraatio (kummassakin seoksessa)

$$= C_{\text{Hor}^*} = 3,00 \cdot 10^{-10} \text{ mol/l}$$

$$K_1 = K_2 = 3,00 \cdot 10^9 \text{ l/mol}$$



Verrokkiseoksessa (ei näytettä;  $C_{\text{Hor}} = 0$ )  $[\text{Hor}^* \text{A}] = 4,74 \cdot 10^{-17}$  mol/l (tasapainotila). Näytettä sisältävässä seoksessa  $[\text{Hor}^* \text{A}] = 3,74 \cdot 10^{-17}$  mol/l (tasapainotila).

Laske edellä mainitussa koetilanteessa olevien vakioiden ja mittaustulosten perusteella alkuperäisen näytteen hormonikonsentraatio. Oleta, että vapaiden hormonien (Hor ja  $\text{Hor}^*$ ) konsentraatio reaktioseoksessa ei muutu merkittävästi niiden sitoutuessa A:han (ylimäärä  $\text{Hor}^*$ :a ja Hor:a suhteessa A:han) eli  $C_{\text{Hor}^*} \approx [\text{Hor}^*]$  ja  $C_{\text{Hor}} \approx [\text{Hor}]$ . Vihje: ratkaisu saadaan  $C_A$ :n lausekkeesta.

### Tehtävä 11

18 pistettä

Kun erästä saunaa, jonka tilavuus on  $7,28 \text{ m}^3$ , lämmitetään koivuhaloilla, kestää saunan lämpötilan nousu huoneenlämmöstä ( $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ) saunomislämpötilaan ( $85 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 65 min ja energiaa saunan lämmittämiseen kuluu 22 MJ.

a) Kiuas korvataan sähkökiukaalla, jossa kolme identtistä vastusta on kukin erikseen kytketty 230 V teholliseen jännitteeseen. Kuinka suuri pitää kunkin vastuksen resistanssin olla, jotta lämmitysaika pysyisi samana? (5 p)

b) Jos saunan ilma on täysin kuivaa ja ilmanpaine saunassa on 105 kPa kun saunomislämpötila saavutetaan, niin kuinka suuri osuus lämmitykseen käytetystä energiasta on kulunut sillä hetkellä saunassa olevan ilman lämmittämiseen? Tässä oletetaan, että ilman lämpötila on kaikkialla saunassa sama.  $c_{p,\text{ilma}} = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ,  $\rho_{\text{ilma}}(85 \text{ }^\circ\text{C}) = 1,02 \text{ kg}/\text{m}^3$  (5 p)

c) Mikäli kiukaalle heitetään 2,5 dl vettä ( $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ), joka höyrystyy kokonaan, ja oletetaan, ettei ilma (hetkellisesti) pääse poistumaan saunasta sekä odotetaan, kunnes lämpötila ja ilmankosteus saunan sisällä ovat tasaantuneet, niin kuinka paljon ilmanpaine saunassa on noussut löylynheittoa edeltävään hetkeen verrattuna? Voit käsitellä sekä ilmaa että vesihöyryä ideaalikaasuina ja voit olettaa niiden olevan kaikkialla saunassa  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa. (8 p)

Maan painovoiman aiheuttama putoamiskiihtyvyyys  $9,81 \text{ m/s}^2$   
 Äänen nopeus ilmassa  $334 \text{ m/s}$   
 Veden tiheys  $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  ( $0^\circ \text{C} - 100^\circ \text{C}$ )  
 Veren tiheys  $1050 \text{ kg/m}^3$   
 Elohopean tiheys  $13600 \text{ kg/m}^3$   
 Planckin vakio  $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$   
 Veden höyrystymislämpö  $2620 \text{ kJ/kg}$   
 Veden ominaislämpökapasiteetti  $4,19 \text{ kJ/(K} \cdot \text{kg)}$   
 Elektronin varaus  $e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
 Avogadron luku  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} / \text{mol}$   
 $0^\circ \text{C} = 273,15 \text{ K}$   
 Yleinen kaasuvakio  $R = 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$   
 Faradayn luku  $F = 96,5 \cdot 10^3 \text{ C/mol}$   
 Ideaalikaasun moolitilavuus  $V_m = 22,41 \text{ l/mol}$  (NTP)  
 Kuivan ilman tiheys  $1,29 \text{ kg/m}^3$  (NTP)  
 Valon nopeus  $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   
 Stefan-Boltzmannin vakio  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$   
 $k = 1$  mustalle kappaleelle  
 $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$   
 $1 \text{ curie} = 1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$   
 $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$   
 protoni:  $m_p = 1,6726586 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 neutroni:  $m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 atomimassayksikkö:  $m_u = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m_p = 1,0072825 m_u$   
 $m_n = 1,0086650 m_u$

$$K = \frac{[A^-][HB^+]}{[HA][B]}$$

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$$

$$K_a = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$\frac{[A^-]}{[HA] + [A^-]} = \frac{1}{1 + 10^{(pK_a - pH)}}$$

$$\frac{[HA]}{[HA] + [A^-]} = \frac{1}{1 + 10^{(pH - pK_a)}}$$

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_a \cdot C_{tot}}$$

$$V_0 / V_{max} = \frac{[S]}{K_m + [S]}$$

$$c = Hp_0$$

$$J_d = -D \frac{dc}{dx}$$

$$D^0 = \sqrt[3]{\frac{\rho N_A}{162\pi^2} \frac{kT}{\eta}} M^{-1/3}$$

$$\frac{J_d}{\Delta c} = P = \frac{KD}{\Delta x}$$

$$P = \phi D / \Delta x$$

$$\Pi = RTc$$

$$\Pi = nRT / V$$

$$\Pi = \phi RTc$$

$$\Pi = \sum \Pi_i = \sum \frac{n_i RT}{V}$$

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln c_i + Z_i FV$$

$$J_i = -\frac{c}{N_A f} \frac{d\mu_i}{dx} = -\frac{RT}{N_A f} \frac{dc_i}{dx} - \frac{cZ_i F}{N_A f} \frac{dV}{dx}$$

$$\mu^{0s} + RT \ln c^s + Z_i FV^s = \mu^{0u} + RT \ln c^u + Z_i FV^u$$

$$\Delta V = -\frac{RT}{ZF} \ln \frac{c^s}{c^u}$$

$$J = -D \left( \frac{dc}{dx} + Zc \frac{F}{RT} \frac{dV}{dx} \right)$$

$$\Delta V = V_s - V_u = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{Na} c_{Na}^u + P_K c_K^u + P_{Cl} c_{Cl}^s}{P_{Na} c_{Na}^s + P_K c_K^s + P_{Cl} c_{Cl}^u}$$

$$\frac{c_K^s}{c_K^u} = \frac{c_{Cl}^u}{c_{Cl}^s}$$

$$(c_{Cl}^u + |Z_p| c_p^u) c_{Cl}^0 = c_K^s c_{Cl}^s$$

$$\Delta \Pi = RT \Delta c = RT (c_K^u + c_{Cl}^u + c_p^u - c_K^s - c_{Cl}^s)$$

$$I = C_m \frac{dE}{dt} + g_{Na} (E - E_{Na}) + g_K (E - E_K) + g_l (E - E_l)$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$r = k(\lambda / NA)$$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

$$\lambda = 12,26 \cdot 10^{-10} \sqrt{U(1 + 0,978 \cdot 10^{-6} U)}$$

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}); \quad F = qvB \sin \alpha$$

$$F = m \omega^2 r = V(\rho_m - \rho_n) \omega^2 r$$

$$v = F / f = V(\rho_m - \rho_n) \omega^2 r / f$$

$$W = 1/2 J \omega^2$$

$$v = QE \frac{1}{6\pi r \eta}$$

$$U = Kdq / ti$$

$$\begin{aligned}
L &= U_f V t \\
I / I_0 &= 10^{-\varepsilon c d} \\
A &= \log_{10}(I_0 / I) \\
A &= \varepsilon c d \\
E_s &= [Z m_p + N m_n - m_\gamma] c^2 \\
A &= \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} \\
\lg A &= \lg A_0 - (\lg e) \lambda t \\
T_{1/2} &= \frac{\ln 2}{\lambda} \\
\lambda_e &= \lambda_f + \lambda_b \\
T_e &= \frac{T_f T_b}{T_f + T_b}, T_b = \frac{T_f T_e}{T_f - T_e} \\
A &= A_1 e^{-\lambda_1 t} + A_2 e^{-\lambda_2 t} \\
E_\gamma &= E_\gamma \left[ 1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \theta) \right]^{-1} \\
I &= I_0 e^{-\mu x} \\
H &= w_R D; \quad H_T = w_R D_T \\
E &= \sum_R \sum_T w_R w_T D_T; \quad \sum w_T = 1 \\
E &= hf = hc / \lambda; \quad E(\text{eV}) = 1240 / \lambda(\text{nm}) \\
f &= 1 / (2\pi \sqrt{LC}) \\
v &= \sqrt{\gamma RT / M} \\
v &= \sqrt{E / \rho} \\
I_0 &= 10^{-12} W / m^2 \\
\beta &= 10 \lg(I / I_0) \\
R &= 10 \lg(P_1 / P_2) = 10 \lg(1 / \tau) \\
\tau &= \frac{\tau_1 A_1 + \tau_2 A_2 + \dots}{A} \\
f &= f_0 \frac{c}{c \pm v}; \quad f = f_0 \frac{c \pm v}{c} \\
F &= mv^2 / r \\
T &= \sqrt{4\pi^2 (r / a)} \\
F &= m\omega^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} mr \\
F &= \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2} \\
\phi &= \frac{\lambda A \theta}{d} \\
q &= \frac{\lambda \theta}{d} \\
\phi &= h \cdot A \cdot \theta \\
\theta &= T_1 - T_2 \\
h &= h_{ik} = C |T_{iho} - T_{ilma}|^{0.25}, C = 2,38 \text{W} / (\text{K}^{5/4} \cdot \text{m}^2) \\
\frac{P}{A} &= \sigma T^4; \quad \frac{P}{A} = k \sigma T^4 \\
\phi_A &= h_h \frac{A_h}{A} (p_{ilma} - p_{iho}) \\
h &= 1/2 g t^2 \\
v &= v_0 + g t \\
h &= v_0 t + 1/2 g t^2 \\
\omega &= \omega_0 + \alpha t \\
\varphi &= \varphi_0 + \omega_0 t + 1/2 \alpha t^2 \\
T &= 2\pi / \omega \\
n &= 1 / t \\
a &= v^2 / r \\
F &= mv^2 / r = m\omega^2 r = (4\pi^2 / T^2) mr \\
y(x, t) &= y_{\max} \sin(\omega t - kx) \\
p(x, t) &= p_{\max} \cos(\omega t - kx) \\
\beta &= (10 \text{dB}) \lg(I / I_0) \\
I &= \Phi / \omega = \Phi_{\text{tot}} / 4\pi \\
E &= \Phi / A \\
L &= I / A; \quad [L] = cd / m^2 = 1 \text{Nit} = 1 \text{nitti} \\
L &= I_g / (A \cos \varepsilon) \\
(n_1 / a) + (n_2 / b) &= (n_2 - n_1) / r \\
f_2 &= [(n_2 - n_1) r + n_1 r] / (n_2 - n_1) = f_1 + r \\
(f_1 / f_2) &= (n_1 / n_2) \\
I &= I_0 e^{-\alpha t} \\
pV &= nRT \\
\frac{p_1 V_1}{T_1} &= \frac{p_2 V_2}{T_2} \\
V &= V_0 (1 + \alpha_v \Delta T) \\
p &= p_0 (1 + \alpha_p \Delta T) \\
Q &= c_p m \Delta T \\
W &= \gamma \Delta A \\
W &= F \Delta l \\
P_1 &= \frac{W_1}{\Delta t} = p A \frac{\Delta s}{\Delta t} = p A v \\
P_2 &= 1/2 \rho A \frac{\Delta s}{\Delta t} v^2 = 1/2 \rho v^3 A \\
P &= P_1 + P_2 = (p + 1/2 \rho v^2) q_v
\end{aligned}$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \rho (\langle v_i^2 \rangle + \langle v_p^2 \rangle) \langle q_v \rangle + (\langle p_1 \rangle + \langle p_2 \rangle) \langle q_v \rangle$$

$$\langle v_i^2 \rangle \approx \langle v_p^2 \rangle \approx 3,5 \langle v \rangle^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{3,5 \rho}{A^2} \langle q_v \rangle^3 + \frac{7}{6} \langle p_i \rangle \langle q_v \rangle$$

$$q_v = \frac{V}{t}$$

$$q_v = \frac{Al}{t} = Av_k$$

$$q_m = \frac{m}{t} = \rho \frac{V}{t} = \rho q_v = \rho Av_k$$

$$q_{v1} = A_1 v_1 = A_2 v_2 = q_{v2}$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{vakio}$$

$$\frac{E_k}{V} = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{V} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\frac{E_p}{V} = \frac{mgh}{V} = \rho gh$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F_s}{A_s} = \frac{W}{V}$$

$$c = \sqrt{(\Delta p / \Delta V)(V / p)}$$

$$F = (EA/l)(\Delta l)$$

$$R = \Delta p / q_v = 8\eta L / (\pi r^4)$$

$$PRU = \Delta p (\text{mmHg}) / q_v (\text{ml} / \text{s})$$

$$PVR = 80(PA_m - LA_m) / V_p$$

$$SVR = 80(AO_m - RA_m) / V_p$$

$$q_v = \frac{\pi \Delta p R^4}{8\eta L}$$

$$Re = \frac{\rho v R}{\eta}$$

$$v = \frac{2(\rho - \rho_0)gr^2}{9\eta}$$

$$W = Fs$$

$$E_p = mgh$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_r = \frac{1}{2} J \omega^2$$

$$P = W / t$$

$$\eta = W_a / W_o$$

$$\eta = (W_a / t) / (W_o / t) = P_a / P_o$$

$$TT - \text{luku} = 1000 \frac{\mu(x,y,z) - \mu_{\text{vesi}}}{\mu_{\text{vesi}}}$$

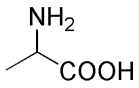
$$R = \left( \frac{v_1 \rho_1 - v_2 \rho_2}{v_1 \rho_1 + v_2 \rho_2} \right)^2$$

$$\Delta f = 2 f v \cos \alpha / c$$

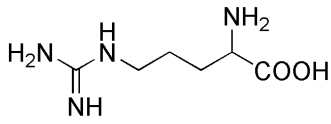
$$M = F \cdot r$$

$$I = A^2$$

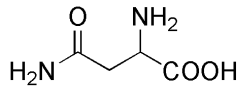
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	II	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb		VIIIb		Ib	IIb	III	IV	V	VI	VII	VIII
<sup>1</sup> H 1.0079																	<sup>2</sup> He 4.0026
<sup>3</sup> Li 6.9412	<sup>4</sup> Be 9.0121											<sup>5</sup> B 10.811	<sup>6</sup> C 12.010	<sup>7</sup> N 14.006	<sup>8</sup> O 15.999	<sup>9</sup> F 18.998	<sup>10</sup> Ne 20.179
<sup>11</sup> Na 22.989	<sup>12</sup> Mg 24.305											<sup>13</sup> Al 26.981	<sup>14</sup> Si 28.085	<sup>15</sup> P 30.973	<sup>16</sup> S 32.065	<sup>17</sup> Cl 35.453	<sup>18</sup> Ar 39.948
<sup>19</sup> K 39.098	<sup>20</sup> Ca 40.078	<sup>21</sup> Sc 44.955	<sup>22</sup> Ti 47.867	<sup>23</sup> V 50.941	<sup>24</sup> Cr 51.996	<sup>25</sup> Mn 54.938	<sup>26</sup> Fe 55.845	<sup>27</sup> Co 58.933	<sup>28</sup> Ni 58.693	<sup>29</sup> Cu 63.546	<sup>30</sup> Zn 65.409	<sup>31</sup> Ga 69.723	<sup>32</sup> Ge 72.641	<sup>33</sup> As 74.921	<sup>34</sup> Se 78.963	<sup>35</sup> Br 79.904	<sup>36</sup> Kr 83.798
<sup>37</sup> Rb 85.467	<sup>38</sup> Sr 87.621	<sup>39</sup> Y 88.905	<sup>40</sup> Zr 91.224	<sup>41</sup> Nb 92.906	<sup>42</sup> Mo 95.942	<sup>43</sup> Tc 98.906	<sup>44</sup> Ru 101.07	<sup>45</sup> Rh 102.90	<sup>46</sup> Pd 106.42	<sup>47</sup> Ag 107.86	<sup>48</sup> Cd 112.41	<sup>49</sup> In 114.81	<sup>50</sup> Sn 118.71	<sup>51</sup> Sb 121.76	<sup>52</sup> Te 127.60	<sup>53</sup> I 126.90	<sup>54</sup> Xe 131.29
<sup>55</sup> Cs 132.90	<sup>56</sup> Ba 137.32	<sup>57</sup> La 138.90	<sup>72</sup> Hf 178.49	<sup>73</sup> Ta 180.94	<sup>74</sup> W 183.84	<sup>75</sup> Re 186.20	<sup>76</sup> Os 190.23	<sup>77</sup> Ir 192.21	<sup>78</sup> Pt 195.08	<sup>79</sup> Au 196.96	<sup>80</sup> Hg 200.59	<sup>81</sup> Tl 204.38	<sup>82</sup> Pb 207.21	<sup>83</sup> Bi 208.98	<sup>84</sup> Po 208.98	<sup>85</sup> At 209.98	<sup>86</sup> Rn 222.01
<sup>87</sup> Fr 223.01	<sup>88</sup> Ra 226.02	<sup>89</sup> Ac 227.02	<sup>104</sup> Rf 261.10	<sup>105</sup> Db 262.11	<sup>106</sup> Sg 266.12	<sup>107</sup> Bh 264.12	<sup>108</sup> Hs	<sup>109</sup> Mt	<sup>110</sup> Ds	<sup>111</sup> Rg	<sup>112</sup> Uub	<sup>113</sup> Uut	<sup>114</sup> Uuq	<sup>115</sup> Uup	<sup>116</sup> Uuh	<sup>117</sup> Uus	<sup>118</sup> Uuo
Lantanoidit				<sup>58</sup> Ce 140.11	<sup>59</sup> Pr 140.90	<sup>60</sup> Nd 144.24	<sup>61</sup> Pm 146.91	<sup>62</sup> Sm 150.36	<sup>63</sup> Eu 151.96	<sup>64</sup> Gd 157.25	<sup>65</sup> Tb 158.92	<sup>66</sup> Dy 162.50	<sup>67</sup> Ho 164.93	<sup>68</sup> Er 167.25	<sup>69</sup> Tm 168.93	<sup>70</sup> Yb 173.04	<sup>71</sup> Lu 174.96
Aktinoidit				<sup>90</sup> Th 232.03	<sup>91</sup> Pa 231.03	<sup>92</sup> U 238.02	<sup>93</sup> Np 237.04	<sup>94</sup> Pu 244.06	<sup>95</sup> Am 243.06	<sup>96</sup> Cm 247.07	<sup>97</sup> Bk 247.07	<sup>98</sup> Cf 251.07	<sup>99</sup> Es 252.08	<sup>100</sup> Fm 257.09	<sup>101</sup> Md 258.09	<sup>102</sup> No 259.10	<sup>103</sup> Lr 260.10



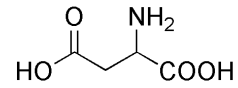
Alaniini, Ala, A



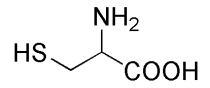
Arginiini, Arg, R



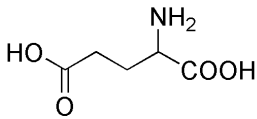
Asparagiini, Asn, N



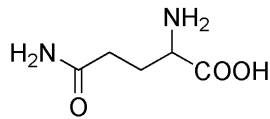
Asparagiinihappo, Asp, D



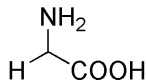
Kysteiini, Cys, C



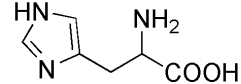
Glutamiinihappo, Glu, E



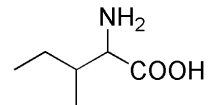
Glutamiini, Gln, Q



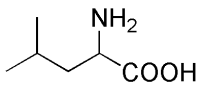
Glysiini, Gly, G



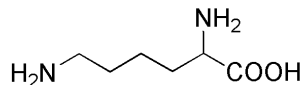
Histidiini, His, H



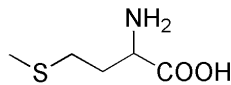
Isoleusiini, Ile, I



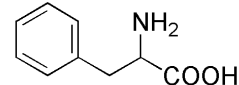
Leusiini, Leu, L



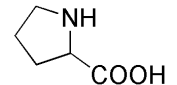
Lysiini, Lys, K



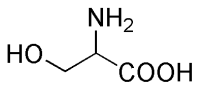
Metioniini, Met, M



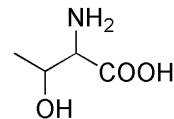
Fenyylialaniini, Phe, F



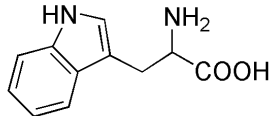
Prolini, Pro, P



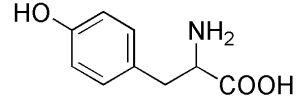
Seriini, Ser, S



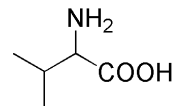
Treoniini, Thr, T



Tryptofaani, Trp, W



Tyrosiini, Tyr, Y



Valiini, Val, V

**DNA:n koodaamat aminohapot perusmuodossaan**

typpi	0,0054
happi	0,011
hiilidioksidi	0,250

**Henryn vakion arvoja eri kaasuille 37 °C:ssa,  $\mu\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{Pa})$**