



## Marja-Tellervo Mäkinen

LT, erikoislääkäri  
Hyks, ATeK, Leikkaussalit-linja,  
Meilahden sairaalan leikkausosasto  
makinentelle[a]gmail.com

# ZERO-HEAT-FLUX

## – NONINVASIIVINEN SYVÄN LÄMPÖTILAN MITTAUSMENETELMÄ

Kevyellä ihoanturilla voidaan monitoroida ydinlämpötilaa otsalta hereillä, leikkauksen aikana ja jatkohoidossa. Edistyksellinen ZHF-tekniikka auttaa torjumaan viiveet potilaan lämpötasapainon hallinnassa.

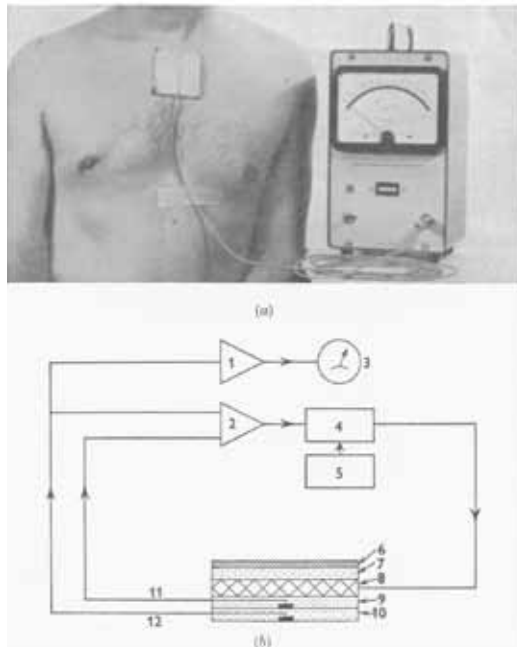
**P**eriperatiivisen hypotermian haitat, kuten hyytymishäiriöt (1), epämiellyttävä herääminen, toipumisen pitkittyminen (2) ja lisääntynyt kuolleisuus (3), on osoitettu. Haavainfektiot (2, 4) ja sydäntapahtumat (5) ilmenevät viiveellä, joten niitä ei ehkä osata yhdistää leikkauksen aikaiseen jäähtymiseen. Normotermian ylläpito edellyttää tarkkaa ydinlämpötilan mittaamista. Jatkuva monitorointi edistää myös odottamattoman lämmön nousun havaitsemista. Aiheuttajana voi olla infektio, liiallinen lämmitys, myrkytys tai maligni hypertermia (6). Luotettavat ydinlämpötilan mittauspisteet, keuhkovaltimo, ruokatorvi, nenänielu ja tärykalvo, ovat kajoavia, epämukavia potilaalle hereillä ja jopa altistavat komplikaatioille (7). Ideaalisen

ydinlämmönmittauksen pitäisi olla kajoamaton, tarkka myös isojen fysiologisten muutosten aikana, helppokäyttöinen, ja sen pitäisi mitata, näyttää ja tallentaa lukemat jatkuvasti. Ihon lämpötilaa, esimerkiksi otsalta mitattuna, on käytetty ydinlämpötilan arvioimiseen sellaisenaan tai laskenta-kaavioilla korjaten. Ihon lämpötila on kuitenkin yleensä asteita matalampi kuin kehon syvempien osien ja muutokset eivät välttämättä seuraa ydinlämpötilan muutoksia.

### Alkuperäinen ZHF-laite Lontoossa

1970-luvun alussa Fox ja Solman esittelivät laitteen (8), jolla voi mitata ihmisen syvää lämpötilaa ehjältä ihon pinnalta (Kuva 1). Tekniikka perustuu

Ideaalisen ydinlämmönmittauksen pitäisi olla kajoamaton, tarkka myös isojen fysiologisten muutosten aikana, helppokäyttöinen, ja sen pitäisi mitata, näyttää ja tallentaa lukemat jatkuvasti.



Kuva 1. Fox & Solman ZHF-laite: (a) Anturi ihoon liimattuna ja vieressä ohjausyksikkö lämpömittareineen. (b) Ohjauspiirin kaavakuva ja ihoanturin poikkileikkaus. 1) mittausvahvistin, 2) komparaattori, 3) lämpömittarin näyttö, 4) transistorikytkin, 5) ohjauspiiri, 6) ja 7) eristyskerroksia, 8) lämmitin, 9) ja 10) eristyskerroksia, 11) johto ulompaan termistoriin, 12) johto sisempään termistoriin. (From Fox RH, Solman AJ. A new technique for monitoring the deep body temperature in man from the intact skin surface. J Physiol 1971; 212: 8p-10p.)

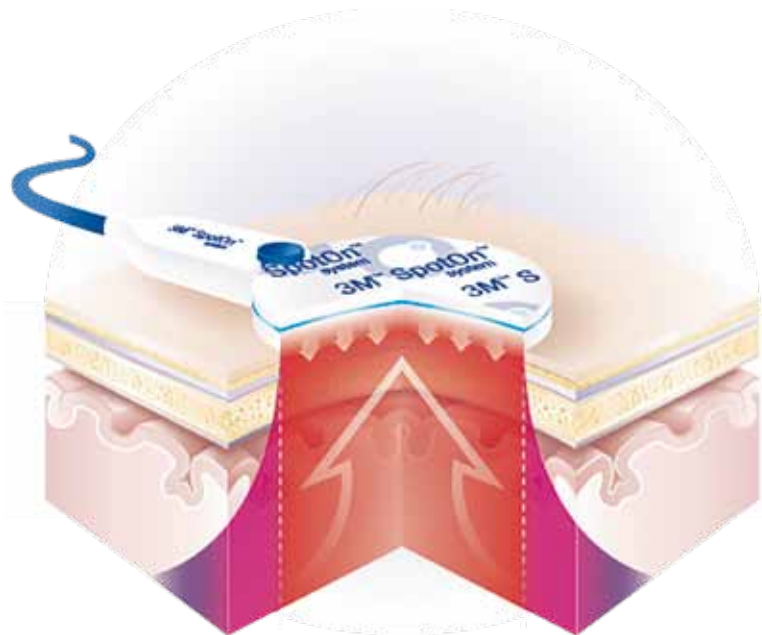
lämpövirtauksen nollaantumiseen (*zero-heat-flux/flow* = ZHF) syvien kudosten ja ihon pinnan välillä, kun ihoalue peitetään eristeellä. Lämpö nousee syvältä pintaan. Muodostuu ”tasalämpöinen tunneli”, jolloin ydinlämpötila on mitattavissa iholta (Kuva 2). Täydellisen eristeen puuttuessa lämpövirtauksen lopulliseen tasaantumiseen kuuluu ääretön aika. Ratkaiseva keksintö oli lisätä ihoelektrodiin on-off servo-ohjattu lämmitysyksikkö, jolla nopeutettiin lämpötilan tasaantumista syvien kudosten ja ihon välillä (Kuva 1). Alkutasautumisajaksi saatiin 20 minuuttia. Laitteen ohut (0,6 cm) neliskulmainen (6 cm x 6 cm) ihoanturi liimattiin rintalastan yläosaan ja mittauksia verrattiin menestyksellä ydin- ja iholämpötiloihin erilaisissa ympäristöoloissa, levossa ja rasituksessa, sekä aiheuttamalla koehenkilölle kuumeen nousu suoneen injisoidulla pyrogeenillä (9). Myöhemmin anestesian aikana mitatut potilaiden ZHF-lämpötilat olivat verrannollisia ruokatorvesta ja tärykalvolta mitattuihin ydinlämpötiloihin (10). Keksijät uskoivat, että laitteen suorituskyky, käyttäjäystävällisyys ja suhteellinen edullisuus osoittautuisivat arvokkaiksi fysiologisissa tutkimuksissa, jotka vaativat pitkää lämpötilan seurantaa, ja erityisesti kliinisen lääketieteen potilasmonitoroinnissa. Laite patentoitiin, mutta sen käytöstä ei ole löytynyt lisää julkaisuja.

### Tuotekehittely ja käyttö Japanissa

Tekniikkaa kehitettiin edelleen Japanissa, muun muassa anturin eristysaluetta paranneltiin lisäämällä siihen metallikuori (11). Tasaantumisaikaa pyrittiin lyhentämään. Potilaselektrodi sijoitettiin eri paikkoihin keholle, esim. otsalle tai niskaan. Togawa julkaisi 1979 kattavan katsauksen non-invasiivisesta kehon ”syvän lämpötilan” mittauksesta (12). Näitä japanilaisia, lähinnä Terumon, ZHF-laitteita on käytetty Japanissa jatkuvasti (13, 14) ja muualla, lähinnä USA:ssa (15, 16),

>>

## Kajoamaton tarkka on-line ydinlämmön monitorointi edistää normotermian ylläpitoa.



Kuva 2. Isotermisen tunnelin muodostuminen ZHF-ihoanturin alla. On-off servo-kontrolli säätelee ihoanturin lämmitintä kunnes lämpötila kudoksissa tietyllä syvyydellä ja ihon pinnalla on sama, siis lämpövirtaus syvältä pintaan on nolautunut eli = zero.



Kuva 3. SpotOn™ potilasanturi otsalla ja ohjausyksikkö, "Barbie-telkkari", taka-alalla isomman monitorin vasemmalla puolella.

satunnaisesti. Näissä julkaisuissa on osoitettu menetelmän soveltuvuus leikkauspotilaan ydinlämpötilan monitorointiin. Lämpötilan mittauksen syvyydeksi on saatu 18 millimetriä vertaamalla alaraajassa ZHF lämpötilaa eri syvyyksissä neula-elektrodeilla saatuihin lämpötiloihin (17). Käyttöä ovat ilmeisesti rajoittaneet melko pitkäksi jäänyt alkutasaantumisaika, 15 minuuttia (18), hankalaksi mainitut uudelleenkäytettävät potilasanturit, sekä huono saatavuus ja korkeana pidetty hinta.

### Uudet ZHF-laitteet Euroopassa ja USA:ssa

2000-luvulla on julkaistu muutamia uusia ZHF-laitteita. Philipsin NICCT (*non-invasive continuous cerebral vs. core temperature*) järjestelmässä on lämmityselementti, otsaelektrodi on suhteellisen kookas. Kojetta on testattu aivojen lämpötilan arvioinnissa viilennyshoidon aikana ja koehenkilöillä erilaisissa ulkolämpötiloissa ja rasituksessa (19).

Drägerin "Dual-sensor" lämpötilan mittausjärjestelmässä ei ole lämmityselementtiä. Ydinlämpötila, joka lasketaan kaavalla, on viimeisimmässä mallissa arvioitu riittävän tarkaksi sekä anestesian että spinaalipuudutuksen aikana (20).

SpotOn™ ZHF-lämmönmittauslaite on jo käytössä useilla anestesiaosastoilla Suomessa (3M™ SpotOn™ lämpötilanseurantajärjestelmä malli 370, MN, USA). Alkutasaantumisaika on lyhennetty muutama minuuttiin. Lämpötilat saadaan anestesia-monitorin näyttöön jatkuvana ja voidaan myös tallentaa sairaalan tietojärjestelmään. Laite on pieni (Kuva 3). Pyöreän potilasanturin läpimitta on 4,1 cm ja paksuus 0,5 cm. Siinä on kaksi lämpösensoria, eristeitä, lämmitin ja ihotarra (Kuva 4). Rakenteeltaan hyvin samanlaiselta kuin alkuperäisen Fox & Solman keksinnön ihoanturin kerrokset (Kuva 1). Äskettäin on julkaistu perusteellinen tutkimus, jossa arvioitiin tämän laitteen prototyyppiä ydinlämmön monitoroinnissa sydänanestesioiden aikana ja neljä tuntia postoperatiivisesti. Mittauksia verrattiin keuhkovaltimon lämpötilaan, ennen perfuusiotia ja sen jälkeen. Prototyypin todettiin antavan luotettavan arvion ydinlämpötilasta jatkuvana



Kuva 4. SpotOn™ ZHF-ihoanturin kerrokset ylhäältä alas: ihoon liimattava tausta, potilaslämpömittarin termistori, eristävä vahtokerros, joustava piirilevy, eristävä vahtokerros.

mittauksena vakiintuneeseen ZHF tekniikkaan perustuen (21).

## Lopuksi

Kajoamaton tarkka on-line ydinlämmön monitorointi edistää normotermin ylläpitoa. Mittaus voidaan aloittaa vaivatta hereillä, jatkaa toimenpiteiden aikana sekä edelleen heräämössä ja teho- tai vuodeosastolla. Alkulämpötilan tarkka määrittäminen hereillä lisää luotettavuutta sekä potilasvalvonnassa että tutkimusmittauksissa. Fox ja Solman taisivatkin osua oikeaan uskoessaan ZHF menetelmänsä erinomaiseen käyttökelpoisuuteen. ■

## Sidonnaisuudet

Kirjoittaja on 3M Patient Temperature Management Advisory Board -asiantuntijaryhmän jäsen.

## Viitteet

- Rajagopalan S, Mascha E, Na J, Sessler DI. Effects of mild perioperative hypothermia on blood loss and transfusion requirement. *Anesthesiology* 2008; 108: 71-7.
- Kurz A, Sessler DI, Lenhardt R. Perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. *N Eng J Med* 1996; 334: 1209-15.
- Karalappilai D, Story DA, Calzavacca P, ym. Inadvertent hypothermia and mortality in postoperative intensive care patients: retrospective audit of 5050 patients. *Anaesthesia* 2009; 64: 968-72.
- Seamon MJ, Wobb J, Gaughan JP, ym. The effects of intraoperative hypothermia on surgical site infection. *Ann Surg* 2012; 255: 789-95.
- Frank SM, Fleisher LA, Breslow MJ, ym. Perioperative maintenance of normothermia reduces the incidence of morbid cardiac events. *JAMA* 1997; 277: 1127-34.
- Larach MG, Brandom BW, Allen GC, ym. Malignant hyperthermia deaths related to inadequate temperature monitoring, 2007–2012: a report from the North American malignant hyperthermia registry of the malignant hyperthermia association of the United States. *Anesth Analg* 2014; 119: 1359-66.
- Sessler DI. Temperature monitoring and perioperative thermoregulation. *Anesthesiology* 2008; 109: 318-38.
- Fox RH, Solman AJ. A new technique for monitoring the deep body temperature in man from the intact skin surface. *J Physiol* 1971; 212: 8p-10p.
- Fox RH, Solman AJ, Isaacs R, ym. A new method for monitoring deep body temperature from the skin surface. *Clin Sci* 1973; 44: 81-6.
- Singer B, Lipton B. Monitoring of core temperature through the skin: a comparison with esophageal and tympanic temperatures. *Bull N Y Acad Med* 1975; 51: 947-52.
- Kobayashi T, Nemoto T, Kamiya A, Togawa T. Improvement of deep body thermometer for man. *Ann Biomed Eng* 1975; 3: 181-8.
- Togawa T. Non-invasive deep body temperature measurement. Kirjassa: Rolfe P, toim. *Non-invasive physiological measurements*. Vol 1. London: Academic Press, 1979: 261-77.
- Harioka T, Matsukawa T, Ozaki M, ym. "Deep-forehead" temperature correlates well with blood temperature. *Can J Anaesth* 2000; 47: 980-3.
- Akata T, Setoguchi H, Shirozu K, Yoshino J. Reliability of temperatures measured at standard monitoring sites as an index of brain temperature during deep hypothermic bypass conducted for thoracic aortic reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; 133: 1559-65.
- Muravchick S. Deep body thermometry during general anesthesia. *Anesthesiology* 1983; 58: 271-5.
- Langham GE, Maheshwari A, Contrera K, ym. Noninvasive temperature monitoring in postanesthesia care units. *Anesthesiology* 2009; 111: 90-6.
- Matsukawa T, Kashimoto S, Ozaki M, ym. Temperatures measured by a deep body thermometer (Coretemp®) compared with tissue temperatures measured at various depths using needles placed into the sole of the foot. *Eur J Anaesthesiol* 1996; 13: 340-5.
- Kitamura KI, Zhu X, Chen W, Nemoto T. Development of a new method for the noninvasive measurement of deep body temperature without a heater. *Med Eng Phys* 2010; 32: 1-6.
- Teunissen LP, Klewer J, de Haan A, ym. Non-invasive continuous core temperature measurement by zero heat flux. *Physiol Meas*. 2011; 32: 559-70.
- Kimberger O, Saager L, Egan C, ym. The accuracy of a disposable noninvasive core thermometer. *Can J Anesth* 2013; 60: 1190-6.
- Eshraghi Y, Nasr V, Parra-Sanchez I, ym. An evaluation of a zero-heat-flux cutaneous thermometer in cardiac surgical patients. *Anesth Analg* 2014; 119: 543-9.