

# Hengitysmallin mittaus hengitysenduktiivisella pletysmografilla - toisenlainen lähestymistapa hengityksen monitorointiin

*Kari Leino*

---

Olemme tottuneet monitoroimaan spontaanisti hengittävän potilaan hengityksen riittävyttä noninvasiivisesti pulssioksimetrillä. Tarkemmin hapetusta ja ventilaatiota voidaan arvioida ottamalla verikaasuanalyysiä varten arterianäyte, mutta se onkin jo invasiivinen toimenpide – tosin anestesia- ja lääkehoitoon tavanomainen ja yleensä helposti toteutettavissa. Hengitysmallin mittaaminen on eräs, kliinisessä työssä lähes tuntematon, tapa arvioida ventilaatiota. Tämän katsauksen tavoitteena on kertoa lyhyesti hengitysmallista ja hengitysenduktiivisesta pletysmografiasta ja valottaa, mitä mahdollisuuksia hengitysmallin mittaaminen voisi antaa.

---

## Teoria ja käytäntö

Hengitysmalli (breathing pattern) tarkoittaa yksinkertaisimmillaan hengitysfrekvenssin ja kertahengitysvolyymien mittaamista. Olennaisena osana hengitysmalliin kuuluvat myös hengitysajat; sisään- ja uloshengitysaika, sisäänhengityssajan ja hengityssyklin kokonaisajan suhde ( $T_I/T_{TOT}$ ) sekä rintakehähengityksen osuus kertahengitysvolyymistä ( $RC/V_T$ ). Myös sisäänhengityksen keskivirtaus ( $V_T/T_I$ ) voidaan sisällyttää mittauksiin. Erotuksena hengitysmekaniikasta, johon hengitysmalli joskus voidaan sotkea, tarkasteltaviin suuriin eivät kuulu staattiset tai dynaamiset ilmatiepaineet, sisään- ja uloshengitysvirtaukset ajan funktiona, tai johdetut suureet kuten komplianssi. Hengitysmekaniikan mittaukseen tarvitaan aina pneumotakometri.

Hengitysmalliakin voidaan lyhytaikaisesti mitata spirometrillä tai pneumotakometrillä. Ne ovat kuitenkin invasiivisia menetelmiä ja lisäksi menetelmissä tarvittavan suukappaleen tai tiukan maskin on todettu aiheuttavan muutoksia mitattaviin suuriin. Hengitysenduktiivinen pletysmografia (respiratory inductive plethysmography) puolestaan on noninvasiivinen menetelmä, joka

ei vääristä mitattavia suureita. Hengitysenduktiivinen pletysmografia tukeutuu periaatteeseen, jonka mukaan hengityssysteemin tilavuusmuutokset voidaan määrittellä kahden vapausasteen mukaan. Käytännössä vatsan alueen ja rintakehän tilavuusmuutoksien summa vastaa tilavuuden kokonaisuudesta suusta mitattuna. Nämä tilavuusmuutokset voidaan mitata rintakehän ja vatsan ympärille asetettavilla, erillisillä ja pituudeltaan säädeltävillä, mittausvoilla. Nämä anturit rekisteröivät sähköisen induktanssin vaihtelun perusteella muutokset rintakehän ja vatsan poikkipinta-alassa, joka muunnetaan lopulta sähköiseksi aaltomuodoksi. Tämä sähköinen amplitudi voidaan lyhyellä pneumotakometrin ja hengitysenduktiivisen pletysmografian samanaikaisella käytöllä tilavuuskalibroida, jolloin lopputuloksena saadaan oikea hengitysvolyymi. Monitorointi ilman tilavuuskalibrointia on mahdollista, mutta tällöin kertahengitysvolyymille ei ole absoluuttista tilavuusarvoa ja sen muutoksia on käsiteltävä vain suhteellisina. Muitakin noninvasiivisiä mittaustekniikoita, kuten magnetometriä, on kokeiltu, mutta ne ovat saaneet väistyä lähinnä epätarkkuutensa takia.

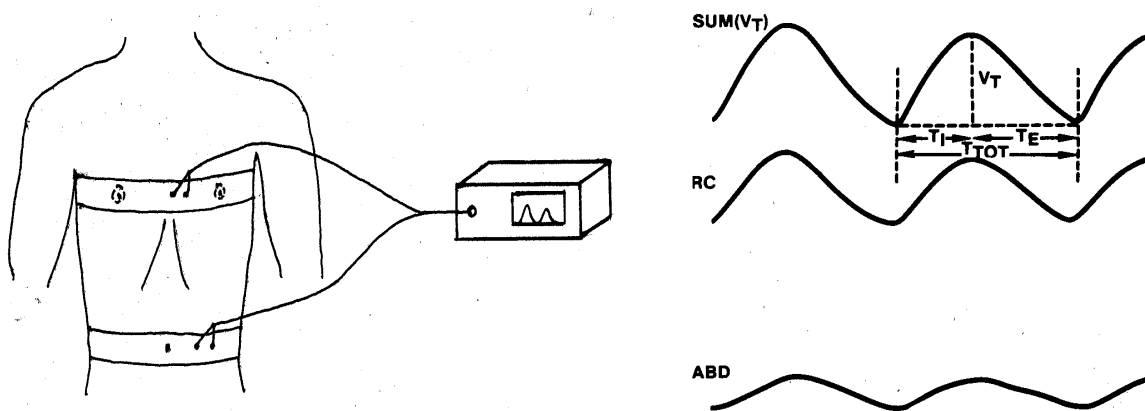
Ensimmäinen hengitysinduktiivinen pletysmografi kehitettiin 1977 (Milledge). Uusin kaupallisesti saatavilla oleva laite on nimeltään RespiTrace Plus. Mukana seuraa tietokoneohjelma, jonka avulla eri parametrit saa melko helposti analysoituja. Kertahengitystilavuuden ja frekvenssin on line-monitorointi on mahdollinen, mutta potilaskäyttöä varten tulisi tämä mahdollisuus olla muillakin aiemmin mainituilla suureilla. Käytännön mittauksessa ongelma on se, että menetelmä on altis potilaan vartalon liikkeiden aiheuttamille häiriösignaaleille.

Hengitysinduktiivista pletysmografiaa on käytetty hengitysmallin monitorointiin spontaanisti hengittävillä terveillä vapaaehtoisilla ja keuhkosairailta potilailla. Menetelmä luo myös linkin hengitysmallin ja mekaniikan välille. Sillä voidaan mitata muutoksia EELV:ssä ja mittaamalla ilmatiepaine, on mahdollista myös laatia paine-tilavuuskäyriä ja näin ollen arvioida väräytyvää keuhkotilavuutta hengitysvajauspotilaan hoidossa. Hengitysinduktiivisen pletysmografian tarkkuudesta on tehty muutama tutkimus, joiden yhteenvedona voidaan todeta, että menetelmä on riittävän tarkka hengitysmallin mittauksessa, mutta on tiettyjä laitekohtaisia eroja, erityisesti EELV:n mittauksessa. Tarkkuudesta on esitetty myös kriittisiä arvioita, mutta osa diskrepanssista selittyy varmasti laitekohtaisilla eroilla sekä erilaisilla peruskalibrointimenetelmillä.

### Hyödyllinen mittausmenetelmä?

Miksi spontaanisti hengittävällä potilaalta pitäisi mitata hengitysmallia? Onhan se pulssioksimet-

riaan verrattuna hankalampi lähestymistapa eikä toisaalta kerro suoraan valtimoveren hapetuksesta tai hiilidioksiditasosta. Hengitysfrekvenssi voidaan sitä paitsi laskea helposti kellon avulla. Jos oletamme, että kaasujen vaihto alveolaaritasolla, mukaan lukien shuntti, säilyy vakiona, muutokset hengitysmallissa ovat ensisijaisia tapahtumia, jotka johtavat muutoksiin valtimoveren happi- ja hiilidioksiditasoissa. Hengitysinduktiivinen pletysmografia onkin melko sensitiivinen hengitysmuutosten havaitsemisessa. Vaikka hengitysfrekvenssi on eräs hengityksen perussuureista ja kliinisesti käytetty, on se kaikesta huolimatta epäluotettava hengitysdepression mittari. Minuutiventilaation toisen peruskomponentin, kertahengitysvolyymin, mittaaminen on tästäkin syystä varsin mielekästä. Yleisanesteetit, niin inhaloitavat anesteetit kuin propofoli ja tiopentaalikin aiheuttavat tyypillisesti hengitysfrekvenssin kohoamisen ja kertahengitystilavuuden pienenemisen. Rintakehähengityksen osuus kertahengitysvolyymistä ilmeisesti laskee i.v. anesteeteilla. Opiattien tiedetään vähentävän hengitysfrekvenssiä, mutta vaikutuksista kertahengitysvolyymiin on ollut vaihtelevia käsityksiä. Näyttäisi siltä, että opiaattien aiheuttamassa alkavassa hengityslamassa tyypillistä on kertahengitystilavuuden suureneminen ja rintakehähengityksen selkeä korostuminen. Tarkastelemalla yhtä aikaa hengitysfrekvenssiä ja rintakehähengityksen osuutta kertahengitystilavuudesta päästään melko sensitiiviseen opiaattien aiheuttaman alkavan hengitysdepression diagnoosiin. Edellä mainitut lääkevaikutukset voidaan selkeästi havaita hengitysinduktiivi-



Kuva 1. Vasemmalla hengitysinduktiivisen pletysmografian mittausvyöt rintakehän (mamillataso) ja vatsan (napataso) ympärille asetettuina. Oikealla rintakehä- (RC) ja vatsa-anturin (ABD) erilliset signaalit sekä summasiignaali (SUM) joka vastaa kertahengitysvolyymia. Sisään- ( $T_I$ ) ja uloshengitysaika ( $T_E$ ) sekä hengityssyklin kokonaisaika ( $T_{TOT}$ ) on myös esitetty.

sella pletysmografialla. Hengityksen postoperatiivinen tila on toisaalta seuraus polyfarmasiasta, jolloin eri lääkevaikutusten tunnistaminen ei aina onnistu, mutta hengitysdepressio voidaan havaita.

Optimaalista noninvasiivista hengitysmonitoria ei ole vielä kehitetty. Spontaanisti hengittävän potilaan monitorointia voi tarvittaessa laajentaa liittämällä pulssioksimetrin rinnalle hengitysinduktiivinen pletysmografi, jolloin saadaan selvästi kokonaisvaltaisempi käsitys hengitysfunkti-

osta. Saattaisipa tässä kombinaatiossa olla aiheksi monitoriksikin, mutta kehitystyö hengitysinduktiivisen pletysmografian osalta on vielä kesken.

### **Kirjallisuusviitteet**

Viiteluettelo saatavissa kirjoittajalta.

---

Kari Leino



Kuva: "Metri rantaviivaa". Mika Mäenpää.