

Mikko Tenhunen ja Heidi Nurmi

## Sädehoidon uudet tekniikat – enemmän tehoa, vähemmän haittoja

Sädehoitomenetelmien kehityksen tavoitteena on ollut sekä paremman ja tarkemman annosjakauman tuottaminen kasvaimen että terveiden kudosten säästäminen. Tätä ongelmaa on ratkottu sädekeilan ominaisuuksia parantamalla, sädehoidon kohdentamistekniikkaa kehittämällä, kohdealueen määritystarkkuutta parantamalla, etsimällä kliinisesti paras tapa antaa sädehoito ja yhdistämällä se muihin syövä hoitokeinoihin.

Pääkirjoituksen ensimmäinen kirjoittaja osallistui aiheeseen lähes vastaavan kirjoituksen kirjoittamiseen samalla foorumilla yli neljännesvuosisittien (1). Kulunut aika on riittävän pitkä tuolloisen kirjoituksen tulevaisuuteen suuntautuneiden pohdintojen arvioimiseen jälkiviisaasti. Vuoden 1996 perspektiivissä oli jo nähty tietokoneistumisen ensimmäinen aalto sekä osatiin aavistella sädehoidon perussäteilylähteen, lineaarikiihdyttimen rinnalle ilmaantuneiden moniliuskarajaimen ja digitaalisen kuvauksen mahdollisuuksia. Nämä tekniikat ovat sittemmin kehittyneet ja integroituneet hoitolaitteisiin niin, että sädehoitoa ei enää voida kuvitella ilman niitä.

Kuvantamishajauksen valtavirtana on nyttemmin röntgenkuvaus tai kartiokeilakuvaus (läpivalaisukuva tai kolmiulotteinen kuva) lähes jokaisella sädehoitokerralla. Moniliuskarajain korvasi aikaisemman suorakaiteen muotoisen rajaimen, ja sillä toteutettu dynaaminen sädetystekniikka eli intensiteettimuokattu sädehoito tai kaarisädehoito eri muodoissaan ovat nykyisin ulkoisen sädehoidon perustekniikkaa. Kyseiset hoidot aloitettiin Suomessa vuonna 2000 ensimmäisten joukossa Euroopassa. Me-

netelmä on parantanut muun muassa pään ja kaulan alueen kasvainten hoitotuloksia sekä vähentänyt normaaleihin kudoksiin kohdistuvia haittavaikutuksia.

Sädehoidon hyvin tarkka kohdentaminen vaatii erityistä tarkkuutta kasvaimen ja terveiden kudosten määrittämisessä, ja työvaiheet ovat näiltä osin muuttuneet klinikoille vaativammiksi. Viime vuosikymmenen aikana käyttöön tulleet autosegmentoinnin (tietokoneohjelman tekemä anatomisten rakenteiden rajuus) työkalut ovat omalta osaltaan olleet apuna.

Tarkasteltavana olevan ajanjakson kliinisiobiologiselta kannalta keskeisimmät muutokset sädehoidon käyttöperiaatteissa lienevät kemosädehoidon lisääntynyt käyttö sekä hypofraktiionin eli hoitokertojen vähentämisen ja kerta-annoksen suurentamisen yleistyminen. Kemosädehoito on hyvä esimerkki synergistisestä hoidosta, jossa yhteisvaikutus on enemmän kuin osiensa summa. Suhteellisen pieni solunsalpaaja-annos tehostaa sädehoidon vaikutusta ja parantaa muun muassa gynekologisten syöpien, aivokasvaimien sekä pään ja kaulan alueen syöpien hoitotuloksia.

Hypofraktiionin yleistymistä ei vielä vuonna 1996 osattu ennustaa: kehitys oli tuolloin kulkemassa jopa päinvastaiseen – hyperfraktiionin – suuntaan. Todennäköisesti tekniikan tarkentuminen on myötävaikuttanut hypofraktiionin käyttöönottoon. Suuren annoksen kohdentaminen vain hoidettavaan alueeseen ja turvamarginaalien pienentäminen ovat johtaneet terveen kudoksen tehokkaampaan säästämiseen ja haittojen vähentymiseen.

Parempi sädehoito =  
täydentyvä kliininen tieto +  
kehittyvä teknologia

Viime vuosikymmenen aikana ovat kehittyneet erityisesti hoitokohteen liikkeen huomioon ottavat sädehoitomenetelmät. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa hengityspiidätyksen aikana toteutettavaa sädehoitoa, joka on nykyisin rutiinimaista vasemmanpuoleisen rintasyövän sädehoidossa. Sisäänhengityksen aikana toteutettu sädehoito pienentää sydämeen kohdistuvaa sädeannosta merkittävästi. Sädehoitoa voidaan tarvittaessa tahdistaa myös hengitysliikkeen mukaan. Pienissä hoitokohteissa robottitekniikkaan perustuva tarkkuussädehoitolaite kyberveitsi (Cyberknife) pystyy jopa liikkeen seurantaan, ei pelkästään liikkeen pysäyttämiseen.

Sädehoidon kuvantamisohjaus kehittyä edelleen. Eri kuvausmodaaliitit kuuluvat sädehoidon suunnittelukuvaukseen, mutta uusin on magneettikuvausperusteinen kuvantamisohjaus sädehoidon aikana. Tekniikan uskotaan parantavan tarkkuutta ja tuovan uusia mahdollisuuksia pienten ylävatsan ja lantion alueen kasvainten hoitoon, johon kartiokeilatietokonetomografian erotuskyky ja nopeus eivät riitä. Menetelmä on tullut Suomessa käyttöön vuoden 2023 aikana.

Sisäinen sädehoito on kokenut sädehoidon historian aikana sekä ylä- että alamäkiä. Kuvantamisohjaus on tuonut senkin toteutukseen uutta tarkkuutta, ja magneettikuvauksen avulla kohdistettuna se on nykyisin tärkeä osa muun muassa kohdunkaulasyövän sädehoitoa. Kalkukuvausohjattua sisäistä sädehoitoa käytetään jonkin verran eturauhassyövän hoitoon, ja suonikalvon melanooman sisäinen sädehoito mahdollistaa usein silmän säästämisen.

Sädehoidon kohdentaminen biologisin keinoin on edelleen kehittynyt. Ulkoiseen sädehoitoon sovellettuna tämä tarkoittaa sädehoidon kohdealueen määrittämistä molekulaarisella kuvantamismenetelmällä, esimerkiksi positiiviemissiotomografialla. Biologista kohdenusta voidaan käyttää myös itse säteilylähteen kuljettamisessa kasvaimen sisään. Kilpirauhas-syövän hoito radioaktiivisella jodilla (<sup>131</sup>I) on tästä vanhin esimerkki Suomessa 1950-luvulta alkaen. Pitkähkön odotuksen jälkeen, erityisesti kymmenen viime vuoden aikana, on tullut useita uusia radioaktiivisia lääkeaineita suoma-

laistenkin syöpäpotilaiden ulottuville: lutetium (<sup>177</sup>Lu-dotatate) neuroendokriinisten kasvainten hoitoon ja <sup>177</sup>Lu-PSMA levinneen kastroa-tioresistentin eturauhassyövän hoitoon.

Hyvin erilaisen lähestymistavan tarjoaa boorineutronikaappaushoito (BNCT), jossa stabiililla boori-isotoopilla (<sup>10</sup>B) leimattu kantaja-aine kuljettaa booria syöpäsolun sisään. Kun kasvainta sädetetään pienienenergiaisilla neutroneilla, tapahtuu boorin neutronikaappausreaktio, joka tuottaa suuren sädeannoksen syöpäsolun sisälle. Tutkimuksellista BNCT-hoitoa on annettu Suomessa aiemmin, ja nyt vireillä on BNCT-hoitojen uudelleen käynnistäminen kiihdytinpohjaisella neutronilähteellä.

Monet muutkin teknologian yleiset innovaatiot ovat auttaneet ja auttavat kehittämään sädehoitoa eteenpäin. Tietokoneiden laskentatehon jatkuva lisääntyminen luo uusia edellytyksiä muun muassa tekoälyn hyödyntämiseen, ja vaikutukset ulottuvat myös sädehoidon suunnitteluun. Suuri laskentateho auttaa analysoimaan toteutuneita annosjakauksia, kuvantamis- sekä muuta seurannassa kertynyttä suurta tietomäärää ja yhdistelemään tietoa tavalla, joka ei manuaalisin menetelmin olisi mahdollista.

Uskomme, että myös 2030-luvun Duodecim-lehden sädehoitoaiheisen teemanumeron pääkirjoituksen laatijoilla on mukavaa kerrottavaa – ja he voivat sitten vuorostaan arvioida, miten kehitys kehittyi. ■



**MIKKO TENHUNEN, ylifysikko, professori**  
HUS, Syöpäkeskus



**HEIDI NURMI, LT, syöpätautien erikoislääkäri**  
TYKS, syöpäklinikka

#### **SIDONNAISUUDET**

**Mikko Tenhunen:** Luottamustoimet (Onkologiyhdistys, hallituksen jäsen)

**Heidi Nurmi:** Korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Pfizer, Daichii-Sankoy, Pierre Fabre), hankkeet (Fican South)

#### **KIRJALLISUUTTA**

1. Mäntylä M, Tenhunen M, Valavaara R. Sädehoitotekniikka kehittyä – paranevatko hoitotulokset? Duodecim 1996;112:1675–6.