

Mika Kortnesniemi ja Touko Kaasalainen

Uuden detektoriteknologian myötä tietokonetomografian käyttö lisääntyy entisestään

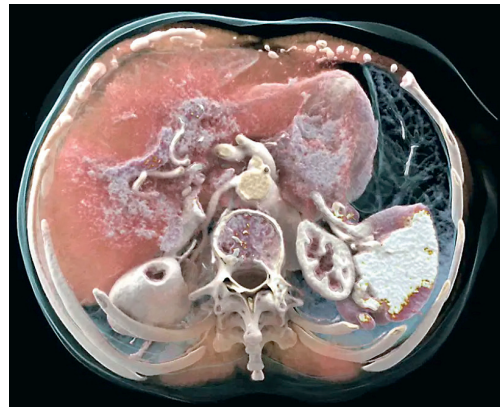
Fotoneita laskeva tietokonetomografia – hypeä vai mullistus?

Radiologian alalla leiketutkimuksien määrät ovat viime vuosina lisääntyneet selvästi, ja 3D-diagnostiikka on vallannut vähitellen alaa tavanomaisemmilta 2D-kuvuksilta. Tietokonetomografian (TT) osuus leikekuvantamisen lisääntymisessä on merkittävä. 3D-diagnostiikan yleistymisen takana on ollut TT:n ja magneettikuvauksen laiteteknisen kehityksen, uusien kliinisten sovellusten sekä saatavuuden paranemisen yhdistelmä. TT-kuvantamisen osalta on jälleen otettu suuri teknologinen harppaus eteenpäin, kun ensimmäinen kaupallinen fotonilaskuri-TT (photon-counting CT) hyväksyttiin loppuvuodesta 2021 Yhdysvalloissa kliiniseen käyttöön. Fotonilaskuritekniikka uudistaa tavan, jolla TT mittaa röntgensäteitä ja laskee kuvadataa. Tämä avaa kokonaan uusia mahdollisuuksia katsoa TT-kuvia ja parantaa niiden laatua ja tarkkuutta (KUVA).

Uuden tekniikan merkitystä voidaan pohtia TT:n kehityskaarta vasten. TT kehitettiin lääketieteellisen diagnostiikan käyttöön hieman yli 50 vuotta sitten. Vuonna 1971 Isossa-Britanniassa ensimmäinen prototyyppi tuotti aivokasvaintutkimukseen päästä aksiaalisen poikkileikekuvan ja mullisti samalla radiologian (1). TT:n kehityksen ja merkityksen ajateltiin 1990-luvun alussa spiraalikuvauksen keksimisen jälkeen jo hiipuneen magneettikuvaukseen vähäisemmäksi, kunnes monileikelaitteet käänsivät vuosituhanen vaihteessa jälleen uuden sivun TT:n kliinisessä käytössä ja mahdollistivat yhtäaikaa nopean, tarkan ja kattavan leikekuvauksen (2–5).

Fotonilaskuritekniikka uudistaa jälleen TT-kuvaukseen, vaikka laitteiden ulkonäkö ja yleinen toiminnallisuus eivät juuri muutu ja röntgen-

putkikin on samanlainen. Röntgensäteitä mitattava ilmaisin eli detektori on kuitenkin kokonaan uudistettu. Tavanomainen TT-detektori mittaa yksittäiseen detektorielementtiin (pikseliin) tulevaa röntgensäteiden kokonaissignaalia, jolloin esimerkiksi energialtaan 40 keV:n ja 60 keV:n fotonien yhteenlaskettu signaali vastaa yhdestä 100 keV:n röntgensäteilystä tulevaa signaalia. Kyseessä on siis energiaa summaava detektori (energy-integrating detector). Fotonilaskuri-TT:ssä kunkin röntgensäteen energialuokka mitataan sen sijaan erikseen. Esimerkiksi 30–60 keV:n energialuokkaan kuulu-



KUVA. Esimerkki maksasiirteen seurantakuvauksesta fotonilaskuri-TT:llä (Siemens Naeotom Alpha), jossa kuvallaskennassa on käytetty virtuaalista monoenergiakuvaukseen 70 keV:n fotonien energiaa vastaavasti ja visualisointina fotorealismiin pyrkivää cinematic volume rendering -tekniikkaa. Kuvamatriisi on normaalia TT:n 512 x 512 -kuvamatriisia suurempi 1024 x 1024 -matriisi, leikepaksuus on 0,6 mm ja säteilyannos (CT-DIvol) 3,2 mGy. Tavanomaisella modernilla TT-laitteella kuvattuna tyyppinen vartalon TT:n säteilyannos on 2–3 kertaa suurempi fotonilaskuri-TT:seen verrattuna. Kuva ja tiedot: Siemens Healthcare Oy.

vien röntgensäteiden määrä mitataan kuhunkin detektorin pikseliin erikseen. Energialuokkia voi alkuvaiheen laitteissa olla esimerkiksi neljä kappaletta, ja näitä voidaan detektorielektroniikan säädöillä määrittää halutulla tavalla, jotta kuvan kontrastiominaisuudet palvelisivat mahdollisimman hyvin diagnostista käyttöä (4–6).

Fotonilaskuri-TT:n kehittäminen on vaatinut vuosien työn, jossa fysikaaliset ja tekniset haasteet ovat olleet valtavat. TT-kuvauksessa yksittäiseen detektorin pikseliin

osuva röntgensäteiden määrä on noin miljardi ftonia sekunnissa. Näin suuren fotonimäärän mittaaminen yksittäisen säteen tarkkuudella on teknisesti erittäin vaativaa, ja vasta nyt nämä

tekniset hankaluudet on saatu ainakin osittain ratkaistua. Nämä ratkaisut perustuvat puolijohdedetektorimateriaalin fysikaalisiin ominaisuuksiin ja lukuelektronikan suorituskykyyn (4–6).

Onko kyseinen uusi tekniikka sitten hypeä vai mullistus? Tämä ratkaistaan viime kädessä kliinisten sovellusten perusteella. Teknisesti etuja voidaan nähdä viidestä radiologian kanalta keskeisestä laatu- ja turvallisuuskulmasta (6).

Ensinnäkin fotonilaskuritekniikalla voidaan pienentää kuvan kohinaisuutta, kun detektorin sisäinen sähköinen kohina voidaan poistaa lukusignaalista. Tämä on hyödyllistä erityisesti pienen säteilyannoksen kuvauksissa, joissa elektronisen kohinan osuus voi olla häiritsevä suuri. Mahdollisuus tehokkaampaan säteilyoptimointiin tulee tässä kaupan päälle. Toinen etu on parantunut annostehokkuus. Suurempi osa potilaan läpäisemistä röntgensäteistä saadaan kerättyä kuvasignaaliin luopumalla detektorielementtien väliseinistä ja jossain tapauksissa myös detektorin edessä olevasta hajasäteilyhilasta. Kolmas etu on tarkempi kuva, joka perustuu fotonilaskuridetektorien tapaan kerätä kuvasignaalia sähkökentän avulla. Toisin kuin tavanomaisessa TT-detektorissa, fotonilaskuri-

TT:ssä detektorielementtien väliin ei tarvita väliseiniä. Tällöin pikselien kokoa voidaan pienentää ja lopullisen kuvan tarkkuutta parantaa. Neljäs etu liittyy parempaan kontrastiin. Fotonilaskuri-TT:ssä pienempään energialuokkaan kuuluvat fotonit voidaan painottaa kuvalaskennassa erikseen, jolloin muun muassa jodikontrastia saadaan korostettua. Viides etu on fotonien energiaerotteluun perustuva kohteen materiaalien erottelu kuvista. Fotonilas-

kuri-TT:llä suoritettavat kuvaukset ovat kaikki spektraalisia kuvauksia, joista voidaan laskea muun muassa diagnostisesti tärkeitä jodin kertymäkarttoja potilaassa.

Edellä mainittujen hyötyjen myötä fotonilaskuritekniikka

parantaa periaatteessa kaikkien TT-kuvausten laatua ja annostehokkuutta. Alkuvaiheessa hyödyt voivat painottua erityisesti pienennoksiin kuvauksiin muun muassa keuhkojen alueella sekä suuriresoluutioisiin kuvauksiin esimerkiksi verisuonirakenteiden diagnostiikassa ja materiaalien erottelussa. Fotonilaskuritekniikan myötä kuvadatan määrä väistämättä lisääntyy, mikä luo painetta tehokkaampien diagnostisten sovellusten kehittämiseen ja PACS (picture archiving and communication systems) -järjestelmien kapasiteettiin. Suurenevan datamäärän hyödyntämisessä on myös mahdollisia yhtymäkohtia tekoälymenetelmien kehitykseen.

Uuden laitetekniikan äärellä on hyvä todeta, että fotonilaskuri-TT:n kehitys on edelleen nuorta esimerkiksi laitteiden lukuelektroniikan sekä detektorielementtien osalta. On kuitenkin selvää, että uusi tekniikka mullistaa jälleen keran radiologiaa tavalla, jota voi hyvällä syyllä verrata TT:n spiraalikuvauksen keksimiseen yli 30 vuotta sitten (4,5). Nyt nähty ensimmäinen kliininen laitejulkaisu vauhdittanee muidenkin laitevalmistajien vastaavia julkistuksia. Odotamme siis mielenkiinnolla tulevien vuosien näkymiä TT-kuvantamisesta. ■

KIRJALLISUUTTA

1. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). Description of system. Br J Radiol 1973;46:1016–22.
2. Kalender WA, Seissler W, Klotz E, Vock P. Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. Radiology 1990;176:181–3.
3. McCollough CH, Zink FE. Performance evaluation of a multi-slice CT system. Med Phys 1999;26:2223–30.
4. Lell MM, Kachelrieß M. Recent and upcoming technological developments in computed tomography: high speed, low dose, deep learning, multienergy. Invest Radiol 2020;55:8–19.
5. Hsieh J, Flohr T. Computed tomography recent history and future perspectives. J Med Imaging (Bellingham) 2021;8:052109.
6. Willemink MJ, Persson M, Pourmorteza A, ym. Photon-counting CT: technical principles and clinical prospects. Radiology 2018;289:293–312.



MIKA KORTESNIEMI, dosentti, ylifyysikko
HUS Diagnostiikkakeskus, Radiologia,
Lääketieteellisen fysiikan yksikkö



**TOUKO KAASALAINEN, dosentti,
apulaisylifyysikko**
HUS Diagnostiikkakeskus, Radiologia,
Lääketieteellisen fysiikan yksikkö

SIDONNAISUUDET

Mika Kortenesniemi: Luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (GE, Siemens), luottamustoimet (ESR, EFOMP), hankkeet (Kanta/Kvarkki hanke)

Touko Kaasalainen: Luottamustoimet (Tukijan jäsen), hankkeet (Kliinisen auditoinnin asiantuntijaryhmän (Kliary) leikkaussalien säteilyn käytön auditointisuosituksen valmisteleva työryhmä)