

Juhani Knuuti

PET-kuvantaminen tänään ja tulevaisuudessa

Positroniemissiotomografia (PET) on lääketieteen uusimpia kliiniseen rutiinikäyttöön tulleita kuvantamismenetelmiä. Vasta vuosituhannen vaihteessa kehitetyt yhdistelmäkamerat ovat tehneet läpimurron maailmalla. Vuonna 2018 Suomessa tehtiin lähes 13 000 kliinistä PET-tutkimusta (**TAULUKKO**). Viime vuosikymmenenä tutkimusmäärän vuosittainen kasvu on ollut 10 %:n tasolla, mikä on aiheuttanut resurssipulaa. Esimerkiksi Turussa, jossa kliinistä PET-kuvaustoimintaa on tehty jo 1990-luvulta, vuodesta 2015 vuoteen 2018 kliinisten tutkimusten määrä kasvoi 82 %.

Ylivoimaisesti yleisin PET-tutkimuksen käyttöalue on syövän kuvantaminen, joka muodostaa noin 90 % kaikista PET-tutkimuksista Suomessa. Niissä yksiköissä, joissa on omaa merkkiainetuotantoa, tutkimusprofiili on erilainen. Esimerkiksi Turussa syövän kuvantamisosuus oli vuonna 2018 vain 69 %, ja sydämen, tulehduksen, aivojen ja endokriinisten sairauksien kuvantaminen muodosti loput 31 %. Turun toiminta kuitenkin poikkeaa valtakunnallisena yksikkönä muusta maasta, sillä käytössä on 20 erilaista merkkiainetta ihmisten kuvantamiseen. KYS:ssä muun kuin syövän kuvantamista oli 20 % ja Husissa, jossa oma merkkiainetuotanto on vasta alussa, muun kuin syövän kuvantamista oli noin 10 % vuonna 2018.

Aina kun uusia menetelmiä otetaan käyttöön, herää kysymys, onko toiminta sekä lääketieteellisesti perusteltua että taloudellisesti kannattavaa. Koska PET on diagnostisena menetelmänä uudehko, on jokainen käyttöaihe edellyttänyt laajoja tutkimuksia ja osoitusta myös kustannusvaikuttavuudesta. Toisaalta on hyvin tiedossa, että tarkemmalla diagnostiikalla voidaan helposti säästää merkittävästi kustannuksia jatkotoimenpiteiden ja -hoidon osalta.

TAULUKKO. PET-tutkimusten määrät Suomessa vuonna 2018.

Yksikkö	Kliinisten + tieteellisten tutkimusten määrä
Turku	2 543 + 668
Helsinki (HUS)	2 889
Helsinki (Docrates)	807
Kuopio	1 298 + 20
Tampere	1 186
Oulu	1 211
Jyväskylä	612
Lahti	524
Pori ¹	556
Vaasa ¹	310
Joensuu	486
Seinäjoki ²	172
Lappeenranta ²	235
Yhteensä	12 829 + 688

¹ Porin ja Vaasan luvut 1–11/2019; ² Rekka-PET-tutkimukset

Tämän vuoksi esimerkiksi PET-kuvauksen 1 000–1 900 euron kustannus syöpäpotilaalla on todettu taloudellisesti kannattaviksi.

Koska kaikki PET-kuvantaminen on sekä toiminnallista että anatomista kuvantamista, on toiminta edellyttänyt erityiskoulutusta ja erikoisalojen ylittämistä. Niinpä sekä kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäreille että radiologian erikoislääkäreille on rakennettu kahden vuoden fuusiokuvantamisen koulutusohjelma, joissa toisen erikoisalan osaamisalueita on täydennetty niin, että tutkimuksen lausumiseen tarvitaan vain yksi lääkäri. Tällä hetkellä yksi haasteista on kuitenkin koulutetun lääkäriresurssin riittämättömyys kasvavaan PET-kuvantamisen tarpeeseen. Tämä näkyy erityisesti monissa keskussairaaloissa, joissa PET-toiminnan käynnistämisestä huolimatta

ei ole ainoatakaan koulutettua lääkäriä paikalla, vaan tutkimukset lausutaan etätöyönä normaalin työajan ulkopuolella.

Kysymyksen Suomeen tarvittavien PET-kameroiden lukumäärästä on mahdoton vastata, sillä tarve muuttuu nopeasti. Uusia käyttöaiheita syntyy koko ajan ja myös aikaisempien käyttöaiheiden osalta tieto lisääntyy nopeasti. Euroopassa kliinisessä käytössä olevien PET-kameroiden määrä miljoonaa asukasta kohden vaihtelee paljon maittain. Vuonna 2017 Länsi-Euroopassa oli noin 2–3 kameraa miljoonaa asukasta kohden (1). Suurin kameramäärä asukasta kohden oli Tanskassa (7/1 000 000), ja lisäksi Sveitsissä ja Maltalla oli yli neljä kameraa miljoonaa asukasta kohden. Suomessa oli vuoden 2019 lopussa 2,9 kameraa miljoonaa asukasta kohden, mikä on hieman alle Pohjoismaiden keskiarvon. Oikeasta tarpeesta on esitetty erilaisia laskelmia, mutta nykyisen kysynnän perusteella ei voi tehdä luotettavia päätelmiä, sillä saatavuus vaikuttaa huomattavasti myös kysyntään. Tällä hetkellä vaikuttaa, että Tanskan luvut ovat Suomelle suuria, sillä se edellyttäisi 22 kameraa nykyisen 16:n sijaan. Muutaman viime vuoden aikana Suomeen on asennettu monta kameraa ja nimenomaan keskussairaaloihin. On selvää, että PET-kuvantaminen on jo arkirutiinia terveydenhuollossa eikä enää mikään harvinaisen erityistutkimus.

Suomessa jokaisessa yliopistosairaalassa sekä suurimmissa keskussairaaloissa on PET-kamera kliinisessä rutiinikäytössä, yhteensä 16 kameraa. Näistä vain yksi on PET-MK-kamera ja muut PET-TT-laitteita. Tieteellisessä käytössä on lisäksi viisi kameraa. Näiden kiinteästi asennettujen kameroiden lisäksi Suomessa kiertää PET-rekka, joka palvelee sairaaloita, joissa ei ole omaa kameraa.

PET-kuvantamisen tekninen pullonkaula on merkkiaineiden saatavuus. Positronisäteilevillä merkkiaineilla on lyhyt puoliintumisaika (kahdesta minuutista kahteen tuntiin), joten ne tulee tuottaa kuvantamisen läheisyydessä ja ajoittaa oikein. PET-kameran antama kuva ja kliininen merkitys riippuvat täysin merkki-

aineesta. Tämän vuoksi sekä tuotannon läheisyys että merkkiaineita monipuolisuus ovat keskeisiä kliiniselle käytölle.

Edelleen valtaosa kliinisistä tutkimuksista tehdään fluorideoksiglukoosilla eli ¹⁸F-FDG:llä. Tilanne on kuitenkin nopeasti muuttumassa, sillä uudet merkkiaineet ovat lyöneet läpi tai tulossa käyttöön. Esimerkkinä on eturauhassyövän PSMA-kuvantaminen, jonka lisääntyminen on ollut hämmästyttävän nopeaa. PSMA-kuvantamisesta on julkaistu tässä leh-

dessä hiljattain oma katsauksensa (2). Useita muita lupaavia merkkiaineita on kliinisen käytön kynnyksellä.

Suomessa on yksi kaupallinen merkkiaineiden tuottaja, joka kykenee jakelemaan pisimmän puoliintumisaajan ¹⁸F-leimattuja

merkkiaineita niihin paikkoihin Suomessa, joissa ei ole omaa tuotantoa. Tämä toiminta on ollut välttämätöntä kuvantamisen saatavuudelle koko Suomeen. Yrityksen merkkiainevalikoima on myös nopeasti täydentynyt.

PET-kuvantamisen kehittyminen tulevaisuudessa riippuu pääasiassa kahdesta keskeisestä tekijästä. Uudet merkkiaineet tuovat mahdollisuuksia toisaalta syövän spesifisempään kuvantamiseen sekä toisaalta laajenemiseen syövän ulkopuolelle. Nykytilaa ja kehitystä eri erikoisaloilla esitellään tämän teemanumeron artikkeleissa.

Teranostiikka (theranostics) on nopeasti kehittynyt varteenotettavaksi mahdollisuudeksi syövän diagnostiikan ja räätälöidyn hoidon samanaikaiseksi toteuttamiseksi. Teranostiikka perustuu saman molekyylin leimaamiseen sekä diagnostisella (positronisäteilevällä) että hoitavalla (beetasäteilevällä) isotoopilla. Tällöin voidaan hoitoannos räätälöidä tarkoin potilaan mukaan ja myös toteutunut hoitoannos kuvantaa.

Uusi kamerateknologia voi saada aikaan huomattavan edistyksen PET-kuvantamisessa. Jo nyt täysdigitaaliset kamerat sekä kuvien rekonstruktioiden kehittyminen on mullistanut kuvan laadun. On selvää, että tekoälysovellukset tulevat ennen pitkää tukemaan massiivisen kuvamäärän tulkintaa.

PET-kuvantaminen on jo arkirutiinia terveydenhuollossa eikä mikään harvinaisen erityistutkimus

Merkittävin muutos saattaa kuitenkin tapahtua itse kameroiden rakenteessa. Tämän päivän tavanomainen PET-kamera kuvaa kerrallaan 20–30 cm vartalosta, ja koko kehon kuvauksissa laite kerää ja kokoaa kuvan useasta palasta. Uusin innovaatio on rakentaa laite, jonka detektorit peittävät samanaikaisesti koko vartalon (3). Mikäli massiivinen datatulva kyetään hallitsemaan, tällaisen laitteen herkkyys on jopa 20-kertainen, ja yhden potilaan koko vartalon kuvaus kestää alle yhden minuutin.

Tällä hetkellä tällainen prototyyppi on kliinisessä testauksessa. Aika näyttää, tuleeko vas-



JUHANI KNUUTI, LT, professori, johtaja, ylilääkäri
Leiden University Medical Center, Leiden, kardiologian klinikka
Valtakunnallinen PET-keskus
Kliininen fysiologia, isotooppi- ja PET-tutkimukset, Tyks

taava tuote myös kaupallisesti saataville. Ehkä laitteen kalliin hinnan vuoksi löydetään kompromissi, jossa reilun metrin detektorilla saavutetaan lähes samat edut mutta huomattavasti edullisemmin. ■

KIRJALLISUUTTA

1. Use of imaging equipment – number of magnetic resonance imaging (MRI) scans 2017. Eurostat 2019. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Healthcare_resource_statistics_-_technical_resources_and_medical_technology#Availability_of_medical_technology.
2. Seppänen M, Boström P, Minn H, Kemppainen J. Eturauhassyövän entsyymikuvantaminen PET-menetelmällä. *Duodecim* 2020;136: 899–909.
3. Badawi RD, Shi H, Hu P, ym. First human imaging studies with the EXPLORER total-body PET scanner. *J Nucl Med* 2019;60:299–303.

SIDONNAISUUDET

Konsultointi (tutkimussuunnitelman kommentointi AstraZeneca ja GE Healthcare), luentopalkkiot (GE Healthcare, Merck, Lundbeck, Bayer)