

Terhi Tuokkola ja Juhani Knuuti

Positroniemissiotomografia-magneettikuvaus

Positroniemissiotomografia-magneettikuvaus (PET-MK) on fuusiokuvantamismenetelmä, joka kuvaa samanaikaisesti elimistön aineenvaihduntaa ja rakenteita. Kuvauksissa käytetään eri PET-merkkiaineiden ja varsin yksilöllisten magneettikuvaussarjojen yhdistelmiä. Teknisesti menetelmä on vielä kehitysvaiheessa, mutta sitä käytetään muun muassa syöpä- ja infektio- ja neurologian, lastentautien ja kardiologian aloilla. Suomen ainoa PET-MK-laite on Turun PET-keskuksessa.

PET-MK on fuusiokuvantamismenetelmä, joka yhdistää positroniemissiotomografian (PET) ja magneettikuvausmenetelmän (MK) samanaikaiseksi tutkimukseksi. PET on isotooppikuvausmenetelmä, joka antaa tietoa elimistön toiminnasta, aineenvaihdunnasta ja biologiasta lyhytikäisten säteilevien merkkiaineiden avulla, ja magneettikuvaus on säteilytön radiologinen menetelmä, joka antaa tarkan kuvan elimistön rakenteesta muun muassa elinten erilaisen protonitiheyden perusteella (1). Kliinisessä työssä PET-MK:ta hyödynnetään erityisesti syöpätautien, mutta myös infektio- ja lastentautien tutkimisessa sekä neurologiassa ja kardiologiassa. Verrattuna PET-tietokonetomografiaan (PET-TT) PET-MK parantaa pehmytkudosten erottelukykyyä ja vähentää säderasitusta mutta myös lisää kuvausaikaa ja kustannuksia. PET-MK-kuvien tulkinnassa tarvitaan sekä radiologian että isotooppilääketieteen osaamista, ja laitteen toiminnan turvaamisessa huomattavaa sairaala-fyysikon työpanosta.

Laitteet

PET-MK:n kehittämisen tavoitteena on ollut vastata kliinisiin vaatimuksiin suuresta kudiskontrastista yhdistettynä aineenvaihduntatietoon, ei PET-TT-laitteen korvaaminen (2). PET-MK on ollut kaupallisesti saatavilla vuodesta 2010 (3). Suomen toistaiseksi ainoa laite

on ollut Turun PET-keskuksessa vuoden 2012 alusta lähtien. Maailmalla on käytössä laitteita, joissa on hyödynnetty sekä peräkkäistä että samanaikaista kuvaustekniikkaa. Turun laite hyödyntää peräkkäisten kuvausten menetelmää, jossa toisessa päässä on magneetti- ja toisessa PET-laite (**KUVA 1**). Potilas siirtyy kameroiden välillä automaattisesti kääntyvällä pöydällä. Samanaikaisesti kuvaavien laitteiden etuna on lyhempi kuvausaika ja digitaalisen PET-tekniikan käyttö.

Tekniikka

PET-MK on maailmanlaajuisesti vielä teknisesti kehitysvaiheessa, mikä näkyy tutkimusten laadussa ja luotettavuudessa. Diagnostiikan kannalta merkittävin puute on ollut magneettipohjaisessa kudosten tunnistamiseen perustuvassa PET-datan vaimennuskorjauksessa. PET-



KUVA 1. Turussa käytössä oleva Philipsin Ingenuity-PET-MK-hybridi, jossa 3,0 teslan Achieva-MK ja Asto-nish TF-PET. Keskellä 180° kääntyvä kuvauspöytä.

Ydinasiat

- » PET-MK on fuusiokuvausmenetelmä, joka sisältää elimistön aineenvaihdunnasta kertovan PET-kuvauksen ja rakenteesta kertovan magneettikuvauksen.
- » PET-MK on hyödyllinen erityisesti kaulan ja vatsan alueiden kuvantamisessa, jossa TT ei ole parhaimmillaan.
- » PET-MK on hyvä vaihtoehto fuusiotutkimuksissa, joissa säteilyannoksen pienentäminen on perusteltua.

kuviin tulee virhettä niille alueille, joissa kuva-alueella on runsaasti luukudosta ja erityisesti, jos luun vierellä on myös ilmaa. Lisäongelmia vaimennuskorjaukseen tuovat magneettiteknikkaan liittyvät kuva-alan reunavääristymät ja mahdolliset metalli-implantit, mutta uusilla metallivääristymiä korjaavilla sekvensseillä magneetti- ja PET-kuvien virheitä pystytään vähentämään.

Keuhkot ovat molemmille tekniikoille itsenäinen ongelma hengitysliikkeen, suuren ilmapitoisuuden, kudoksen vähäisen tiiviyden ja pienikokoisten muutosten, joihin erotuskyky ei riitä, vuoksi (1,3). Uusin PET-tekniikka pystyy jo tahdistamaan kuvauksen hengitysliikkeen mukaan ja parantaa yhdessä uusien magneettin liikekorjaussarjojen kanssa menetelmän herkkyyttä (4).

PET- ja magneettitekniikan yhdistäminen samanaikaisesti kuvaavaksi PET-MK-laitteeksi vaati digitaalisen PET-tekniikan kehittämisen, ja nykyaikaisissa PET-TT- ja PET-MK-laitteissa onkin digitaalinen PET-tekniikka (4). Menetelmien väliset erot diagnostiikassa perustuvat siis ensisijaisesti magneettikuvauksen parempaan kudskontrastiin verrattuna pieniannoksiseen TT:hen. Uusimmissa PET-MK-laitteissa käytettävä magneettitekniikka on samanlaista kuin tavallisissa magneettikuvauslaitteissa. PET-yhteensopivuusvaatimusten vuoksi PET-MK:n kelojen kehittäminen on kuitenkin vaativampaa

ja vähän hitaampaa kuin tavallisessa magneettikuvauksessa. Kliinisessä työssä tekniset erot eivät kuitenkaan ole merkityksellisiä.

PET-merkkiaineet

PET on isotooppikuvausmenetelmä, jossa laskimoon ruiskutettu säteilevä merkkiaine hakeutuu kohteeseen (esimerkiksi syöpäkasvaimeen). Merkkiaine voi olla elimistössä fysiologisesti esiintyvä molekyyli (esimerkiksi glukoosimerkkiaine fluorideoksiglukoosi, FDG), tiettyyn reseptoriin kiinnittyvä molekyyli (esimerkiksi eturauhassyövän merkkiaine PSMA) tai aineenvaihdunnan patologiseen kertymätuotteeseen sitoutuva valmiste (esimerkiksi amyloidimerkkiaine PIB), johon on liitetty säteilevä isotooppi. Hyvä merkkiaine ei vaikuta itse elimistön aiheenvaihduntaan, mutta kiinnittyy spesifisesti kohdealueeseen. Käytännössä kaikki merkkiaineet ovat osittain epäspesifisiä. Lyhytikäisyytensä vuoksi merkkiaineet säteilevät elimistössä vain muutamia tunteja. Annettavien merkkiaineiden määrä on häviävän pieni, eivätkä ne siksi aiheuta yliherkkyyksireaktioita, haittavaikutuksia tai vaikuta esimerkiksi diabeetikoiden glukoositasapainoon.

Merkkiaineet valmistetaan pääosin syklotronilla (^{15}O , ^{11}C ja ^{18}F), mutta myös generaattorilla (^{68}Ga). Lyhytikäiset hiili- ja happimerkkiaineet valmistetaan kuvauspaikalla. Pitkäikäisempiä (puoliintumisaika noin kaksi tuntia) fluorimerkkiaineita voidaan kuljettaa pitkiäkin matkoja, joten niitä on Suomessakin kaupallisesti saatavilla. Useissa isotooppiyksiköissä on mahdollisuus galliummerkkiaineiden valmistukseen.

Oma syklotroni, runsas merkkiainevalikoima ja kaupallisten merkkiaineiden ostomahdollisuus yhdistettynä oikeiden merkkiaineiden valintaan parantavat diagnostista valmiutta. **TAULUKOSSA** esitetään Turussa kliinisessä käytössä olevat merkkiaineet, niiden kertymämekanismit ja yleisimmät diagnostiset käyttökohdet. Uusin käyttökohteemme on ^{18}F -koliini lisäkilpirauhasadenoomien diagnostiikassa, ja ensimmäiset kokemuksemme siitä ovat lupaavat ja vähintään ^{11}C -metioniinin veroiset. Myös kirjallisuuden mukaan ^{18}F -koliini-PET on ha-

TAULUKKO. Turun PET-keskuksessa kliinisessä käytössä olevia merkkiaineita, joita käytetään PET-MK:ssa. PET-TT:ssä käytämme taulukon merkkiaineita laajemmin käyttöaiheihin ja myös muita merkkiaineita. Hieman erilaiset käyttöaiheet johtuvat PET-MK:n vaimennuskorjausongelmista tai toistaiseksi puuttuvasta kokemuksesta.

Merkkiaine	Kertymämekanismi	Kuvausaihe
¹⁸ F-FDG	Glukoosiaineenvaihdunnan muutokset	Kilpirauhassyöpä (papillaarinen ja follikulaarinen) Sydänsarkoidoosi Sydämen elinkykyisyys Kehon syöpäkasvaimet tai niiden epäily Infektiot
¹¹ C-metioniini (MET)	Aminohappoaineenvaihdunnan muutokset	Aivokasvaimet Lisäkilpirauhasadenoomat
¹¹ C-PIB	Aivojen amyloidiplakkien osoittaminen	Aivojen degeneratiiviset sairaudet
⁶⁸ Ga-DOTANOC	Somatostatiinireseptoreiden osoittaminen	Neuroendokriiniset kasvaimet Meningeoomat
⁶⁸ Ga-PSMA	Eturauhasen pintareseptoreiden osoittaminen	Eturauhassyöpä
¹⁸ F-koliini	Solujen jakautumisaktiivisuus lipidisynteesin kiihtymisen perusteella	Lisäkilpirauhasadenoomat
¹⁵ O-H ₂ O	Kudoksen hapenkulutuksen (verenvirtauksen) muutosten kuvantaminen	Sydänperfuusiotutkimukset sepelvaltimotaudin yhteydessä
¹⁸ F-FDOPA	Dopamiiniaineenvaihdunta	Neuroendokriiniset kasvaimet Medullaarinen kilpirauhassyöpä Insulinooma
¹⁸ F-fluoridi	Luuston osteoblastiaktiivisuuden ja verenkierron muutokset	Luustosairaudet, -kasvaimet tai -etäpesäkkeet

vaittu spesifiseksi sekä paremmaksi kuin ^{99m}Tc-sestamibikuvaus ja tavallinen magneettikuvaus (5–7). Toistaiseksi tutkimuskäytössä olevalla ⁶⁸Ga-eksendiinimerkkiaineperheellä voi olla tulevaisuudessa merkittävä rooli insulinoomien kliinisessä diagnostiikassa (8).

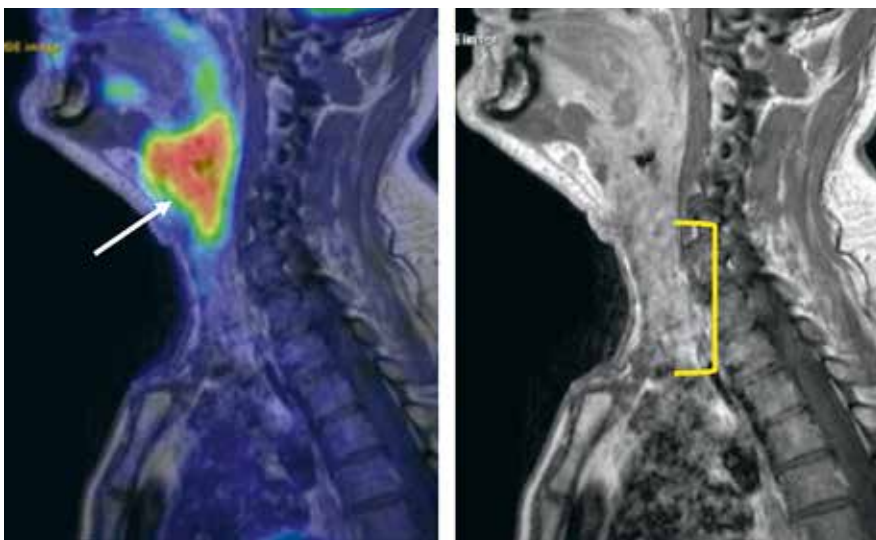
Kuvaus

PET-MK:ssa 3 teslan magneetti on muokattu toimimaan yhdessä PET-kameran kanssa tai itsenäisenä laitteena. Fuusiokuvauksessa magneettisarjoja on tavanomaista kuvausta vähemmän, koska potilaista on yleensä aiempia magneettikuvauksia, kuvausaika on pidettävä kohtuullisena ja PET korvaa osan magneettisarjoista (1). Kuvausprotokollat määrittää hyvin yksilöllisesti, yhdestä sarjasta diagnostiiseen tutkimukseen. Tyypillisesti sarjat kohdistetaan mielenkiintoalueelle ja lisäksi kuvataan levinneisyyssarja, joka on tavanomaisia magneettikuvaussarjoja heikkolaatuisempi koko kehon sarja ja jota käytetään vain PET-kuvan anatomisena pohjakuvana etälevinneisyyden

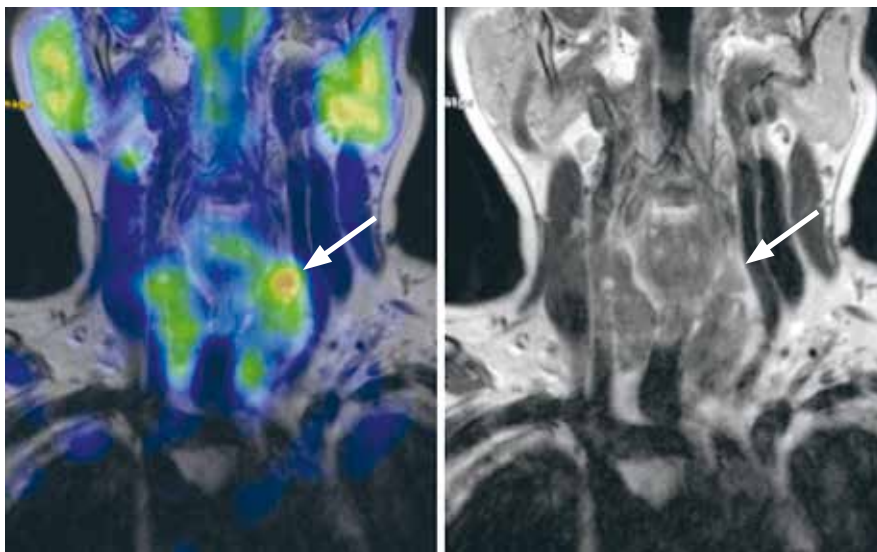
diagnosoinnissa. Jos etälevinneisyys todetaan, tarkentavat jatkotutkimukset ovat tarpeellisia. Turussa PET-MK:n kuvausaika pyritään pitämään 30–75 minuutin mittaisena, josta PET:n osuus on 15–30 minuuttia. Tarvittaessa PET-MK voidaan tehdä anestesiassa.

Käytännön sovellukset

Maailmanlaajuisesti menetelmä hakee vielä optimaalista käyttökohdettaan. Turussa olemme ennakkoluulottomasti kokeilleet menetelmän soveltuvuutta eri indikaatioissa. Tähän mennessä olemme todenneet, että PET-MK on hyödyllinen kuvauksissa, joissa 1) on runsaasti TT:llä huonosti erottuvia anatomisia yksityiskohtia (kaula, pikkulantio), 2) leikkauksen jälkeiset muutokset ovat huomattavat tai aiemmin kuvaamattomat, 3) MK ja PET tehdään joka tapauksessa, 4) säteilyannoksen pienentäminen on perusteltua (lapset) ja 5) kasvaimen oletetaan levinneen enintään lähialueille. Kokemukset muualta maailmasta ovat varsin samanlaisia, mutta PET-MK-laitteiden suhteellisen pieni



KUVA 2. Kaulan sagittaalinen ^{18}F -FDG-PET-MK. Hoitojen jälkeen paikallisesti levinnyt kurkunpääsyöpä. Aktiivisen syövän alue (nuoli) on kielen tyvessä, mutta magneettikuvassa näkyy hoitojen jäljiltä myös jäännöskasvainta (hakanen) poistetun kurkunpään alueella. Kraniaalisesti kielessä näkyy fysiologiseen lihasaktivaatioon liittyvää aktiivisuutta.



KUVA 3. Kaulan koronaalinen metioniini-PET-MK. Vasemman kilpirauhasen yläosassa on kolmiomainen lisäkilpirauhaseksi sopiva rakenne. Sen PET-aktiivisuus sopii adenoomaan (nuolet). Kirurgisen hoidon edellytys on PET-kertymälle löytyvä anatominen vastine. Sylkirauhasissa ja kilpirauhasessa näkyvät fysiologiset kertymät.

määrä, käytettävissä olevat merkkiaineet sekä laitteiden tekninen ikä ja diagnostinen käyttöaktiivisuus vaikuttavat menetelmän hyödyllisyyden arviointiin (1,9–11).

Yleisin kuvausaiheemme ovat pään ja kaulan alueen kasvaimet, joiden yhteydessä potilaalle tehdään seurantakuvaus kolme kuukautta hoi-

tojen jälkeen (**KUVA 2**). Lisäkilpirauhasadenoomien kuvantamista ja kohdunkaulasyöpää sairastavien potilaiden primaaridiagnostiikkaa teemme pääosin PET-MK:lla, mutta yleensä PET:tä käytetään täydentämään muita kuvantamismenetelmiä (**KUVAT 3 ja 4**). Aivokasvaimia kuvaamme yleensä seurantavaiheessa, jos epäil-

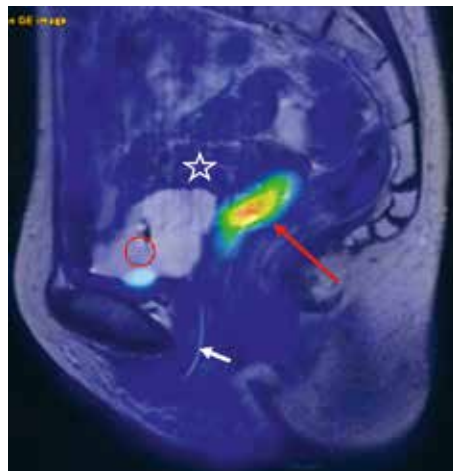
lään taudin uusiutumista, mutta magneettikuvauslöydös jää epäselväksi (KUVA 5).

Lapset pyrimme ensisijaisesti kuvaamaan PET-MK:lla ja tarvittaessa anestesiassa (KUVA 6). Lasten sädeannos on kirjallisuuden mukaan jopa 50–80 % pienempi verrattuna PET-TT:hen (1,10,12). Maksan ja haiman epäselviä muutoksia olemme myös kuvanneet PET-MK:lla, jolloin pienet muutokset erottuvat paremmin magneetilla, löydösten välillä ei ole ajallista viivettä ja muutosten PET-kertymä saadaan kohdistettua paremmin kuin erillisissä PET-TT- ja magneettikuvauksissa.

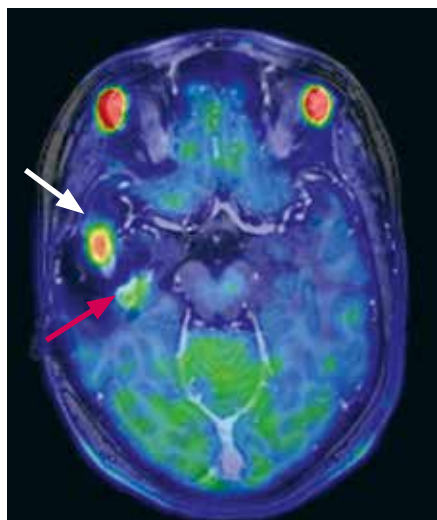
Eturauhassyöpää kuvaamme PET-MK:lla, jos potilaan eturauhanen on vielä jäljellä (KUVA 7). Sydämen PET-MK:ta olemme käyttäneet lähinnä sarkoidoosia epäiltäessä (KUVA 8). Meillä on jonkin verran kokemusta myös infektio- ja luustokuvauksista, mutta nämä tutkimukset ovat olleet toistaiseksi yksittäisiä. Koko kehon PET-MK:ta ilman kohdistettuja magneettisarjoja käytämme seulontatyyppisesti silloin, kun sädeannoksen pienentämien on perusteltua (esimerkiksi lasten infektiot) tai PET-TT ei ole käytettävissä.

Keuhkojen primaarimuutoksien kuvaamisessa ja etälevinneissä syövässä emme yleensä käytä PET-MK:ta. Keuhkojen anatomia on magneettikuvauksen kannalta hankala, ja hengitysliike aiheuttaa PET-kertymän jakautumista laajalle alueelle, jolloin pienet pahanlaatuisetkin muutokset erottuvat huonosti (1). Levinneissä syövässä etäpesäkkeiden rakenne erottuu pieniannoksissa PET-TT:ssä paremmin kuin PET-MK:n levinneisyysarjassa, ja löydösten vertailukelpoisuuskin on parempi. Epilepsiapesäkkeiden kuvantaminen olisi PET-MK:lle hyvä kohde magneetin antaman tarkan anatomian vuoksi (13). Vaimennuskorjausongelman vuoksi emme kuitenkaan käytä sitä epilepsia- emmekä dementiapotilaidenkaan aivojen FDG-kuvauksissa.

Käytännön työssä kuvausmenetelmän valintaan vaikuttavat myös potilasmäärät. Turussa on kolme PET-TT-laitetta ja yksi PET-MK-laitte, ja potilasmäärä lisääntyy jatkuvasti. Jonotilanteen tulee olla kohtuullinen, joten PET-TT:hen lähetettyjä potilaita kuvataan myös PET-MK:lla, jos potilas ja hänen tautinsa ovat



KUVA 4. Alavatsan sagittaalinen ^{18}F -FDG-PET-MK. Kohdunkaulan levyepiteelisyöpä. Kohtu (tähti) ja virtsarakko (rengas). Aktiivinen kasvain (punainen nuoli) kasvaa kohdunkaulan suulta emättimen etuseinää pitkin. Gynekologisille potilaille laitetaan tutkimusta varten virtsarakkokatetri (valkoinen nuoli), jotta rakon täyttöaste ei muutu kuvauksen aikana.



KUVA 5. Aivojen aksiaalinen metioniini-PET-MK. Eri-laistumisasteen (gradus) 3 gliooma. Leikkausta edeltävä kuvaus. Magneettikuvauksessa epäiltiin uusiutunutta leikkausontelon anteriorisessa osassa (valkoinen nuoli). PET-MK:ssa myös lateraalisen osan muutos on aktiivinen (punainen nuoli). Kyynelrauhaksissa näkyy fysiologinen kertymä.

magneettikuvaukseen soveltuvia. Tällä perusteella esimerkiksi dementiapotilaiden aivojen PIB-kuvaukset tehdään pääosin PET-MK:lla. Jos potilaasta on olemassa uudehko magneetti-

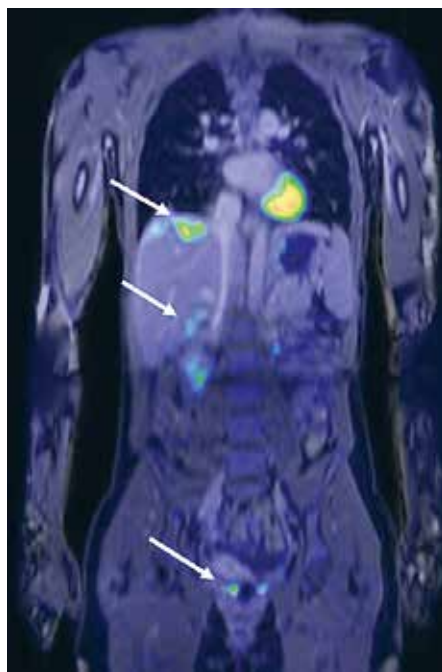
kuvaus, PET-MK:ssa kuvataan PIB-PET ja yksi magneettisarja. Tutkimus ei siis oleellisesti eroa PET-TT:stä (KUVA 9).

Investointikustannusten lisäksi myös PET-MK:n käyttökustannukset ovat suuremmat kuin PET-TT:n tai tavallisen magneettikuvauksen. PET-MK:n kuvausajat ovat pitkiä, vaativa kuvaus edellyttää röntgenhoitajien lisäkoulutusta, fuusiokuvien tulkinta vaatii sekä radiologian että isotooppilääketieteen osaamista ja laitteen toiminnan turvaamiseen tarvitaan sairaalafyysikon työpanosta. Näistä syistä PET-MK:n käyttökustannuksia ei pyritäkään siirtämään suoraan kuvaushintoihin, vaan toiminnan katsotaan olevan osittain myös palveluiden kehitystyötä. Turussa PET-MK:n tavoitehintana on vastaavan PET-TT:n ja tavallisen diagnostisen magneettikuvauksen yhteishinta. Poikkeuksena ovat edellä mainitut yhden magneettisarjan kuvaukset, joiden hinnat ovat lähes samat kuvauslaitteesta riippumatta.

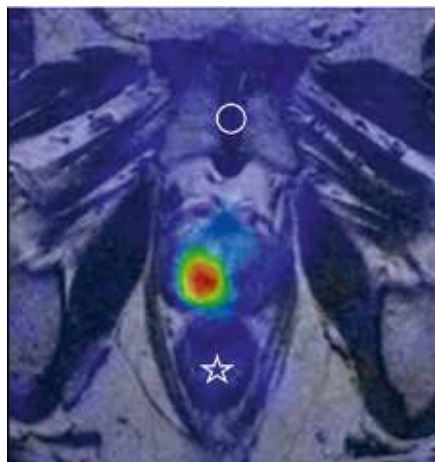
Fuusiokuvantamisen tavoitteena on saada lisätietoa taudin alkuperästä, sijainnista, levinneisyydestä ja hoidon tehosta sekä auttaa valitsemaan sopivin ja oikea-aikaisin hoito. Kaikilla kuvantamismenetelmillä löytyy muutoksia, jotka vaativat lisätutkimuksia, mutta aineenvaihdunnan poikkeavuuden perusteella PET:stä voidaan ohjata jatkotutkimuksiin vain pahanlaatuisiksi epäiltävät uudet muutokset. PET:hen kuuluu kuitenkin aina fysiologisiin kertymiin ja esimerkiksi imusolmukkeiden reaktiivisuuteen liittyvää diagnostista epävarmuutta. Näistä johtuvaa yli- tai alidiagnostiikkaa pystytään välttämään vain koulutuksella ja kokemuksella. Maassamme onkin molekyyli- ja fuusiokuvantamisen kaksivuotinen lisäkoulutusohjelma isotooppilääketieteen ja radiologian erikoislääkäreille.

Rajoitteet

PET-MK:n rajoitukset ovat samat kuin tavanomaisen magneettikuvauksen. Lisäksi pieni, noin 60 cm:n kamera-aukko rajoittaa kookkaiden potilaiden kuvausta. PET-merkkiaineiden säteilyn vuoksi raskaus on kuvauksen vasta-aihe, mutta imettäminen on suhteellinen este, jos lapsi pystytään ravitsemaan etukäteen

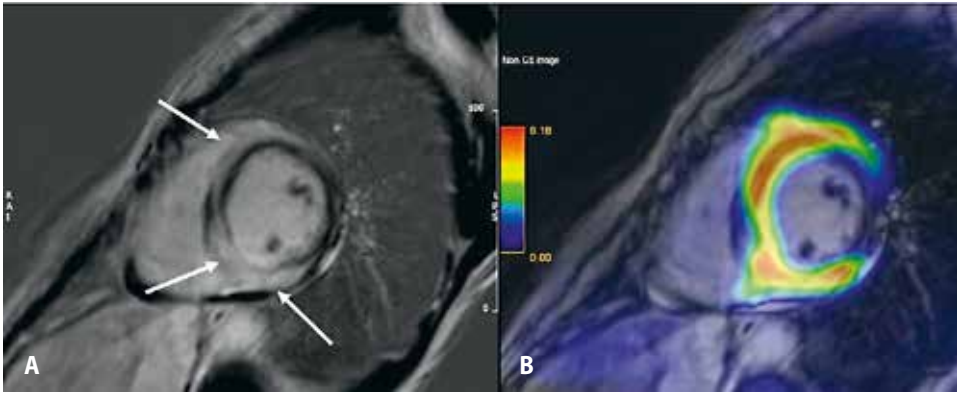


KUVA 6. Lapsen koko kehon koronaalinen ^{18}F -FDG-PET-MK. Munasarjaperäinen sarkooma. Aktiiviset tautimuutokset (nuolet) näkyvät keuhkopussissa, maksassa ja vatsakalvossa. Sydänlihaksessa on fysiologinen merkkiainekertymä.

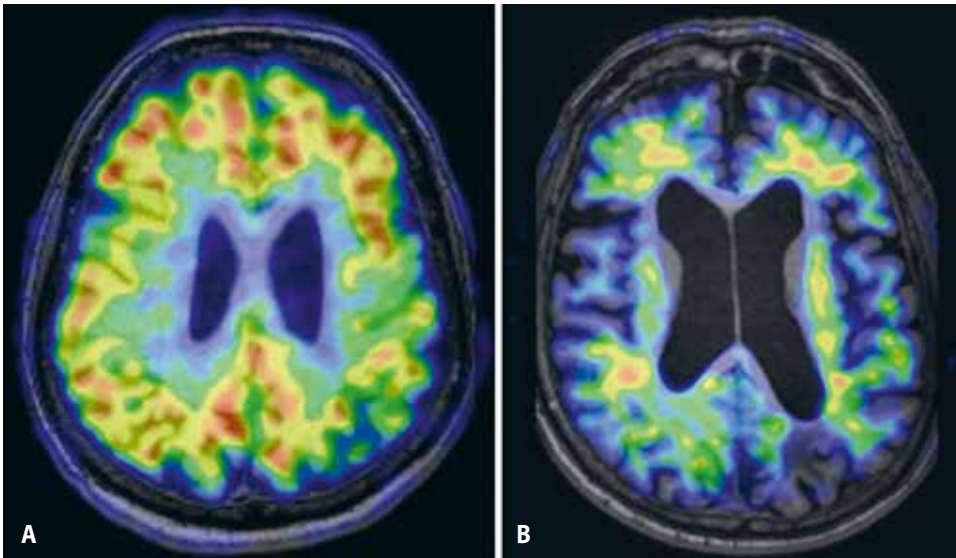


KUVA 7. Alavatsan aksiaalinen ^{68}Ga -PSMA-PET-MK. Peräsuoli (tähti) ja häpyliitos (rengas). Eturauhasen oikeassa lohossa on aktiivinen syöpäpesäke.

lypsetyllä tai korvikemaidolla ja lasta hoitaa toinen henkilö äidin säteilyn ajan (6–24 h). Äidinmaitoon erittyvä merkkiaine ei ole lapselle haitallista, mutta lapsen tarpeetonta säteily-



KUVA 8. Sydämen lyhyen akselin suuntainen ^{18}F -FDG-PET-MK. **A)** Magneettikuvassa on laaja gadoliniumjälki-tehostuma alaseinämassä ja septumissa sekä epikardiaalisesti etuseinässä ja septumin etuosassa. **B)** PET:ssä voimakasta aktiivisuutta vastaavilla alueilla. Tulehduksen voimakkuuden ja keston mukaan tehostumat ja aktiivisuus voivat sijaita myös eri alueilla, minkä vuoksi PET-MK on herkempi.



KUVA 9. Aivojen ^{11}C -PIB-PET-MK. **A)** Aivojen kuorikerrokseen on kertynyt Alzheimerin taudille tyypillistä amyloidiplakkia, johon on kiinnittynyt runsaasti merkkiainetta. **B)** Terveissä aivoissa ei ole amyloidiplakkia, jolloin merkkiaine kiinnittyy fysiologisesti valkeaan aineeseen.

rasitusta kannattaa välttää. Tarkemmat terveydenhuoltohenkilökunnalle suunnatut ohjeet PET-MK:hon valmistautumisesta löytyvät internetistä Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin hoito-ohjesivustolta (14).

Lopuksi

Tulevaisuudessa yhä säästävämpään ja yksilöllisempään suuntaan kehittyvät hoitomuodot vaativat myös yksityiskohtaisempaa kuvanta-

mistietoa sairauksista. Tekniikan, kokemuksen ja merkkiaineiden kehittyessä PET-MK:sta tulee monipuolinen PET-TT:tä täydentävä menetelmä, joka palvelee tätä tavoitetta. ■

* * *

Kiitämme dosentti, kliininen opettaja, KLF- ja isotooppi-lääketieteen erikoislääkäri Jukka Kempaista, dosentti, KLF- ja isotooppi-lääketieteen erikoislääkäri Tuula Janatuista ja FT, sairaalafysikko Virva Saunavaaraa.

KIRJALLISUUTTA

1. Catalano O, Masch W, Catana C, ym. An overview of PET/MR, focused on clinical applications. *Abdom Radiol* 2017;42:631–44.
2. Platzek I. ¹⁸F-Fluorodeoxyglucose PET/MR imaging in head and neck cancer. *PET Clin* 2016;11:375–86.
3. Catana C. Principles of simultaneous PET/MR imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2017;25:231–43.
4. Slomka P, Pan T, Germano G. Recent advances and future progress in PET instrumentation. *Semin Nucl Med* 2016;46:5–19.
5. Parvian A, Martin-Macintosh E, Goenka A, ym. ¹¹C-choline PET/CT for detection and localization of parathyroid adenomas. *AJR Am J Roentgenol* 2018;210:418–22.
6. Michaud L, Balogova S, Burgess A, ym. A pilot comparison of ¹⁸F-fluorocholine PET/CT, ultrasonography and ¹²³I/99mTc-sestaMIBI dual-phase dual-isotope scintigraphy in the preoperative localization of hyperfunctioning parathyroid glands in primary or secondary hyperparathyroidism: influence of thyroid anomalies. *Medicine (Baltimore)* 2015;94:e1701.
7. Kluijffhout W, Pasternak J, Gosnell J, ym. ¹⁸F-Fluorocholine PET/MR imaging in patients with primary hyperparathyroidism and inconclusive conventional imaging: a prospective pilot study. *Radiology* 2017;284:460–7.
8. Rayamajhi S, Lee J, Mittal B, ym. Cross sectional and nuclear medicine imaging of pancreatic insulinomas. *Abdom Radiol* 2017;42:531–43.
9. Lee Y, Ramalho J, Kessler B. PET-MR imaging in head and neck. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2017;25:315–24.
10. Lee Y, Oldan J, Fordham L. Pediatric applications of hybrid PET/MR imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2017;25:367–75.
11. Ponisio M, Fowler K, Dehdashti F. The emerging role of PET/MR imaging in gynecologic cancers. *PET Clin* 2016;11:425–40.
12. Andersen K, Jensen K, Loft A. PET/MR imaging in musculoskeletal disorders. *PET Clin* 2016;11:453–63.
13. Miller-Thomas M, Benzinger T. Neurologic applications of PET/MR imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2017;25:297–313.
14. Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin haku [verkkosivu]. <https://hoito-ohjeet.fi/fi/haku/varsinais-suomen-ohjeet>.

TERHI TUOKKOLA, LL, radiologi

JUHANI KNUUTI, professori, johtaja

TYKS, PET-keskus

SIDONNAISUUDET

Terhi Tuokkola: Ei sidonnaisuuksia

Juhani Knuuti: Luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (Astra-Zeneca)

SUMMARY

PET-MRI

PET-MRI is a fusion imaging method for simultaneous study of metabolism and organ structures. The scanning is a combination of the Positron Emission Tomography and the Magnetic Resonance imaging. PET-MRI studies are combinations of a PET-tracer imaging and tailored magnet series. The method is still under development but is already used successfully in oncology, neurology, children's diseases, cardiology and infectious diseases. The only PET-MRI in Finland is in Turku.