

Antti Loimaala, Toni Ihalainen, Jukka Schildt, Valtteri Uusitalo ja Teija Kalajoki-Helmiö

Kliininen PET-magneettikuvaus

Positroniemissiotomografiakuvaus (PET) yhdistettynä magneettikuvaukseen (MK) on yleistynyt maailmalla maltillisesti. Alussa lähinnä tieteelliseen tutkimukseen käytetty yhdistelmälaite on tullut yhä enemmän osaksi kliinistä kuvantamista erityisesti syöpätautien alalla mutta myös muihin käyttöaiheisiin. PET-MK:ssa käytetään vakiintuneita PET-merkkiaineita. Kuvaustekniikan takia kuvausaika on usein pitkä. Yhdistelmäkuvaus nopeuttaa kuitenkin diagnosointia silloin, kun tarvitaan herkkä kohde-elimien metabolinen informaatio ja hyvä kudoksen luonteen kuvaus. MK:n monipuolisuus asettaa haasteita kaikille ammattiryhmille, ja PET-MK-menettelyn hallinta edellyttää hyvää perehtyneisyyttä sekä positroni- että magneettikuvaukseen.

PET-magneettikuvaus (PET-MK) on tuore PET-kuvantamismenetelmä. Ensimmäisen yhtäaikaisen PET-MK-laitteen kliiniseen käyttöön toi Siemens vuonna 2010, ja muutama vuosi myöhemmin muut laitetoimittajat esittelivät omat vaihtoehtonsa (1–3). PET-MK vakiintui maailmalla aluksi ensisijaisesti tutkimuskäyttöön. Menettelyn merkitys kliinisenä tutkimusmenettelynä on kuitenkin lisääntynyt viime vuosina, kun sen mahdollisuudet eri onkologisissa ja monissa muissa käyttöaiheissa on todettu merkittäviksi ja potilaan hoitoa ohjaava tieto voidaan saada yhdellä kuvauskerralla (4).

PET-MK:lla on muutamia etuja PET-tietokonetomografiaan (PET-TT) verrattuna, erityisesti MK:n parempi pehmytkudoksen erotuskyky sekä anatomisen ja metabolisen informaation parempi yhtäaikaisuus. MK auttaa myös erottamaan pienempiä poikkeavuuksia TT:tä paremmin erityisesti vatsan parenkyyimielimisissä. Kuvaukseen voidaan yhdistää MK:n tehosteaine, diffuusiokuvaus ja MK:n toiminnallisia sekvenssejä, jotka täydentävät PET:n metabolisen kuvauksen tai reseptorikuvauksen löydöksiä. Lisäksi etenkin lasten kuvantamisessa potilaan säderasituksen minimointi on selvä etu PET-TT:hen verrattuna.

PET-MK otettiin käyttöön vuonna 2012 Turun valtakunnallisessa PET-keskuksessa (5).

Kamerassa oli PET-yksikkö, kääntyvä potilas-sänky ja kameran toisessa päässä MK-yksikkö. Tällä laitteella on tehty kliinisiä potilaskuvauksia sekä muun muassa syöpä- ja keskushermoston tieteellistä tutkimusta. Uusien PET-MK-laitteiden etuna on metabolisen ja anatomisen kuvauksen yhtäaikaisuus ja parempi kuvien synkronia verrattuna kahden aikapisteen PET- ja magneettikuvauksiin.

Kuvaustekniikka

Kirjallisuudesta löytyy useita PET-MK:ta käsitteleviä elin- tai sairauskohtaisia julkaisuja (6–11). Kattavaa suositusta siitä, miten kuvantaminen yleisesti ottaen pitäisi PET-MK:lla tehdä, ei kuitenkaan vielä ole. Paikallisen kuvantamistarpeen ja kansainvälisten julkaisujen perusteella olemme tehneet HUS:ssa kuvausohjeet niille kuvausaiheille, joissa PET-TT ei ole optimaalinen ja joiden olemme katsoneet soveltuvan paremmin PET-MK-yhdistelmäkuvauselle. PET-MK:ta on käsitelty aiemmissa Aikakauskirjan artikkeleissa, joihin viittaamme menetelmän perusteiden osalta (5,12,13).

HUS:ssa käytössä olevan PET-MK:n herkkyys on erittäin hyvä, mikä johtuu uuden sukupolven PET-osioista, joka mahdollistaa potilaalle annettavan radiolääkkeen aktiivi-

TAULUKKO. Lasten koko kehon PET-magneettikuvausohjeet HUS:ssa.

Aiheet	Kuva-ala	Magneettikuvaussekvenssit	Kuvaussuunta
Lymfooma, PTLD, levinneisyys	Silmäkuopasta reisien yläosaan	T1-painotteinen	Aksiaalinen (3D)
		T2-painotteinen, myös nesteherkkä (Dixon)	Aksiaalinen
		Diffuusio	Aksiaalinen
		T2-painotteinen nesteherkkä (STIR), tarvittaessa	Koronaalinen
Osteosarkooma, rabdo-myosarkooma, Ewingin sarkooma, imusolmuke- ja luustoetäpesäkkeet	Päälaesta varpasiin	T1-painotteinen	Aksiaalinen (3D)
		T2-painotteinen, myös nesteherkkä (Dixon)	Aksiaalinen
		T2-painotteinen nesteherkkä (STIR), tarvittaessa	Koronaalinen

3D = kolmiulotteinen; PTLD = elinsiirron jälkeinen lymfoproliferatiivinen sairaus

suuden merkittävän vähentämisen. HUS:ssa PET-TT:ssä yleisesti annettavan fluorodeoksiglukoosin (FDG) aktiivisuus on 3,5 MBq/kg, kun PET-MK:ssa annamme lapsille 2,6 MBq/kg. Potilaan saama sädeannos on myös pienempi TT:n sädeannoksen jäädessä pois. Tämä on erityisen hyödyllistä kuvattaessa lapsipotilaita ja potilaita, jotka sairautensa vuoksi joutuvat useasti PET-kuvaukseen hoitovastearvion tai taudin uusiutumisen vuoksi. Tähänastinen kokemuksemme osoittaa, että annettua aktiivisuutta voidaan vielä merkittävästi vähentää diagnostisen tarkkuuden vaarantumatta. Parantunut herkkyys mahdollistaa myös kuvausaikojen lyhentämisen, jolloin tietyn kohde-elimien yksityiskohtaisen MK:n lisäksi voidaan levinneisyys selvittelyä tehdä nopea tai erittäin nopea koko kehon PET-MK yksinkertaisella protokollalla.

Olemme luoneet perus- ja nopeita koko kehon kuvausohjelmia lapsipotilaille, gynekologisille sekä korva-, nenä- ja kurkkutauti (KNK) potilaille. PET-MK:n tutkimusaika riippuu pääasiassa tarvittavien magneettisekvenssien vaatimasta kuvausajasta, ja siksi tutkimusajat ovat PET-TT-kuvausta pidempiä. Viimeksi kuluneen vuoden aikana lasten kuvauksissa toteutuneiden koko kehon kuvausten kuvaus aika oli 30–115 minuuttia ja KNK-tutkimusten vastaavasti 15–60 minuuttia. Uuden tekoälyavusteisen kuvarekonstruktion avulla voimme kuitenkin lyhentää kuvausajakoja nykyisistä MK:n laadun pysyessä hyvänä. Pidemmän kuvausajan etuna on toisaalta se, että samanaikainen PET tuottaa tarkemman ja kohinattomamman metabolisen kuvan ja parantaa tutkimuksen tarkkuutta.

Merkkiaineet

PET-kuvaus on käytännössä samanlainen, kun siihen liitetään TT tai MK, mutta MK lisää kuvaus aikaa. Käytettävät merkkiaineet ovat samoja, joita käytetään PET-TT:ssä, tärkeimpänä sokerianalogi ¹⁸F-FDG sekä ¹⁸F-PSMA- ja ⁶⁸Ga-DOTA-kuvaus eturauhas- ja neuroendokriinisten syöpien tutkimisessa ja ¹¹C-metioniini aivokasvainten tutkimisessa. Näiden osalta viittaamme Aikakauskirjassa aiemmin julkaistuun PET-katsaukseen (12).

MK:n kuvausohjeet tehdään kullekin kohde-elimelle mahdollisimman kattavin kuvausparametrein vastaamaan kliinistä kysymyksenasettelua. Olemme muokanneet HYKS:n radiologian suppeiden erikoisalojen käyttämiä kuvausohjeita PET-MK:lle sopiviksi. Tavoitteena on ollut saada ohjeet sellaisiksi, ettei erillistä magneettikuvausta PET-MK:n lisäksi tarvita. **TAULUKOSSA** esitetään lastenradiologiassa käytössä olevia koko kehon magneettikuvausohjeita sovellettuina PET-MK:hon. Aikuispotilaita varten on tehty vastaavia elinkohtaisia kuvausohjeita, jotka saamamme kokemuksen ja palautteen perusteella ovat hyviä ja vastaavat HYKS:n vaatimuksia.

Henkilökunta

PET-MK-toiminta asettaa merkittävät vaatimukset tutkimuksia tekeville henkilökunnalle (1). Laitteen käyttäminen edellyttää PET-kuvauksen hyvää tuntemusta ja MK puolestaan pitkäaikais- ja monipuolista kokemusta aikuis- ja lapsipotilaiden magneettikuvauksista. Kokemuksemme pohjalta on eduksi, jos henkilökuntaan kuuluu

sekä kokeneita MK-osaajia että kokeneita PET-osaajia, jotka voivat koulutuksen ja perehdytyksen kautta täydentää osaamistaan koko yhdistelmämenetelmän kattavaksi erityisosaamiseksi. Fyysikon tulee hallita syvällisesti sekä PET- että MK-menetelmät ja tehdä yhteistyötä muualla organisaatiossa toimivien erityisosaajien kanssa.

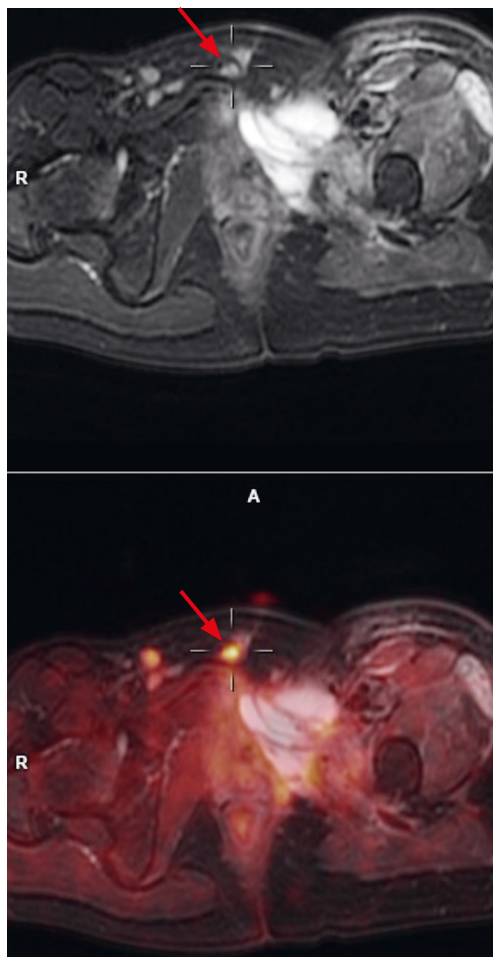
Tutkimuksia lausuvien lääkäreiden on osattava PET-diagnostiikka syvällisesti ja magneettikuvaus pääpiirteissään. Koska isotooppilääkäreiden ei ole mahdollista saavuttaa radiologian suppeiden erikoisalojen osaamista kohtuullisessa ajassa, tehdään PET-MK:n lausunnot radiologien kanssa yhteistyössä (1). Näin toimittaessa lausunnot sisältävät molempien modaaliteettien antaman keskeisen informaation, ja tätä menettelytapaa käytetään yleisesti Euroopassa PET-MK-yksiköissä.

Onkologinen kuvantaminen

PET-MK:n keskeinen sovellusalue on syöpäkuvantaminen, ja erityisen hyvin se soveltuu lasten syöpien kuvantamiseen (14). Tärkeimpiä käyttöaiheita HUS:ssa ovat lymfoomien diagnostiikka sekä hoitovasteen ja relapsin arviointi. Muita ovat sarkoomien kuvantaminen (**KUVA 1**), epäselvän kuumeilun syyn selvittäminen ja infektioiden diagnosointi.

Kuluneen vuoden aikana suurin osa PET-MK-kuvauksista on tehty lapsipotilaille, kaikkiaan 32 % tutkimuksista. Toinen merkittävä ryhmä ovat olleet gynekologiset kasvaimet. Aloitimme suositusten mukaan kohdunkaulakarsinooman kuvauksilla (**KUVA 2**), minkä lisäksi olemme kuvanneet vagina- ja vulvakasvaimia (15,16). Kolmas potilasryhmä on ollut KNK-syöpäpotilaat, joille on hoitovastekuvauksena tehty PET-TT kolmen kuukauden kuluttua definitiivisestä hoidosta. MK:n parempi pehmytkudoksen karakterisointi puoltaa tutkimuksen tekemistä PET-MK:lla, ja olemme tehneet näitä aikataulujen puitteissa (17,18). Myös epäselvän primaarikasvaimen etsiminen on hyvä käyttöaihe KNK-potilaita tutkittaessa.

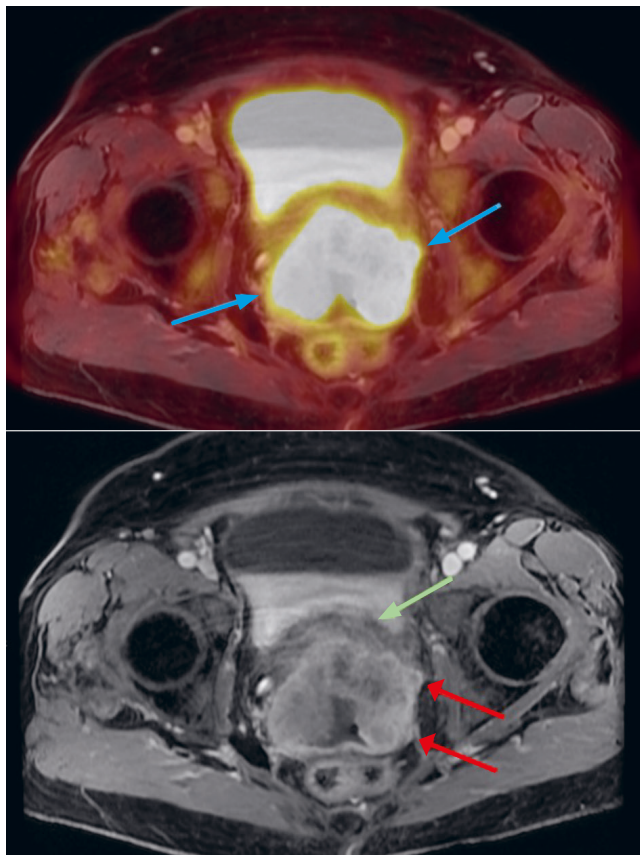
Näille edellä mainituille potilasryhmille on aiempina vuosina tehty yleensä paikallinen MK ja sen jälkeen koko kehon PET-TT. Koska muun muassa hoitovastekuvaukset tulee saada nopeas-



KUVA 1. Vajaan vuoden ikäisen lapsen lantion rhabdomyosarkooman hoidon jälkeen PET-MK-seurantakuvausessa (^{18}F -FDG) havaittiin uusi aktiivinen normaalikokoinen imusolmuke symfyysin edessä (nuoli). Se osoittautui etäpesäkkeeksi.

Ydinasiat

- ▶ PET-MK mahdollistaa metabolisen ja anatomisen kuvaustiedon tarkan kohdentamisen.
- ▶ PET-MK:ssa hyödynnetään yleisiä PET-TT:ssä käytettäviä merkkiaineita.
- ▶ Herkkä PET ja MK mahdollistavat potilaan sädeannoksen vähentämisen.
- ▶ PET-MK on hyvä menetelmä erityisesti lasten kuvauksiin ja toistuviin seurantakuvauxiin, kun tarvitaan hyvää pehmytkudoksen erotuskykyä.



KUVA 2. Keski-ikäen ohittaneella naisella todettiin kohdunkaulan levyepiteelikarsinoma. Kookkaassa kasvaimessa on voimakas pahanlaatuisiksi sopiva glukosiineenvaihdunta (^{18}F -FDG, SUV-max 17,4) (siniset nuolet). Magneettikuvassa havaitaan kasvaimen kasvavan parametrium läpi lantion sivuseinämiin (punaiset nuolet), anteriorisesti se kasvaa virtsarakon takaseinämään (vihreä nuoli). Virtsarakossa on erittynyttä merkkiainetta ja magneettikuvauksen tehosteainetta.

ti, on PET-MK lyhentänyt tulosten odotusaikaa ja nopeuttanut tarvittavia muutoksia potilaan hoito-ohjelmassa. Keskushermoston kuvantamisessa olemme käyttäneet tehosteaineena pääasiassa ^{11}C -metioniinia, kun potilaalla on todettu ja hoidettu glioma tai esimerkiksi keuhkosyövän etäpesäke (19). Kliinikon kysymyksenä on yleensä ollut sädenekroosin erottaminen jäänöskasvaimesta, kasvaimen uusiutuminen tai sädehoidon tarkempi suunnittelu ja kohdistaminen kasvaimen aktiivisimpiin kohtiin (**KUVA 3**).

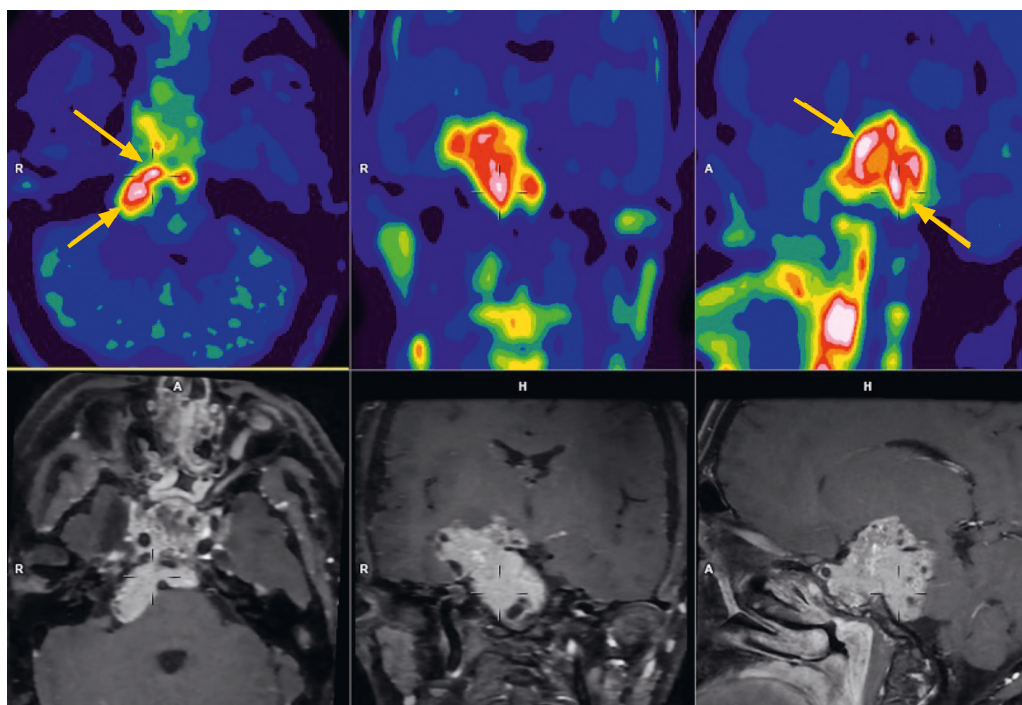
Nopeimmin suureneva PET-MK:hon lähetetty potilasryhmä ovat eturauhassyöpäpotilaat. Kaikkia ei voi eikä tarvitse kuvata PET-MK:lla, mutta kuvauksesta voivat hyötyä esimerkiksi suuren riskin potilaat, joilta syöpää ei ole löytenyt tavanomaisilla menetelmillä (20).

Muu kuvantaminen

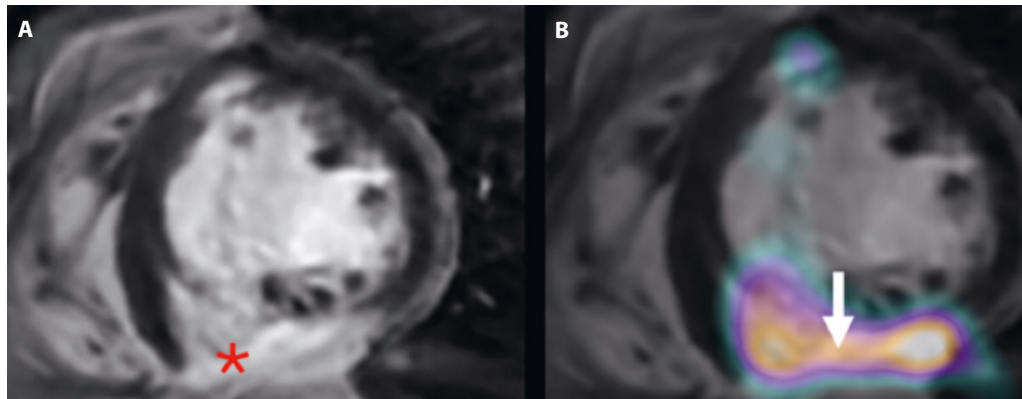
PET-MK:ta teemme myös muissa kuin syöpään liittyvissä kysymyksenasetteluissa,

esimerkiksi sydämen, aivojen ja tulehdussellisten ongelmien yhteydessä. Nopeaa diagnosointia tarvitaan usein epäiltäessä sydänsarkoidoosia tai jättisolumyokardiittia potilaalla, joka on elvytetty kammiovärinästä tai joutunut päivystykseen rytmihäiriön tai vajaatoiminnan vuoksi (21). Näille potilaille tehdään yleensä sekä sydämen laaja MK että aktiivisen tulehduksen selvittämiseksi PET-TT. PET-MK:lla aktiivinen tulehdus, sydämen toiminta ja sydänlihassarpi kuvautuvat hyvin, jolloin diagnoosiin päästään nopeasti yhdellä kuvauksella ja tarvittava hoito voidaan aloittaa oikea-aikaisesti (**KUVA 4**).

Kun systeemisarkoidoosia sairastavalla potilaalla epäillään myös sydänlihastulehdusta, PET-MK on magneettikuvausta varmempi menetelmä sydänsarkoidoosin poissulussa, ja samalla se antaa tietoa sarkoidoosin laajuudesta (21). Osastopotilaiden diagnostista viivettä voidaan vähentää tekemällä MK ja PET yhdellä kuvauksella. PET-MK on erinomainen



KUVA 3. Nuorehko mies on seurannassa aivojen makroprolaktinooman vuoksi. Sätehoidon suunnittelua varten etsitään erityisen aktiivisia alueita. Aksiaalileikkeissä anterolateraalisesti ja näköjuostevanan (tractus opticus) suuntaan nähdään aktiiviset pesäkkeet (^{11}C -metioniini-merkkiaine) (nuolet).

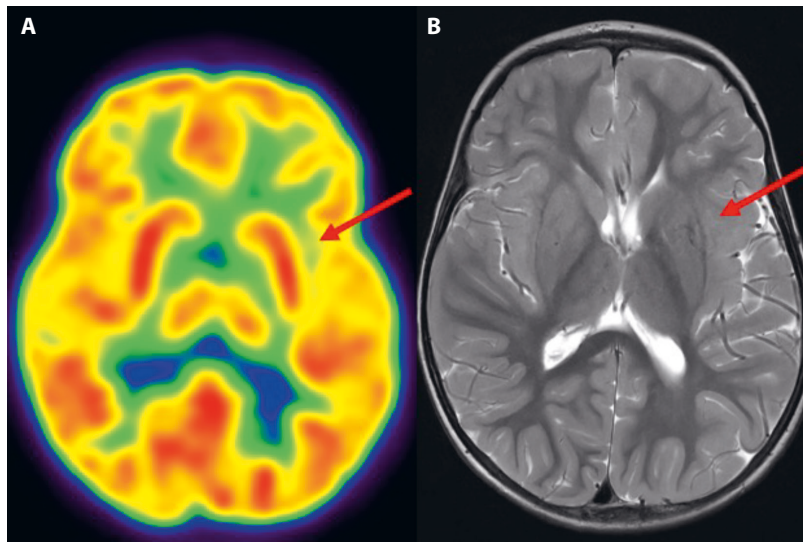


KUVA 4. Sydänsarkoidoosi aiheutti keski-ikäiselle naiselle kolmannen asteen eteis-kammiokatkoksen eli "totaaliblokkin". PET-magneettikuvaus (MK) tehtiin radioaktiivisella sokerianalogilla (^{18}F -FDG). A. Alaseinämassä on kookas arpi MK:n jälkitechostumakuvasa (punainen tähti). B. Aktiivinen tulehdus PET-kuvassa vastaavassa kohdassa sopii tulehdukselliseen sydänsairauteen (valkoinen nuoli).

vaihtoehto myös silloin, kun ongelmana on vasemman kammion heikentyneen pumppaus-toiminnan ja sydänlihaksen elinkelpoisuuden selvittäminen ennen sepelvaltimotoimenpi-dettä. Sydänlihaksen hyvä glukoosinotto sei-nämässä, jossa ei ole merkittävää arpea mutta joka supistuu huonosti, viittaa pelastettavissa olevaan sydänlihakseen. MK taas auttaa tarkan

ejektiofraktion määrittämisessä rytmihäiriö-tahdistimen tarvetta arvioitaessa sekä kammio-trombien poissulkemisessa, kun vasen kammi-o supistuu huonosti.

Tärkeä käyttöaihe on myös epileptisen pe-säkkeen selvittäminen, kun potilaan epilepsia on lääkeresistentti eikä aivojen MK:ssa ole löytynyt rakenteellista poikkeavuutta, joka voi-



KUVA 5. Kaksivuotiaalla tytöllä oli paikallisalkuinen vaikea-hoitoinen epilepsia. Pään magneettikuvaussessa (MK) hemisfäärien välillä on puoliero, jossa vasen frontaalinen operculum on huonommin kehittynyt kuin oikea. PET-MK:ssa (^{18}F -FDG) vasemmalla operculumin seudussa näkyy merkitsevää hypometaboliaa (nuolet).

taisiin hoitaa kirurgisesti (22). Aivojen glukosaasiaineenvaihdunnan ja anatomian yhtäaikainen kuvaus auttaa löytämään esimerkiksi harmaan ja valkean aineen poikkeavan kontrastin tai muun poikkeavuuden, mikä mahdollistaa kalonsisäisten EEG-elektrodien tarkemman sijoittelun ja lopulta epileptisen pesäkkeen löytämisen (KUVA 5). Merkittävä hyöty on myös toisen sedaation tai anestesian välttäminen pieniä lapsipotilaita kuvattaessa.

PET-MK soveltuu hyvin sekä lasten että aikuisten reumasairauksien ja tulehduspesäkkeiden tutkimiseen. Muita PET-MK:n käyttöaiheita ovat lisäkilpirauhasadenooman etsiminen ja aivolisäkkeen mikroadenoomien kuvaus. PET-MK nopeuttaa diagnosointia ja hoidon toteutumista sekä saattaa pienentää kokonaiskustannuksia (23,24).

Lopuksi

PET-MK on yhdistelmäkuvausmenetelmä, joka tarjoaa uuden mahdollisuuden muun muassa syöpätautien tutkimiseen. Sen keskeinen etu PET-TT:hen verrattuna on MK:n erinomainen pehmytkudosten erotuskyky. Yhtäaikainen positroni- ja magneettikuvaus erityisesti lasten syöpien ja muiden sairauksien diagnostiikassa on suuri etu. PET-MK:ssa potilaan saama sädeannos pienenee TT:n käyttöön verrattuna, kun

merkkiaineen aktiivisuutta voidaan vähentää kuvausherkkyyden kärsimättä ja röntgensäteily jää pois. Lasten ja vähemmän yhteistyökykyisten potilaiden sedaation tarve vähenee, kun yhdellä kuvauksella voidaan tehdä sekä PET että MK.

PET-MK lyhentää jonotusaikaa tarvittaviin tutkimuksiin, ja tutkimuksesta eniten hyötyville potilaille tehtynä se helpottaa hoitotakuun toteutumista. Menetelmän haittapuolena on tutkimuksen kallis hinta. Kun sen hyödyt käytettäessä oikeita tutkimusindikaatioita ja protokollia kuitenkin huomioidaan, potilaan hoitoon kohdistuva kokonaiskustannus on verrannollinen tavanomaiseen monivaiheiseen kuvantamiseen (23,24) ■

ANTTI LOIMAALA, LKT, dosentti, ylilääkäri
Meilahden isotooppiyksikkö, Diagnostiikkakeskus, HYKS
Research Program in Systems Oncology, Research Programs Unit, University of Helsinki

TONI IHALAINEN, FT, apulaisylifysikko
Meilahden isotooppiyksikkö, Diagnostiikkakeskus, HYKS

JUKKA SCHILDT, LL, vs. ylilääkäri
Meilahden isotooppiyksikkö, Diagnostiikkakeskus, HYKS

VALTTERI UUSITALO, LT, dosentti, osastonylilääkäri
Meilahden isotooppiyksikkö, Diagnostiikkakeskus, HYKS

TEIJA KALAJOKI-HELMIO, LL, erikoislääkäri
Radiologia, Diagnostiikkakeskus, Uusi lastensairaala, HYKS

VASTUUTOIMITTAJA
Helka Parviainen

SIDONNAISUUDET
Kirjoittajilla ei ole sidonnaisuuksia.

KIRJALLISUUTTA

1. Veit-Haibach P, Ahlström H, Boellaard R ym. International EANM SNMMI ISMRM consensus recommendation for PET/MRI in oncology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2023;50:3513–37.
2. Delso G, Furst S, Jakoby B, ym. Performance measurements of the Siemens mMR integrated whole-body PET/MR scanner. *J Nucl Med* 2011;52:1914–22.
3. Umutlu L, Herrmann K, toim. PET/MR imaging: current and emerging applications. New York: Springer International Publishing 2018.
4. Prakken N, Besson F, Borra R, ym. PET/MRI in practice: a clinical centre survey endorsed by the European Association of Nuclear Medicine (EANM) and the EANM Forschungs GmbH (EARL). *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2023;50:2927–34.
5. Tuokkola T, Knuuti J. Positroniemissiotomografia-magneettikuvaus. *Duodecim* 2018;134:627–34.
6. Chan SC, Yeh CH, Yen TC, ym. Clinical utility of simultaneous whole-body (18) F-FDG PET/ MRI as a single-step imaging modality in the staging of primary nasopharyngeal carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2018;45:1297–308.
7. Ferraro DA, Hotker AM, Becker AS, ym. (68)Ga-PSMA-11 PET/MRI versus multiparametric MRI in men referred for prostate biopsy: primary tumour localization and interreader agreement. *Eur J Hybrid Imaging* 2022;6:14.
8. Beiderwellen K, Geraldo L, Ruhlmann V, ym. Accuracy of [18F]FDG PET/MRI for the detection of liver metastases. *PLoS One* 2015;10:e0137285.
9. Hope TA, Pampaloni MH, Nakakura E, ym. Simultaneous (68)Ga-DOTA-TOC PET/MRI with gadoxetate disodium in patients with neuroendocrine tumor. *Abdom Imaging* 2015;40:1432–40.
10. Durie BG. The role of anatomic and functional staging in myeloma: description of Durie/Salmon plus staging system. *Eur J Cancer* 2006;42:1539–43.
11. Chen BB, Tien YW, Chang MC, ym. PET/MRI in pancreatic and periampullary cancer: correlating diffusion-weighted imaging, MR spectroscopy and glucose metabolic activity with clinical stage and prognosis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2016;43:1753–64.
12. Janatuinen T, Kemppainen J. PET-kuvantamisen menetelmät yleistajuisesti. *Duodecim* 2020;136:1062–7.
13. Kemppainen J, Timonen K, Mussalo H. PET-tutkimus syövän diagnostiikassa ja levinneisyysselvittelyssä. *Duodecim* 2020;136:1068–75.
14. Sher A, Seghers V, Paldino M, ym. Assessment of sequential PET/MRI in comparison with PET/CT of pediatric lymphoma: a prospective study. *Am J Roentgenol* 2016;206:623–31.
15. Grueneisen J, Schaarschmidt BM, Beiderwellen K, ym. Diagnostic value of diffusion-weighted imaging in simultaneous 18F-FDG PET/MR imaging for whole-body staging of women with pelvic malignancies. *J Nucl Med* 2014;55:1930–5.
16. Virarkar M, Ganeshan D, Gulati AT, ym. Diagnostic performance of PET/CT and PET/MR in the management of ovarian carcinoma-a literature review. *Abdom Radiol (NY)* 2021;46:2323–49.
17. Queiroz MA, Huellner MW. PET/MR in cancers of the head and neck. *Semin Nucl Med* 2015;45:248–65.
18. Anzai Y, Chang C-P, Rowe K, ym. Surveillance Imaging with PET/CT and CT and/or MRI for head and neck cancer and mortality: a population-based study. *Radiology* 2023;307:e212915.
19. Marnier L, Henriksen OM, Lundemann M, ym. Clinical PET/MRI in neurooncology: opportunities and challenges from a single-institution perspective. *Clin Transl Imaging* 2017;5:135–49.
20. Evangelista L, Zattoni F, Cassarino G, ym. PET/MRI in prostate cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2021;48:859–73.
21. Kazimierzczuk R, Kaminski K, Nekolla S. Cardiac PET/MRI: recent developments and future aspects. *Semin Nucl Med* 2024;54:733–46.
22. Pedersen C, Aboian M, Messina S, ym. PET/MRI applications in pediatric epilepsy. *World J Nucl Med* 2023;22:78–86.
23. Martin O, Schaarschmidt B, Kirchner J, ym. PET/MRI versus PET/CT for whole-body staging: results from a single-center observational study on 1,003 sequential examinations. *J Nucl Med* 2020;61:1131–6.
24. Mayerhoefer M, Prosch H, Beer L, ym. PET/MRI versus PET/CT in oncology: a prospective single-center study of 330 examinations focusing on implications for patient management and cost considerations. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2020;47:51–60.