

Laura Martelius ja Anna Föhr

Lasten keuhkojen magneettikuvaus

Lasten keuhkojen magneettikuvaukselle on useita käyttöalueita. Se on käyttökelpoinen ensilinjan leikekuvantamismenetelmä lapsen komplisoituneen infektion selvittelyssä sekä tärkeä myös keuhkokasvainten keuhkokudoksen synnynnäisten epämuodostumien ja verisuoniepämuodostumien arvioinnissa. Magneettikuvauksen merkittävä etu lapsipotilaille on ionisoivan säteilyn puuttuminen. Tämä etu korostuu toistuvia kuvauksia vaativien kroonisten sairauksien kuten kystisen fibroosin yhteydessä. Tiettyjen lapsuusiän syöpien hoitojenjälkeisessä seurannassa voidaan käyttää magneettikuvausta tietokonetomografian sijaan etäpesäkkeiden seulonnassa. Lasten interstitiaalisten keuhkosairauksien yhteydessä magneettikuvauksen merkitys on vähäisempi. Lasten ja aikuisten keuhkojen magneettikuvauksessa käytetään samoja kuvantamistekniikoita, lasten kuvausparametreja muokataan lapsen kokoon sopivaksi signaali-kohinasuhteen optimoimiseksi. Uudet, osin vielä kehitysasteella olevat sekvenssit todennäköisesti laajentavat lasten keuhkojen magneettikuvauksen käyttöalueita.

Vaikka magneettikuvaus on jo pitkään ollut rutiinikäytössä monien alueiden kuten aivojen, vatsan ja liikuntaelimestön kuvaamisessa, on keuhkojen magneettikuvaus ollut vähäistä. Laajemman käytön esteenä on menetelmän rajoitusten lisäksi magneettikuvauksen rajallinen saatavuus. Alle kouluikäisten lasten magneettikuvaus ei myös ole täysin kaJoamaton tutkimus, koska se edellyttää useimmiten sedaatiota.

Keskitymme lasten keuhkokudoksen tautien arviointiin magneettikuvauksella. Lasten rintakehän alueen magneettikuvaukselle on vakiintunut useita muita käyttöalueita, kuten sydämen magneettikuvaus sekä välikarsinan ja rintakehän seinämän tautiprosessien arviointi, emmekä käsittele niitä tässä artikkelissa.

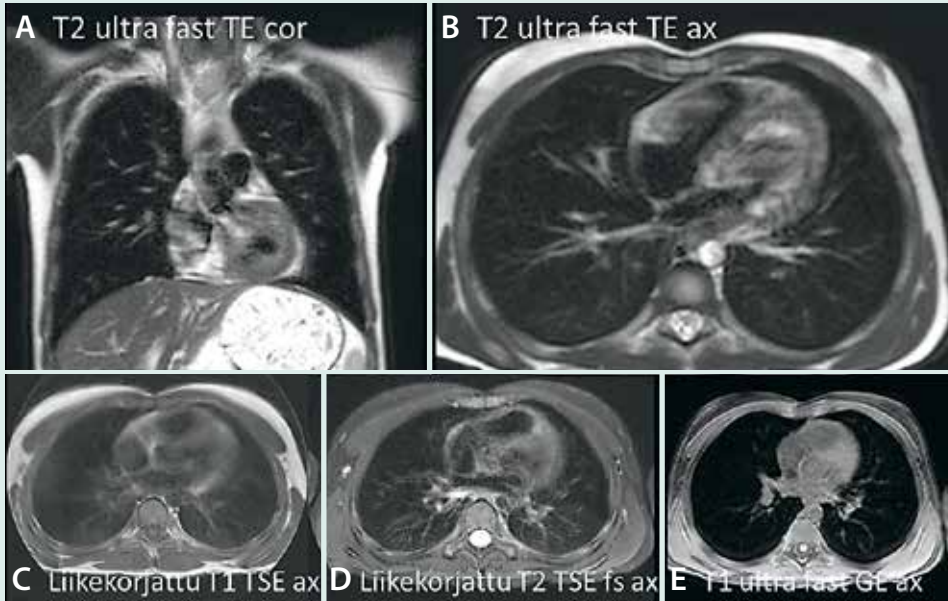
Kuvanmuodostuksen perusteet

Keuhkokudoksen magneettikuvaus on hankalampaa kuin muiden pehmytkudosten. Magneettikuvauksessa kuvanmuodostukseen käytetty signaali syntyy vetyatomien ja radiotaajuisten säteilyn vuorovaikutuksesta voimakkaassa

magneetikentässä. Normaali keuhkokudos tuottaa niukasti magneettisignaalia, koska kudoksesta sisältyy runsaasti ilmaa ja niukasti vetyatomeja. Ilmapitoisen keuhkokudoksen ja keuhkoverisuonten ja keuhkoputkien rajapinnoilla suuri ero kudosten tiheydessä vääristää magneetikenttää paikallisesti, mikä aiheuttaa kuviin epätarkkuutta. Epätarkkuutta aiheuttavat myös keuhkojen hengityslieki ja sydämen lieki. Liikekorjausmenetelmien käyttö onnistuu nykyaikaisilla magneettikuvauslaitteilla myös keuhkojen alueella, mikä on laajentanut magneettikuvauksen käyttöalueita keuhkosairauksien yhteydessä (1,2).

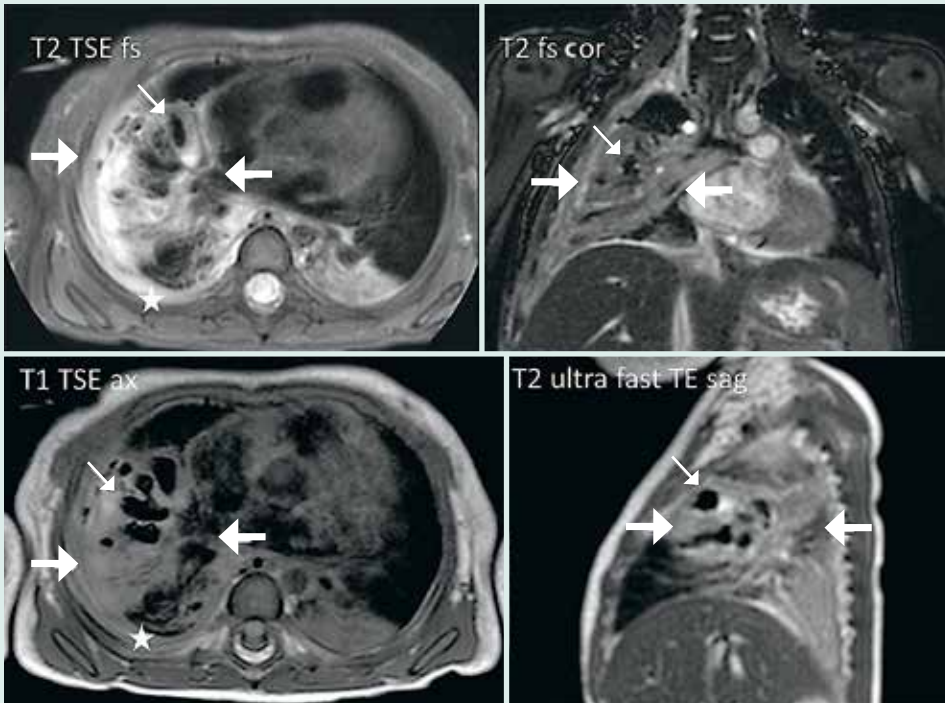
Kuvassekvenssit

Käytettävissä olevat kuvantamistekniikat ovat lapsille ja aikuisille samat. Pieniä lapsia kuvattaessa kuvanlaatu jää selkeästi huonommaksi kuin kuvattaessa lähempänä aikuisen kokoa olevia lapsia. Keuhkokudoksen rakenteiden koko riippuu lapsen koosta. Pienten lasten kuvattavan sekvenssin matriisikokoa voidaan pienentää paikkaresoluution parantamiseksi, mutta



KUVA 1. Keuhkojen magneettikuvausten perussekvenssejä. Nopea T2-painotteinen sekvenssi koronaali- (A) ja aksiaalisuunnassa (B), liikekorjattu T1-painotteinen TSE-sekvenssi (C), liikekorjattu T2-painotteinen TSE-sekvenssi (D) ja nopea T1-painotteinen kolmiulotteinen sekvenssi (E).

T2 = T2-painotteinen, ultra fast TE = ultranopea kaiku aika, T1 = T1-painotteinen, TSE = turbo spin echo, fs = rasvasaturoitu, GE = kenttäkaiku aika, cor = koronaalisuunnan kuva, ax = aksiaalisuunnan kuva



KUVA 2. Magneettikuvaus ilman tehosteainetta keuhkokuumeen ja empyeeman paranemisvaiheessa. Keuhkokonsolidaatiot (leveä nuoli), ilmaontelot (ohut nuoli) ja nekroottisia onteloita sisältävä alue on merkattu nuolilla. Kuvissa näkyy myös vähän keuhkopussinestettä (tähti).

T2 = T2-painotteinen, TSE = turbo spin echo, fs = rasvasaturoitu, ultra fast TE = ultranopea kaiku aika, T1 = T1-painotteinen, cor = koronaalisuunnan kuva, ax = aksiaalisuunnan kuva, sag = sagittaalisuunnan kuva

TAULUKKO. Keuhkojen magneettikuvassekvenssit.

Sekvenssi	Kuvaussuunta	Perussekvenssi	Lisäsekvenssi
T2 ultra fast TE	Koronaalinen	x	
3D GE T1	Aksiaalinen	x	
Balanced GE	Koronaalinen	x	
Liikekorjattu T2 TSE	Aksiaalinen	x	
Keuhkoperfuusio	Koronaalinen		x
Tehostettu 3D GE T1	Aksiaalinen, koronaalinen tai sagittaalinen		x
Liikekorjattu T1 TSE	Aksiaalinen		x

T2 = T2-painotteinen, ultra fast TE = ultranopea kaiku aika, 3D = kolmiulotteinen, GE = kenttäkaiku aika, T1 = T1-painotteinen, balanced = balansoitunut, TSE = turbo spin echo

tämä vähentää signaalia kuvattavalta alueelta. Lasten kuvausalueen kokoa, leikepaksuutta ja kuvaresoluutiota muokataan lapsen kokoon sopivaksi signaali-kohinasuhteen optimoimiseksi. Lasten hengitystaajuus on nopeampi kuin aikuisten, mikä lyhentää kuvausaikoja hengitystahdistetuissa sekvensseissä (1,2).

Lasten keuhkojen magneettikuvauksessa käytettävät perussekvenssit ja tyypilliset kuvaussuunnat esitetään **KUVASSA 1** ja **TAULUKOSSA**. Sarjat kuvataan yleensä aksiaali- tai koronaaliseen suunnan leikkein. Paras kuvanlaatu saadaan hengitystahdistetulla ja liikekorjatulla T2-painotteisilla TSE-sekvensseillä (turbo spin echo), joko rasvasuppressiolla tai ilman. Kuvanlaatua voidaan parantaa myös käyttämällä EKG-tahdistusta, mikä pitkittää kuvausta. Hengitystahdistettujen sekvenssien lisäksi käytetään nopeita yksittäisen hengityspidätyksen aikana kuvattavia sekvenssejä, kuten T2 ultra fast TE ja 3D GE T1.

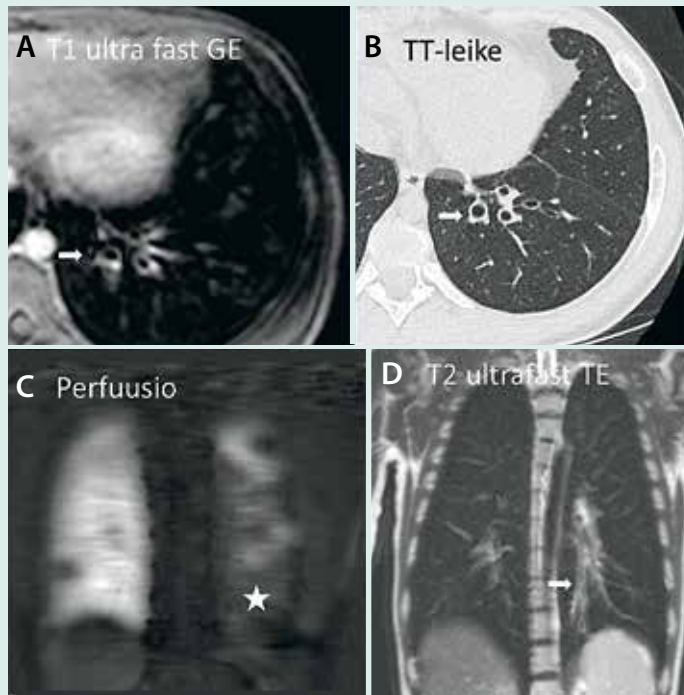
Hengityksen pidättämistä kannattaa harjoitella lapsen kanssa ennen kuvausta. Mikäli kuvaus ei onnistu lapsen iän tai kehitysasteen takia tämän ollessa hereillä, voidaan keuhkot magneettikuvata sedaatiolla ilman intubaatio-anestesiaa. Tällöin nopeisiin T2-painotteisiin sekvenssiin lisätään keskiarvoistusta, jolloin sekvenssin kesto pitenee hieman mutta hengityksen pidätystä ei tarvita. Nopeissa T1-painotteisissa sarjoissa kuvanlaatu jää huonoksi ilman hengityspidätyksiä, joten vapaassa hengityksessä ja sedaation yhteydessä kannattaa kuvata myös hengitystahdistettu T1 TSE (1–3).

Lasten magneettikuvauksen käyttöalueita

Keuhkojen tulehdukset. Keuhkotulehdusten yhteydessä ensisijainen kuvantamismenetelmä on röntgenkuvaus. Jos epäillään keuhkotulehduksen komplisoitumista, kuten keuhkopaisetta tai empyeemaa, voidaan tietokonetomografian (TT) sijaan tehdä myös keuhkojen magneettikuvaus. Konsolidaatio näkyy magneettikuvauksessa TT:n tapaan tiivistymänä, joka peittää alleen verisuonirakenteet. Magneettikuvaus näyttää hyvän kuduskontrastinsa vuoksi TT:tä paremmin välikarsinan imusolmukkeet, ja sillä voidaan tunnistaa keuhkopaise ja empyeema jopa ilman tehosteainetta (**KUVA 2**) (4,5).

Immuunipuutteisten lasten infektiot. Immuunipuutteisilla lapsilla todetaan tavallisten keuhkoinfektioiden lisäksi useiden opportunististen mikrobien aiheuttamia infektoita, joiden diagnosoimiseen käytetään yleensä ohutleike-TT:tä. Kvantamislöydöksiä todetaan muun muassa noduluksia ja matalasimuutoksia. Läpimitaltaan 5–8 mm:n kokoiset ja suuremmat nodulukset erottuvat yleensä hyvin magneettikuvauksessa. Leviävien sienipesäkkeiden onteleminen, ilmasirpien muodostuminen tai nodulusta mahdollisesti ympäröivä matalasimuutos (halo-ilmiö) saattavat erottua magneettikuvauksessa, mutta erottuminen on selkeästi epäluotettavampaa kuin ohutleike-TT:ssä. *Aspergillus*-pesäkkeeseen kertyvä rauta aiheuttaa magneettikuviin niukkasignaalista muutosta ja auttaa pesäkkeen erotusdiagnostiikassa (3,6).

KUVA 3. Vasemman alalohkon bronkiektasiat (A, B ja D). Keuhkon perfuusiotutkimuksessa (C) perfuusiopuutosalue (tähti) vasemmalla alalohkossa viittaa ilmasalpaukseen. T1 = T1-painotteinen, ultra fast GE = ultranopea kenttäkaiku aika, T2 = T2-painotteinen, ultra fast TE = ultranopea kaiku aika



Bronkiektasiatauti. Magneettikuvauksen mahdollisuuksia lasten bronkiektasioiden kuvantamisessa on tutkittu paljon, esimerkiksi kystistä fibroosia sairastavien potilaiden seurannassa. TT on paras menetelmä bronkiektasioiden ja ilmasalpausten toteamiseen, mutta siihen liittyvä säderasitus on varsinkin lapsipotilaiden kannalta toistuvaa käyttöä rajoittava tekijä. Magneettikuvauksessa selkeät sentraaliset bronkiektasiat näkyvät hyvin. Perifeerisemmin, keuhkoputkien kolmannen ja neljännen jakautumisen jälkeen, bronkiektasiat eivät näy yhtä hyvin. Erottumiseen vaikuttavat koon lisäksi seinämän paksuus ja mahdollinen limaretentio. Ilmasalpaus näkyy magneettiperfuusiokuvauksessa hypoperfuusioalueina, koska ilmasalpausalueilla kiertää vähemmän verta kuin tuulettuvassa keuhkokudoksessa. Perfuusiokuvaus edellyttää magneettitehosteaineen käyttöä (KUVA 3) (1,3,7).

Keuhkojen kehityshäiriöt ja kasvaimet. Lähes kaikki synnynäiset keuhkojen kehityshäiriöt todetaan ennen syntymää kaikukuvauksessa, ja lisäselvityksenä tehdään usein sikiön

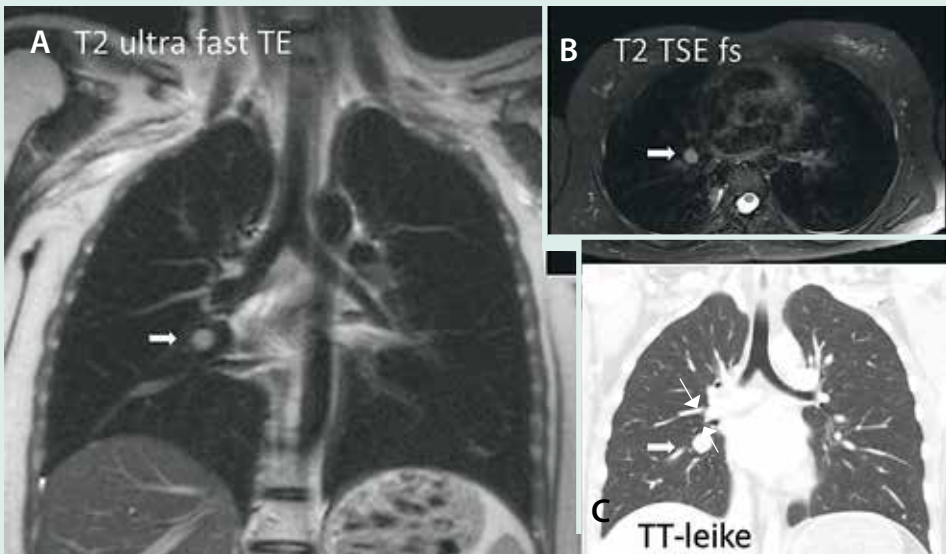
magneettokuvaus (8). Synnynäisiä kehityshäiriöitä ovat synnynäinen keuhkojen ilmatieepämuodostuma (congenital pulmonary airway malformation, CPAM) ja bronkopulmonaalinen sekvesteri. Syntymän jälkeen jatkotutkimuksena tehdään yleensä TT. Kuitenkin varsinkin sekvesteri näkyy hyvin myös magneettikuvauksessa T2-painotteisissa sekvensseissä, ja siihen liittyvä ylimääräinen yleensä aortasta lähtevä valtimo saadaan näkyviin kolmiulotteisessa magneettiangiografiassa. Myös CPAM-muutoksista kiinteä tyyppi 1 muutos näkyy hyvin magneettikuvauksessa, mutta tyyppien 2 ja 3 muutokset näkyvät huonommin, koska niissä on ilmaonteloita.

Lasten keuhkokudoksen pahanlaatuiset kasvaimet ovat harvinaisia. Tyypillisesti ne ovat toteamishetkellä kookkaita. Magneettikuvauksella voidaan arvioida kasvainten ulottuvuuksia, koostumusta sekä tehostumista (KUVA 4) (1,3).

Keuhkoetäpesäkkeiden seuranta. Keuhkoetäpesäkkeiden erottumista magneettikuvauksessa on tutkittu paljon. Jo 5 mm:n läpimittaiset etäpesäkkeet näkyvät usein hyvin, ja



KUVA 4. Välikarsinasta oikealle keuhko-onteloon ulottuva kookas lymfaattinen epämuodostuma. Magneettikuvauksessa (A) pehmytkudoskontrasti on parempi kuin TT:ssä (B). T2 = T2-painotteinen, TSE = turbo spin echo



KUVA 5. Oikealla hiluksen alapuolella etäpesäkenodulus (A ja B), jonka voidaan kuukautta myöhemmin otetussa TT:ssä todeta kasvaneen (C). T2 = T2-painotteinen, ultra fast TE = ultranopea kaiku aika, TSE = turbo spin echo, fs = rasvasaturoitu

yli 8–10 mm:n läpimittaiset erottuvat luotettavasti. Magneettikuvaus on vaihtoehto TT:lle muun muassa lymfooma-, nefroblastooma-, Ewingin sarkooma- ja rabdomyosarkoomapotilaiden hoidonjälkeiseen etäpesäkkeiden seurantaa (KUVA 5) (6,9).

Interstitiaalisten keuhkosairauksien primaaridiagnostiikassa magneettikuvauksen rooli on vähäinen. Ohutleike-TT on näiden tautien

ensilinjan tutkimusmenetelmä, koska keuhkojen magneettikuvauksella ei voida tuottaa keuhkojen rakenteesta yhtä tarkkoja kuvia kuin TT:llä. Lasten interstitiaalisiin keuhkosairauksiin liittyvät parenkymimuutokset erottuvat kuitenkin usein myös magneettikuvauksessa. Esimerkiksi mattalasimuutokset saattavat näkyä magneettikuvauksessa TT:n tapaan tiivistymänä, jonka läpi verisuonirakenteet kuulta-

Ydinasiat

- ▶ Keuhkojen magneettikuvausta voidaan käyttää muun muassa lapsipotilaiden infektioiden, kasvainten ja synnynnäisten epämuodostumien selvittelyyn sekä bronkiektasioiden ja etäpesäkkeiden seulontaan.
- ▶ Magneettikuvauksen merkittävä etu lapsipotilaille on ionisoivan säteilyn puuttuminen.
- ▶ Lasten kuvausparametreja muokataan lapsen kokoon sopivaksi signaali-kohinasuhteen optimoimiseksi.
- ▶ Vielä osin kehitysasteella olevat uudet sekvenssit todennäköisesti laajentavat lasten keuhkojen magneettikuvauksen käyttöalueita tulevaisuudessa.

vat. Magneetin etuna TT:hen nähden on kyky erotella aktiivinen tulehdus ja arpeutuneet muutokset. Magneettikuvauksessa aktiiviset tautiprosessit tuottavat runsaasti signaalia ja erottuvat kirkkaina normaalia mustaa niukkasignaalia keuhkokudosta vasten. TT:ssä sekä arpi-muutokset että aktiiviset tautiprosessit näkyvät normaalia keuhkokudosta tiiviimpinä alueina. Arpeutuneet muutokset, emfysemaattiset alueet ja ilmarakkuloista koostuvat muutokset erottuvat huonosti magneettikuvauksessa (1,3).

Tulevaisuudennäkymiä

Uudella ultralyhyen kaikuajan sekvenssillä (ultrashort echo-time, UTE) on mahdollista muodostaa aiempaa tarkempaa anatomista kuvaa myös ilmapitoisesta keuhkosta. Hyvin lyhyen kaikuajan ansiosta sekvenssin avulla saadaan aiempaa enemmän signaalia myös ilmapitoisen keuhkokudoksen alueelta. Sekvenssi on äskettäin tullut tarjolle kliiniseen käyttöön. Sillä tehdyt magneettikuvat muistuttavat TT-kuvia. Siitä on alustavaa lupaavaa tutkimusnäyttöä myös lasten osalta, esimerkiksi kystisen fibroosin kuvantamisesta. On mahdollista, että tekniikan myötä lasten keuhkojen magneettikuvauksen käyttöalueita voidaan laajentaa (4). Sekvenssin kuvaaminen kestää 5–10 minuuttia

ja signaalin lisäämiseksi kuvaus tahdistetaan uloshengitysvaiheeseen (10).

Arterial spin labeling -menetelmällä (ASL) voidaan tutkia verenkiertoa ja perfuusiota ilman tehosteainetta. Menetelmää on tutkittu eniten aivojen kuvantamisessa, jossa sitä käytetään vaihtelevasti eri keskuksissa erityistapauksissa. Kuvauksessa merkataan keuhkoihin virtaava veri magneettipulsseilla. Useita minuutteja kestävä sekvenssi kuvataan vapaassa hengityksessä. ASL-tekniikalla on tutkittu lasten keuhkojen perfuusiota muun muassa kystisen fibroosin yhteydessä (11).

Hyperpolarisoituneiden kaasujen käyttöä keuhkojen magneettikuvauksessa tutkitaan. Kuvauksessa hengitetään sisään esimerkiksi ksenonia tai heliumia (^{129}Xe tai ^3He) ja käytetään radiotaajuuksia, jotka resonoivat kyseisten kaasujen kanssa. Tällöin keuhkokudoksesta saadaan enemmän signaalia kuin muutoin niukasti vetyatomeja sisältävästä keuhkokudoksesta (12).

Lopuksi

Asianmukaisella keuhkojen magneettikuvaustekniikalla voidaan korvata säteettömästi useita TT-vaihtoehtoja, erityisesti seurantakuvausvaiheessa. Keuhkojen magneettikuvaus on hyvä tekniikka keuhkotulehduksen komplikaatioiden arviointiin. Lämpimältä yli 8–10 mm:n nodulukset erottuvat luotettavasti magneettikuvauksessa. Bronkiektasioiden seurannassa TT voidaan korvata magneettikuvauksella. Keuhkojen kasvainten ja kehityshäiriöiden selvittelyssä magneettikuvauksen etuna on hyvä pehmytkudoskontrasti. Sen sijaan varhaisvaiheen interstitiaaliset tautiprosessit, arpeutuneet muutokset, emfysemaattiset alueet ja keuhkokudoksen ilmarakkulat erottuvat huonommin. Keuhkojen magneettikuvausta tulisi käyttää nykyistä enemmän, ja lasten magneettikuvauksen saatavuutta tulisi parantaa. ■

LAURA MARTELIUS, LT, radiologian erikoislääkäri, lastenradiologian lisäkoulutusohjelma

ANNA FÖHR, LL, radiologian ja lastenradiologian erikoislääkäri, osastonlääkäri

HUS Kuvantaminen, Lastenklinikan röntgen

SIDONNAISUUDET

Kirjoittajilla ei ole sidonnaisuuksia

KIRJALLISUUTTA

1. Liszewski MC, Hersman FW, Altes AA, ym. Magnetic resonance imaging of pediatric lung parenchyma, airways, vasculature, ventilation, and perfusion – state of art. *Radiol Clin N Am* 2013;51:555–82.
2. Baez JC, Seethamraju RT, Mulkern R, ym. Pediatric chest MR imaging sedation, techniques, and extracardiac vessels. *Magn Reson Imaging N Am* 2015;23:321–35.
3. Baez JC, Ciet P, Mulkern R, ym. Pediatric chest MR imaging: lung and airways. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2015; 23:337–49.
4. Sodhi KS, Khandelwal N, Saxena AK, ym. Rapid lung MRI in children with pulmonary infections: time to change our diagnostic algorithms. *J Magn Reson Imaging* 2016;43:1196–206.
5. Peltola V, Ruuskanen O, Svedström E. Magnetic resonance imaging of lung infections in children. *Pediatr Radiol* 2008; 38:1225–31.
6. Ozcan HN, Gormez A, Ozsurekci Y, ym. Magnetic resonance imaging of pulmonary infection in immunocompromised children: comparison with multidetector computed tomography. *Pediatr Radiol* 2017;47:146–53.
7. Tepper LA, Ciet P, Caudri D, ym. Validating chest MRI to detect and monitor cystic fibrosis lung disease in a pediatric cohort. *Pediatric Pulmonol* 2016;51:34–41.
8. Seuri R, Kalajoki-Helmiö T, Palomäki M, ym. Sikiön magneettikuvantaminen. *Duodecim* 2018;134:xxx.
9. Biederer J, Hintze C, Fabel M, ym. MRI of pulmonary nodules: technique, and diagnostic value. *Cancer imaging* 2008; 8:125–30.
10. Roach DJ, Cremillieux Y, Fleck RJ, ym. Ultrashort echo-time magnetic resonance imaging is a sensitive method for the evaluation of early cystic fibrosis lung disease. *Ann Am Thorac Soc* 2016;13:1923–31.
11. Schraml C, Schwenzer NF, Martirosian P, ym. Non-invasive pulmonary perfusion assessment in young patients with cystic fibrosis using an arterial spin labeling MR technique at 1.5 T. *MAGMA* 2012;25:155–62.
12. Roos JE, McAdams HP, Kaushil SS, ym. Hyperpolarized gas MR. *Mag Reson imaging Clin N Am* 2015;23:217–29.

SUMMARY

MRI of the lungs in children

MR imaging of the lungs is useful in children in many situations. It can be used as a first line imaging modality for assessment of complicated pulmonary infections. It is also useful for imaging of lung tumors and congenital pulmonary malformations. The lack of ionizing radiation is a notable advantage of MR imaging, especially in children. This is particularly important in children with chronic illnesses, such as cystic fibrosis, requiring repeated scans. MR can replace computed tomography also for screening of metastases during follow-up after treatment in certain pediatric oncological patients. The role of MR imaging is smaller in childhood interstitial lung disease. The available imaging techniques are similar in adults and children. The imaging parameters are adjusted for smaller children to optimize image quality. It is likely that upcoming new technologies will expand the utility of lung MR imaging in children in the future.