ULOGA MAGNETSKE REZONANCIJE U FETALNOJ MEDICINI

MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN FETAL MEDICINE

SNJEŽANA ŠKRABLIN, RANKA PADOVAN-ŠTERN, VLADIMIR BANOVIĆ, MARKO RADOŠ, IVAN KUVAČIĆ, HELENA LOVRIĆ*

Deskriptori: Fetusne bolesti – dijagnostika; Anomalije – dijagnostika; Fetus – patologija; Magnetska rezonancija; Prenatalna dijagnostika

Sažetak. Slikovne tehnike magnetske rezonancije (MR) relativno su nova revolucionarna metoda ocjene anatomije fetusa. Brzinom slikovnog prikaza od 300 do 400 ms omogućen je prikaz fetusa bez sedacije jer fetalni pokreti više ne smanjuju kvalitetu slike. MR je danas prihvaćena metoda izbora u dijagnosticiranju strukturalnih anomalija živčanog i mokraćnog sustava fetusa koje nisu dovoljno razjašnjene ultrazvučnim prikazom (UZ). Dijagnoze potvrđene MR-om značajno olakšavaju klinički postupak. U kratkom pregledu prikazane su današnje mogućnosti uporabe MR-a u fetalnoj medicini i mogućnosti razvoja dijagnostike MR-om u bliskoj budućnosti.

Descriptors: Fetal diseases – diagnosis; Abnormalities – diagnosis; Fetus – pathology; Magnetic resonance imaging; Prenatal diagnosis

Summary. Fast magnetic resonance imaging (MRI) has revolutionized our ability to image the fetus by using fast scanning techniques. Individual images are obtained in 300–400 s allowing fetal imaging without sedation due to reduced fetal movement artifacts. MRI is most useful for evaluation of the anomalies of fetal nervous and urinary system which are not fully clarified by ultrasound. The influence of magnetic resonance depending on gestational age on perinatal management nowadays is certain. This review discusses its current application and future developments.

Liječ Vjesn 2006;128:79–83

Donedavno je uporaba magnetske rezonancije (MR) za vrijeme trudnoće bila ograničena samo na dijagnostiku bolesti majke (adneksalne tvorbe, sumnja na zdjeličnu trombozu), dok su slike fetusa dobivane slučajno ako su područje snimanja bili donji dio abdomena i zdjelica majke. Kvaliteta snimaka bila je relativno loša zbog dugog primanja signala i većeg broja fetalnih pokreta tijekom tog razdoblja. Napretkom tehnologije i razvojem novih brzih sekvenci, MR je postala važna i korisna dopunska metoda ultrazvučnomu (UZ) prikazu fetusa. Sada, osim UZ-om, koji je ponekad nedovoljno precizan, snimke MR-om omogućuju olakšano prikazivanje posebice nekih ultrazvuku teško dostupnih fetalnih struktura. U posljednjih desetak godina brze slikovne tehnike MR-a, kao što su brze spin echo sekvence (half-Fourier single-shot turbo spin echo, HASTE i steady state free precession technique, truFISP), omogućile su prikaz fetusa bez sedacije, neovisno o majčinu položaju za vrijeme snimanja. U mnogim dijagnostičkim zavodima u svijetu uporaba MR-a u fetalnoj medicini već je rutina jer omogućava snimanje u više ravnina, bolju rezoluciju u odnosu na prikaz UZ-om i CT-om, a ne koristi se ionizirajućim zračenjem.

Kako bi uporaba MR-a zaživjela u svakodnevnom kliničkom radu, potrebno je definirati indikacije i organske sustave u kojima je ova dijagnostika preciznija od drugih slikovnih tehnika. Usporedno je, radi što potpunije karakterizacije mogućih patoloških i anatomskih fetalnih promjena, bliska suradnja između ginekologa s iskustvom u opstetričkom UZ-u i radiologa nužna. Danas je MR metoda izbora u prikazu anomalija središnjega živčanog sustava, prsišta, probavnog i mokraćnog sustava pa je tako postala vrijedan dodatak UZ-u u donošenju svakodnevnih odluka o daljnjem tijeku i vođenju trudnoće.

Tehničke karakteristike MR snimanja te biološki učinak na tkivo fetusa i majku

Da bi se prilikom snimanja izbjegao sindrom vene kave, trudnica se obično postavlja u lijevi lateralni dekubitalni položaj. Pregled valja započeti lokalizacijskom sekvencom u sve tri ravnine. Ako je indikacija za snimanje sumnja na patologiju fetusa, nakon dobivanja lokalizacijskih slika, sve tri ravnine snimanja prilagođavaju se prema fetusu, a ne majci.

Tijekom snimanja, majka i fetus izloženi su statičkomu magnetskom polju, promjenljivom gradijentnom magnetskom polju i radiofrekventnom elektromagnetskom valnom djelovanju.[1,2] Svaka od tih komponenti potencijalno može imati štetan učinak na tkiva fetusa odnosno majke. Glavni mogući učinci su prekomjerno zagrijavanje tkiva zbog apsorpcije radiofrekventne energije (RF), pokretanje i poremetnja djelotvornosti metalnih feromagnetskih usadaka u tijelu majke ili fetusa, interferencija aktivnih električnih stimulatora u tijelu majke ili fetusa s RF poljem i posljedična promjena njihova ritma i pravilnosti rada. Zbog mogućega prekomjernog zagrijavanja tkiva, odlaganjem energije (Specific Absorption Rate, SAR), za snimanja fetusa preporučeno je ograničenje energije na 1,5 W/kg. Za odrasle je

* **Klinika za ženske bolesti i porode, Medicinski fakultet, KBC Zagreb** (prof. dr. sc. Snježana Škrablin, dr. med.; Vladimir Banović, dr. med.; prof. dr. sc. Ivan Kuvačić, dr. med.; Helena Lovrić, dr. med.); **Klinički zavod za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju, Medicinski fakultet, KBC Zagreb** (prof. dr. sc. Ranka Padovan-Štern, dr. med.; dr. sc. Marko Radoš, dr. med.)

Adresa za dopisivanje: Prof. dr. sc. S. Škrablin, Klinika za ženske bolesti i porode, Petrova 13, 10 000 Zagreb

Primljeno 18. svibnja 2005., prihvaćeno 25. listopada 2005.

osobe to ograničnje 2,0 W/kg. U mnogim je studijama ocijenjena sigurnost fetusa i majke pri snimanju MR uz navedena ograničenja[2] i nikakav štetni učinak snimanja na fetus nije ustanovljen.[3]

Razvoj djece koja su intrauterino snimana MR-om pratili su istraživači dviju velikih studija Sveučilišta u Nottinghamu.[4,5] Baker i sur. su u razdoblju od 3 godine pratili dvadesetero djece koja su snimana u fetalnom razdoblju s pomoću Echo Planar Sequence (EPI) i nisu našli nikakvih razlika u odnosu na poredbenu skupinu. Djeca su snimana MR-om od 0,5 T nakon 21. tjedna gestacije do termina, a pedijatrijska ocjena mogućih oštećenja dana je u dobi od 9 mjeseci. U istoj studiji u djece dobi 8 mjeseci ispitivan je sluh, ali oštećenja nisu nađena.[4] Glover je pokušao izmjeriti jačinu zvuka kojoj su fetusi izloženi za vrijeme snimanja. Muški dobrovoljac progutao je mikrofon i popio litru vode kako bi napunjeni želudac pokušao dočarati amnijsku vreću. Tijelo dobrovoljca reduciralo je jačinu zvuka za 30 dB te je tako rizična jačina zvuka od 120 dB smanjena na 90 dB koja se danas smatra sigurnom.[5] U brojnim studijama praćen je utjecaj MR-a na frekvenciju kucaja čedinjeg srca, no ometanje srčanog ritma tijekom ili nakon snimanja nije ustanovljeno.[5–8]

Opasnost mogu uzrokovati i privlačne sile koje razvija statičko magnetsko polje na feromagnetske materijale tijekom snimanja**.** Bilo koji usadak feromagnetskih osobina u tijelu majke, npr. krvožilni metalni umetci (Stent), umjetne pužnice i sl., predstavlja potencijalnu opasnost kada su izloženi jakomu magnetskom polju. Usadak se u magnetskom polju može pokrenuti i tada izravno oštetiti tkivo. Naprimjer, stariji modeli krvožilnih metalnih steznika (Clip) koji se rabe kod moždanih aneurizmi mogu se pomaknuti u magnetskom polju s teškim posljedicama. Iako većina današnjih metalnih usadaka nema feromagnetske osobine, prije pretrage MR-om potrebna je temeljita provjera njihovih osobina i sigurnosti.[9] Moguće je i ometanje rada elektroničkih uređaja kao što su stimulatori srca ili ostali usadci (živčani poticatelji, pužnični usadci) bilo zbog magnetski potaknutih programskih promjena ili elektromagnetskog ometanja. Jednako tako se u trudnoći izbjegava davanje kontrasta koji sadržava gadolinij jer ga fetus guta i zbog dugog vremena eliminacije, gomila u tkivima. Procjenjuje se ipak da je rizik, ako i postoji, izrazito nizak pa je MR indicirana u trudnica kod kojih postoji klinička potreba za dijagnozom koja se ovom metodom može postaviti brže i pouzdanije nego što je to moguće drugim, nerijetko opasnijim i manje pouzdanim metodama. Američko vijeće za zaštitu od zračenja ipak savjetuje izbjegavanje MR-a u prva tri mjeseca trudnoće zbog nedovoljnog znanja o štetnom učinku na organogenezu fetusa.[10,11]

Primjena u porodništvu

Prikaz posteljice

MR se može iskoristiti za točnije određivanje sijela posteljice, posebice u odnosu na ušće maternice zbog različitih magnetskorezonantnih karakteristika dviju vrsta tkiva. Omogućuje otkrivanje placente previje smještene na stražnjoj strani maternice jer kosti fetalne glavice ne zasjenjuju posteljično sijelo.[12] Rabi se samo u iznimnim i nejasnim slučajevima npr. pacijentice s prethodnom miomektomijom[13] zbog visoke cijene pretrage, slabije dostupnosti i velike točnosti dijagnoze postavljene UZ-om, ako se rabi vaginalna sonda.[12]

Zdjelica

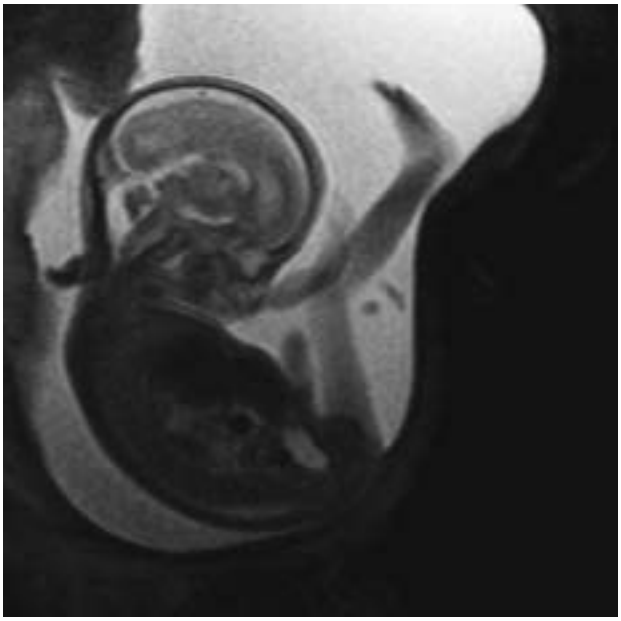
Snimanje MR-om kraćim od 30 sekundi omogućava točno određivanje mjera zdjelice bez ionizacijskog zračenja. Iako se radiološka pelvimetrija zapravo više i ne koristi, procjena prostranosti zdjelice ovom novom metodom, iznimno, mogla bi biti korisna u odluci o načinu dovršenja trudnoće kod npr. stava zatkom i u rijetkim indikacijama kada odluka o načinu dovršenja trudnoće zbog popratnih bolesti ili stanja majke nije ni laka ni jednostavna. Loon i suradnici[14] u svojoj studiji MR pelvimetrijom nisu smanjili učestalost carskog reza kod stava zatkom budući da način dovršenja trudnoće ovisi i o procjeni tjelesne težine djeteta i brojnim drugim okolnostima, ali im je omogućeno bolje i sigurnije vođenje poroda sa statistički nižom pojavnošću hitnih carskih rezova.

Fetus

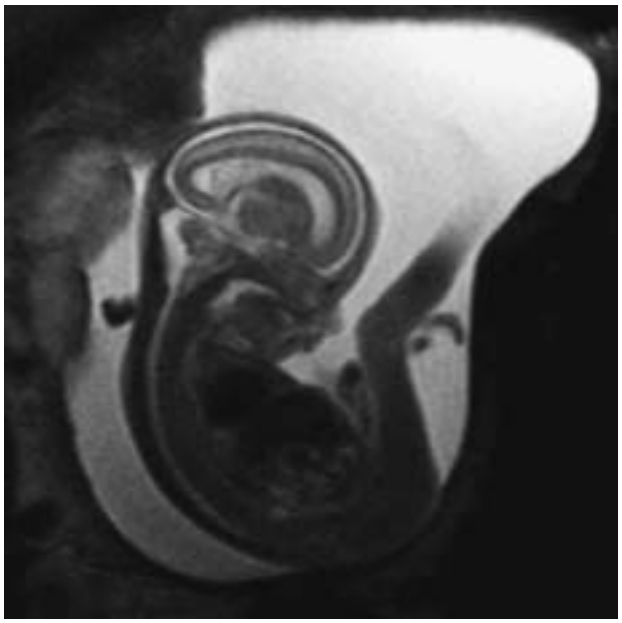
UZ ostaje metoda izbora pri rutinskoj ocjeni anatomije i veličine fetusa, ali u situacijama kada UZ dijagnoza nije dovoljno pouzdana, MR može omogućiti precizniju i potpuniju ocjenu prisutnosti ili odsutnosti malformacija i anomalija. Najčešća indikacija za primjenu MR-a je kod fetalnih anomalija kao što su: potpuna ili djelomična ageneza korpusa kalozuma, malformacije stražnje lubanjske jame, bilateralna renalna ageneza, dijafragmalna hernija i pitanja zrelosti pluća.[15] Na taj način MR bitno olakšava prenatalno savjetovanje i antenatalnu skrb.[16] Omogućen je i bolji kontrastni prikaz mekih tkiva, kao i snimanje u više ravnina koje pomaže u razrješenju složenih anomalija. Posebno je korisna kod pretilih majki i u slučajevima manjka plodne vode koji otežavaju UZ pretragu. Za potpunu analizu fetusa nužno je poznavati različitost fetalne anatomije od anatomije novorođenčeta.

Anomalije središnjega živčanog sustava

MR se pokazala najkorisnijom u dijagnostici malformacija središnjega živčanog sustava fetusa. UZ dijagnostika središnjega živčanog sustava nerijetko je vrlo teška zbog nespecifičnosti prikaza određenih anomalija, tehničkih čimbenika koji smanjuju moć razlučivanja, kostiju neurokranija



Slika 1. *T2 mjerena slika fetusa u mediosagitalnoj ravnini u 14. tjednu gestacije (HASTE sekvenca)*
Figure 1. *T2 weighted mediosagital MRI image of the fetus at 14 weeks (HASTE sequence)*



Slika 2. *4-slojna laminacija telencefaličke stijenke u prvoj polovici drugog trimestra*
Figure 2. *4-layer lamination of telencephalic structure in the first half of second trimester*

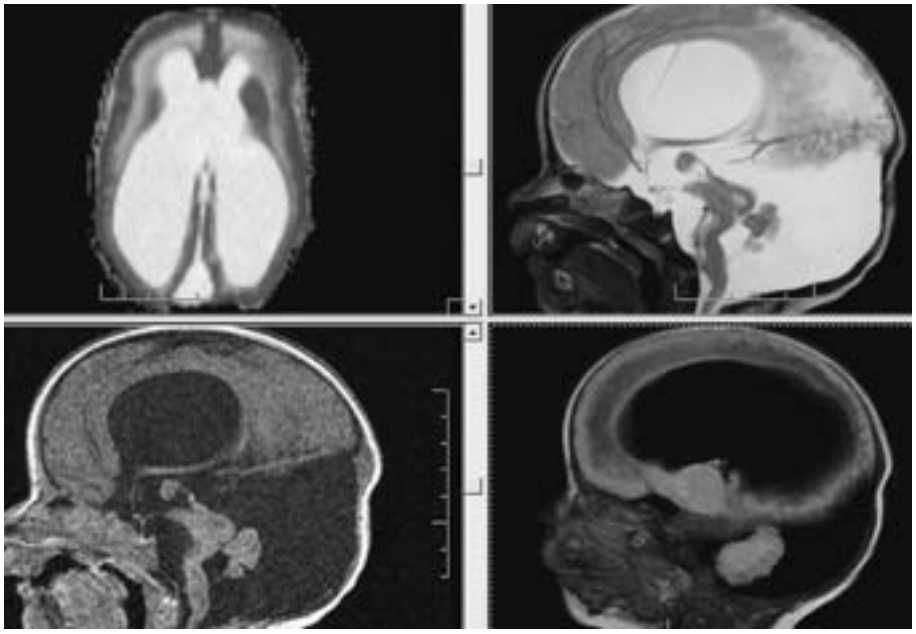
koje onemogućavaju dobar prikaz struktura stražnje lubanjske jame. Nadalje, fine je promjene moždanog parenhima gotovo nemoguće UZ analizirati. Snimanja u više ravnina UZ-om kadkad nisu moguća ili zbog položaja fetusa ili veće gestacijske dobi čeda. Na slici 1. vidi se T2 mjerena slika fetusa u mediosagitalnoj ravnini u 14. tjednu gestacije (HASTE sekvenca) koja nam pokazuje niz važnih anatomskih detalja središnjega živčanog sustava, kao i drugih organa. Potpuno glatka površina mozga s tipičnom višeslojnom laminacijom telencefaličke stijenke normalna je slika mozga sve do 27–29. tjedna gestacije. Treba imati na umu da normalna giracija mozga počinje oko 27. tjedna gestacije i traje sve do nakon rođenja. Također je važno misliti na to da mijelinizacija fetalnog mozga započinje u drugom trimestru i da je ograničena na vrlo malo područje mozgovnog debla te dorzalnog dijela talamusa i stražnjeg kraka capsule interne. Tako je gotovo kompletno nemijelinizirana bijela tvar normalan nalaz većeg dijela fetalnog mozga tijekom većeg dijela gestacije.

Na parasagitalnim presjecima može se analizirati laminacija telencefaličke stijenke koja je karakteristična za pojedinu razvojnu fazu fetalnog mozga. Na slici 2. tako vidimo tipičnu 4-slojnu laminaciju telencefaličke stijenke u prvoj polovici drugog trimestra.[17]

Sasvim novo područje u ocjeni fetalnog neurorazvoja je prikaz i ocjena kortikalne maturacije fetalnog mozga gdje se gleda nastanak cerebralnih girusa i sulkusa.[18] U fetusa s poremetnjama u razvoju mozga postoji značajno kašnjenje u kortikalnom razvoju. Migracijski poremećaji kao u sindromu Walker-Warburg konačno su dostupni antenatalnoj dijagnostici (slika 3), a MR je sve pouzdanija u ocjeni kortikalne maturacije posebno u starijih trudnoća.[18]

Za procjenu patologije fetalnoga središnjeg živčanog sustava kao npr. ventrikulomegalija ili arahnoidne ciste, MR povisuje točnost u otprilike 50% slučajeva.[19,20] MR-om je moguće prikazati prisutnost corpusa callosuma u fetusa s UZ postavljenom sumnjom agenezije, kao i njegovu odsutnost kod dijagnoze ventrikulomegalije.[21,22] Zbog nerijetko ograničenih oštećenja križanja interhemisferalnih putova unutar corpusa callosuma, talamokortikalnih projekcijskih putova i uopće periventrikularnih područja, tek će dijagnostika MR-om omogućiti intrauterinu, a ne samo postnatalnu dijagnostiku nevelikih i multifokalnih oštećenja tkiva mozga koja su posljedica hipoksije ili infekcije. Već je naime pokazano kako je MR prva slikovna metoda kojom je bilo moguće točno dijagnosticirati krvarenje u mozak nerođenog djeteta.[23]

MR-om se mogu prikazati i anomalije leđne moždine,[21] osobito kaudalne malformacije koje je teško prikazati UZ-om, a bolji je i prikaz stražnje lubanjske jame kod sumnje na Chiarijevu malformaciju. Međutim, dijagnoza postavljena MR-om nije utjecala na daljnje liječenje bolesnika s malformacijom neuralne cijevi.[21]



Slika 3. *Antenatalna dijagnostika poremetnji migracije*
Figure 3. *Antenatal diagnostic of migrational disorders*

Postupnim ulaskom MR-a u kliničku uporabu veće studije definirale su njegove prednosti i točan utjecaj na ishod i planiranje trudnoća sa sumnjom na malformacije središnjega živčanog sustava. Studija Levina i sur.[16] imala je cilj odrediti prednost dijagnoze postavljene MR-om u usporedbi s UZ pregledom kod fetusa sa sumnjom na strukturalne anomalije središnjega živčanog sustava i subependimalno krvarenje, tuberoznu sklerozu, ventrikulomegaliju, anomalije i odsutnost korpusa kalozuma, holoprozencefaliju i dr. Studija je uključivala 242 UZ i 242 prikaza dobivena MR-om u 214 fetusa od čega je 145 fetusa imalo patološki nalaz. MR je precizirala dijagnozu postavljenu UZ-om u 31,7% slučajeva. Među fetusima s patološkim UZ nalazom MR je presudno utjecala na odluku o dovršenju trudnoće u 13 fetusa (srednja gestacijska dob 20,1), omogućila donošenje odluke o nastavku trudnoće u 4 fetusa (srednja gestacijska dob 19,2 tjedna), utjecala je na odluku o načinu ili mjestu poroda u njih 5 (srednja gestacijska dob 30,5 tjedana) ili na perinatalnu njegu u također njih 5 (srednja gestacijska dob 30,2). Ovo je ujedno i najveća studija koja je rabila slikovnu metodu half-Fourier single shot rare.

Njihove rezultate potvrdili su Simon i suradnici.[24] U studiji u kojoj su bila uključena 73 fetusa, u njih je 46% sumnja na malformaciju središnjega živčanog sustava postavljena UZ-om sigurno potvrđena MR-om, pa je donesena ispravna odluka o načinu daljeg vođenja trudnoće. Simon stoga ističe kako MR omogućava dijagnozu koja je sigurno preciznija od one dobivene UZ pretragom i time veću sigurnost u točnom savjetovanju pacijenta.

Sve je više radova koji opisuju važnost MR-a zbog boljih kontrastnih svojstava i u dijagnostici anomalija drugih organskih sustava fetusa kao što su vrat ili pluća fetusa.[10,11,15,16,20] Nažalost, za razliku od središnjega živčanog sustava, u dijagnostici poremetnji ovih organa još nema većih studija.[20,24,25]

Prsište

Za patološke tvorbe pluća kao što su kongenitalna adenocistična malformacija, plućna hipoplazija i kongenitalna dijafragmalna hernija[26] MR omogućava točnu dijagnozu i mjerenje ostatka zdravog tkiva, iako je još neprecizan u određivanju morfoloških karakteristika tkiva. U slučaju dijafragmalne hernije UZ-om je teško odrediti smještaj jetre, veličinu lezije, kao i pobliže pregledati plućno tkivo. MR je nadopuna UZ-u u točnom određivanju organa koji prolabiraju u prsište i određivanju volumena zdravoga plućnog tkiva, čime je omogućena rana prognoza neonatalnog ishoda, kao i priprema za kirurški zahvat nakon rođenja.[26]

Gastrointestinalni i urinarni sustav

Velik broj anomalija fetalnoga mokraćnog sustava može se otkriti UZ-om. Te malformacije mogu biti lakše, teže, a potencijalno i smrtnosne. Međutim, manjak plodne vode, u tih anomalija nerijetka popratna pojava, ili pretilost majke, ograničavaju pouzdanost pretrage UZ-om, i nerijetko zahtijevaju uporabu neke druge slikovne tehnike. Istraživači se slažu da je MR-om u trudnoćama s oligohidramnijem prikaz kontrasta između različitih tkiva značajno bolji od onoga koji se može postići UZ-om. Naime, za razliku od UZ-a, metode MR ne zahtijevaju plodnu vodu koja bi stvarala kontrast. Za mokraćni sustav, kao i druge slike fetusa MR-om rabi se brzi slikovni slijed (half-Fourier acquisition single shot turbo spin echo, balanced fast field echo) čime se smanjila duljina ekspozicije na oko 30 min. Smetnje zbog fetalnih pokreta su rjeđe budući da je snimanje brže. Koristeći se T2 mjerenom slikom, postigli smo bolji prikaz nakapnice, mjehura, proširenoga mokraćnog sustava ili cističnih bubrežnih promjena. Kombinacija T1 i T2 mjerene slike služi boljem prikazu bubrežnog parenhima.[27,28] Cassart i suradnici[29] procijenili su nalaz dobiven MR-om kod nedovoljno jasnih prikaza fetalnoga mokraćnog sustava UZ-om. Pratili su 16 fetusa u trećem trimestru u kojih je UZ-om viđena obostrana anomalija mokraćnog sustava: hiperehogeni bubrezi, bilateralna pijelokalicealna dilatacija, renalna cistična oštećenja, agenezija bubrega. U četiri fetusa MR je, zahvaljujući preciznijoj dijagnozi, olakšala donošenje odluke o daljnjem nastavku trudnoće. U jednog fetusa MR je riješila dijagnostičke nedoumice: isključena je dijagnoza mikrokolona pa je i ta trudnoća nastavljena. U tri druga fetusa s bilateralnom renalnom agenezijom, autosomno-recesivnim policističnim bubrezima ili Jeuneov sindromom, MR je značajno olakšala donošenje odluke o dovršenju trudnoće.[29]

Određivanje podrijetla cistične mase fetalnog abdomena izrazito je teško, osobito u 3. trimestru. MR pomaže u otkrivanju podrijetla tumora razlikujući mokraćni i spolni od probavnog sustava. Prikaz debelog crijeva i mokraćnog mjehura razlikuje se u T1 i T2 mjerenoj slici. Razlika signala između mekonija u crijevima i urina u mokraćnome mjehuru mjerena je u 80 fetusa.[30] Urin je svijetao u T2 mjerenoj slici, a taman u T1, mekonij obrnuto. U 17 od 29 slučajeva sa sumnjom na anomalije mokraćnog ili probavnog sustava T1 mjerena slika omogućila je diferencijalnu dijagnozu.

Analiza ploda moguća je i nakon njegove smrti, što može biti vrlo vrijedno ako obitelj odbija obdukciju. Iako pruža podatke o strukturalnim anomalijama, neke malformacije i neorganski uzroci smrti kao npr. infekcija ipak mogu biti propušteni.

Majka

Ako je za vrijeme trudnoće potrebno ocijeniti prisutnost ili odsutnost pretpostavljenih patoloških promjena kod majke, MR ima prednost u odnosu na brojne druge radiološke metode koje majku i dijete izlažu zračenju.[31] Naprimjer, urografija magnetskom rezonancijom u slučajevima urolitijaze ili drugih opstrukcija kvalitetno zamjenjuje intravensku urografiju. MR je korisna u ocjeni stupnja bolesti kod malignih adneksalnih tumora. Studije su pokazale da je procjena novotvorina adneksa u trudnica podvrgnutih MR-u, u odnosu na UZ, pouzdanija za 40–50%.[32,33] Vrijednost MR-a ocjenjivana je u trudnica sa sumnjom na tumor zdjelice.[32] Tehnika oslikavanja MR-om pomogla je u boljem opisu tumora u 8 od 17 trudnica, uključujući 2 od ukupno 4 cistična tetratoma jajnika, tri fibroidna tumora maternice, jednog solidnog tumora jajnika, jednog endometrioma i u prepoznavanju proširenog mokraćnog mjehura koji je bio zamijenjen za tumor jajnika. S pomoću MR-a sijelo zdjeličnog tumora (13 jajnika, 3 maternice, jedan proširen mokraćni mjehur) određeno je sa 100%-tnom točnošću. Istodobno to je s pomoću ultrazvučnih metoda uspjelo samo u 71% bolesnica. U čak tri pacijentice dijagnoza MR-om omogućila je odustajanje od kirurškog zahvata koji bi inače bio učinjen da je za dijagnostiku upotrijebljen samo UZ.

Budućnost razvoja magnetske rezonancije

S obzirom na dijagnostičku točnost, uporaba MR-a bi u budućnosti trebala biti češća, a uz daljnje usavršavanje metode (smanjenje artefakata i skraćivanje vremena snimanja) i još pouzdanija. Međutim, u svijetu se već rabe komplemen-

tarne metode kao što je MR spektroskopija (MRS) i valja pretpostaviti da će obje metode bitno unaprijediti posebice analizu strukture i djelotvornosti središnjega živčanog sustava fetusa. Zahvaljujući različitim rezonantnim frekvencijama atoma vodika unutar brojnih molekularnih sustava u biološkome materijalu, upotrebom MRS-a mogu se identificirati željene molekule unutar strukture koja se snima. Danas se najčešće rabi prikaz količine različitih metaboličkih molekula koje na preglednome spektroskopskom prikazu tkiva u različitim bojama, ovisno o prisutnosti traženih molekula, daju uvid u različite metaboličke procese tkiva, npr. mozga ili tumora. U budućnosti će biti moguće spektroskopskim prikazom moždanog tkiva fetusa ustanoviti prisutnost metaboličkih poremećaja, kao posljedica npr. hipoksije ili infekcije, čija je dijagnoza do sada bila moguća samo postnatalno i postmortalno s pomoću složenih biokemijskih enzimskih testova.

MR se, nadalje, već rabi i za mjerenje volumena fetalnih organa s potencijalnom mogućnošću rekonstrukcije vrlo precizne trodimenzionalne slike. Baker i sur.[34] prvi su fetalnom MR volumetrijom procjenjivali tjelesnu težinu fetusa. Medijan za razliku između stvarne i procijenjene težine za magnet bio je 3%, a 6,5% za UZ, P<0,01 (R 0,97).

Troškovi-korist

Sve veća uporaba MR-a u kliničkom radu s već dokazanim indikacijama sigurno će opravdati visoku cijenu pretrage. Do tada odluku o upućivanju trudnice na MR pretragu trebat će potkrijepiti omjerom troška i koristi. Naprimjer, jednotjedni boravak u bolnici trudnice s nejasnim ultrazvučnim nalazom anomalije središnjega živčanog ili mokraćnog sustava HZZO plaća zdravstvenoj ustanovi oko 2 450 kn. Precizna dijagnoza može se postaviti MR-om bez hospitalizacije za oko 1800 kn.

LITERATURA

1. *Chung H, Chen C, Zimmerman R i sur.* T2-weighted fast MR imaging with true FISP versus HASTE. Am J Radiol 2000;175:1375–80.
2. *De Wilde JP, Rivers AW, Price DL.* A review of the current use of magnetic resonance imaging in pregnancy and safety implications for the fetus. Progr Biophys Mol Biol 2005;87:335–53.
3. *Shellock FJ, Kanal E.* Policies, guidelines, and recommendations for MR imaging safety and patient management. J Magn Reson Imaging 1991;1:97.
4. *Baker PN, Johnson IR, Harvey PR i sur*. A three-year follow-up of children images in utero with echo-planar magnetic resonance. Am J Obstet Gynecol 1994;170:32–3.
5. *Glover P, Hykin J, Gowland i sur*. An assessment of the intrauterine sound intensity level during obstetric echo-planar magnetic resonance imaging. Br J Radiol 2000;73:190–4.
6. *Vadeyar SH, Moore RJ, Strachan BK i sur*. Effect of fetal magnetic resonance imaging on fetal heart rate pattern. Am J Obstet Gynecol 2000;182:666–9.
7. *Potamo J, Portanen K, Vanninen R, Vanno P.* MRI does not change fetal cardiotocographic parameters. Prenat Diagn 1998;18:1149–54.
8. *Michel SC, Rake A, Keller TM, Huch R.* Fetal tocographic monitoring during 1,5 TMR imaging. Am J Radiol 2003;180:1159–64.
9. *Schaefer DJ, Bourland JD, Nyenhuis JA.* Review of patient safety in time-varying gradient fields. J Magn Reson Imaging 2000;12:20–9.
10. *Nagayama M, Watanabe Y, Okumura A i sur.* Fast MR imaging in obstetrics. Radiographics 2002;22:563.
11. *Hubbard AM, Simon EM.* Fetal imaging. Magn Reson Imag. Clin N Am 2002;10:389.
12. *Powell MC, Buckley J, Price H, Worthington BS.* Magnetic resonance imaging and placenta previa. Am J Obstet Gynecol 1986;154:565.
13. *Finberg H, Wiliams J.* Placenta accreta: prospective sonographic diagnosis in patients with placenta previa and prior cesarean section. J Ultrasound Med 1992;11:333–53.
14. *van Loon AJ, Mantingh A, Serlier EK i sur.* Pelvimetry by magnetic resonance imaging in breech presentation. Am J Obstet Gynecol 1990: 163:1256–60.
15. *Wagner BE, Lienman A, Strauss A, Reiser MF.* Fetal magnetic resonance imaging indications, technique, anatomical considerations and a review of fetal abnormalities. Eur Radiol 2002;12:1931–40.
16. *Levine D, Patrick D, Richard R, Geoffrey W.* Fast MR imaging of fetal central nervous system abnormalities. Radiology 2003;229:51–61.
17. *Kostović I, Judaš M, Radoš M, Hrabač P.* Laminar organization of the human cerebrum revealed by histochemical markers and magnetic resonance imaging. Cereb Cortex 2002;12:536–44.
18. *Levine D, Barnes PD.* Cortical maturation in normal and abnormal fetuses as assessed with prenatal MR imaging. Obstet Gynecol 1999; 94:1011–9.
19. *Levine D, Barnes, PD, Edelman RR.* Obstetric MRI. Radiology 1999; 211:609.
20. *Casele H, Meyer J.* The selective use of magnetic resonance imaging in prenatal diagnosis. Ultrasound Obstet Gynecol 2004;23:105.
21. *Levine D, Barnes PD, Madsen J i sur.* Fetal CNS anomalies depicted with ultrafast MR imaging. Am J Radiol 1999;172:813–8.
22. *Levine D, Barnes PD, Madsen JR i sur.* Fetal central nervous system anomalies: MR imaging augments sonographic diagnosis. Radiology 1997;178:218–22.
23. *Trop I, Levine D.* Hemorrage during pregnancy: sonography and MR imaging. Am J Radiol 2001;176:607.
24. *Simon EM, Goldstein RB, Coakley FV i sur.* Fast imaging of fetal CNS anomalies in utero. Am J Neuroradiol 2000;21:1688–98.
25. *Hiroshi S, Kyoko K, Yuji Y, Akihiro T.* MR imaging of non-CNS fetal abnormalities: a pictorial essay. Radiographics 2000;20:1127–243.
26. *Twickler DM, Caire J, Melntire DD i sur.* Feasibility of magnetic resonance lung volumes in fetuses at risk for pulmonary hypoplasia. Am J Obstet Gynecol 2001;185:S246.
27. *Takeuchi K, Moriyama T, Funakoshi T, Maruo T.* Prenatal diagnosis of fetal urogenital abnormalities with oligohydramnios by magnetic resonance imaging using turbo spin echo technique. J Perinat Med 1998; 26:59–61
28. *Poutamo J, Vanninen R, Partanen K, Kirkinen P.* Diagnosing fetal urinary tract abnormalities: benefits of MRI compared to ultrasonography. Acta Obstet Gynecol Scand 2000;79:65–71
29. *Cassart M, Massez A, Metens T i sur.* Complementary role of MRI after sonography in assessing bilateral urinary tract anomalies in the fetus. Am J Radiol 2004;182:689–95.
30. *Engels JE, Ramus RM, Zaretsky M i sur.* Ultrafast T1-weighted SPGR and T2 weighted SSFSE MR sequences: findings in fetal genitourinary and gastrointestinal abnormalities. Am J Radiol 2003;S180(GU007).
31. *Aubel S, Wozney P, Edwards RP.* MRI of female uterine and juxta-uterine masses: clinical application in 25 patients. Magn Reson Imag 1991;9:485.
32. *Kier R, McCarthy SM, Scoutt LM i sur.* Pelvic masses in pregnancy; MRI. Radiology 1990;176:709.
33. *Weinreb JC, Brown CE, Lowe TW i sur.* Pelvic masses in pregnant patients: MR and US imaging. Radiology 1986;159:717.
34. *Baker PN, Johnson IR, Gowland PA i sur.* Fetal weight estimation by echo-planar magnetic resonance imaging. Lancet 1994;343:644–5.