

přehledový článek

Fetální MR diagnostika centrálního nervového systému plodu

Fetal MRI diagnostics of central nervous system

Blanka Prosová, Martina Ptáčníková, Martina Žáčková, Ivana Melicharová, Adéla Tanko-Brychová, Tomáš Jelínek, Martin Kynčl

Klinika zobrazovacích metod 2. LF UK a FN Motol, Praha

Hlavní stanovisko práce

Popis základních indikací a nálezů při zobrazení mozku plodu pomocí fetální magnetické rezonance.

SOUHRN

Prosová B, Ptáčníková M, Žáčková M, Melicharová I, Tanko-Brychová A, Jelínek T, Kynčl M. Fetální MR diagnostika centrálního nervového systému plodu

Základní metodou pro zobrazení mozku plodu je ultrazvuk (UZ). Fetální magnetická rezonance (fMR) zůstává stále metodou doprovodnou k UZ vyšetření. Jednou z výhod fetální MR je, že dokáže zobrazit mozek ve více rovinách bez ohledu na polohu matky a mění se polohu plodu během vyšetření. Zobrazení je také možné zhotovit u nepříznivého BMI (body mass index) matky nebo v případě přítomnosti oligohydramnionu, kdy jsou možnosti provedení ultrazvuku omezené. MR umožňuje lepší vizualizaci mozkových struktur, poskytuje vyšší tkáňový kontrast než ultrazvuk, a může tedy odhalit i anomálie, které nejsou při UZ zobrazení patrné.

Klíčová slova: magnetická rezonance, plod, centrální nervový systém.

Major statement

Description of basic indications and findings in fetal brain imaging using fetal magnetic resonance imaging.

SUMMARY

Prosová B, Ptáčníková M, Žáčková M, Melicharová I, Tanko-Brychová A, Jelínek T, Kynčl M. Fetal MRI diagnostics of central nervous system

Ultrasonography (US) is the primary technique used for assessing the fetal brain. Fetal magnetic resonance imaging (fMRI) is an alternative modality for evaluating the fetal brain and can image the brain in multiple planes regardless of the fetal lie. MRI is better in cases of adverse BMI (body mass index) of the mother and in the situation of oligohydramnion, when the acoustic conditions for ultrasound are limited. MRI has the advantage of allowing better visualization and characterization of brain structures, has a higher contrast resolution than ultrasound, and can detect anomalies not visible in the US.

Key words: magnetic resonance imaging, fetus, central nervous system.

Přijato: 31. 12. 2023

Korespondenční adresa:

MUDr. Blanka Prosová
Klinika zobrazovacích metod 2. LF UK
a FN Motol
V Úvalu 84, 150 06 Praha 5
e-mail: blanka.prosova@fnmotol.cz

Konflikt zájmů: žádný.

ÚVOD

Metodou volby pro zobrazení plodu je ultrazvuk (UZ). Fetální magnetická rezonance (fMR) zůstává doposud metodou doprovodnou, doplňující nebo rozšiřující nález UZ vyšetření. Fetální MR může nalézt změny, které nejsou detekovatelné pomocí UZ až v 50 % případů vyšetřovaných z různých indikací (1). Postnatální diagnóza ukazuje shodu mezi prenatalním MR a UZ nálezem dokonce jen v 54 % případů (2).

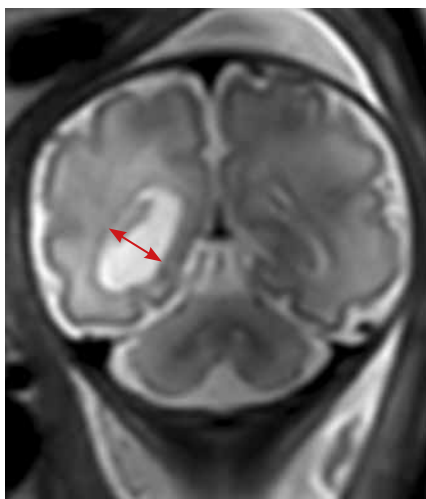
Zásadní pro správnou interpretaci MR nálezů mozku plodu je načasování vyšetření (3). Od 12. do 16. týdne jsou MR indikace omezeny zejména vzhledem k malé velikosti plodu, jeho zvýšenému pohybu a skutečnosti, že některé anomálie v tomto období nemusejí být zobrazitelné. Fetální MR také obvykle neprovádíme před 18. týdnem gestačního věku, protože nepřináší ve srovnání s UZ vyšší diagnostickou výtežnost. Ideální období pro provedení MR mozku plodu je mezi 28. a 32. týdnem

těhotenství. Na našem pracovišti však většinu vyšetření provádíme dříve, mezi 21. a 23. gestačním týdnem. Načasování provedení MR plodu je totiž ovlivněno legislativou týkající se zákonné hranice pro ukončení těhotenství, která se v jednotlivých zemích může lišit (4). Ve většině evropských zemí je termín pro ukončení těhotenství stanoven do 24. týdne, proto se MR mozku plodu často provádí před tímto obdobím, a to z důvodu poskytnutí informací o eventuální vadě a její závažnosti rodičům a také pro další případné vedení těhotenství. U plodů ve stáří od 20. do 25. týdne se dokonce můžeme setkat s tím, že odlišná postižení CNS mohou vykazovat podobné obrazy (5). Ageneze kalózního tělesa nebo anomálie zadní jámy mohou být poměrně spolehlivě zobrazeny v časnějších gestačních týdnech, naopak detailní zhodnocení gyrifikace a vyzrávání mozkové tkáně včetně myelinizace bílé hmoty mozku vyžaduje odložení MR až do III. trimestru. Poruchy v migraci neuronů, kortikální laminaci a kortikální organizaci mohou být v závislosti na gestačním stáří v některých případech natolik nenápadné, že se nemusejí spolehlivě graficky projevit (3). Obecně pro neurologické indikace fetální MR, zejména pro posouzení zadní jámy, parenchymových lézí a malých struktur střední čáry (hypofýza, chiasma zrakových nervů), je vhodnější zobrazování na přístrojích o síle 3 T, pokud jsou k dispozici (6); je třeba však počítat s výraznějším zatížením MR vyšetření specifickými artefakty z větší síly magnetického pole.

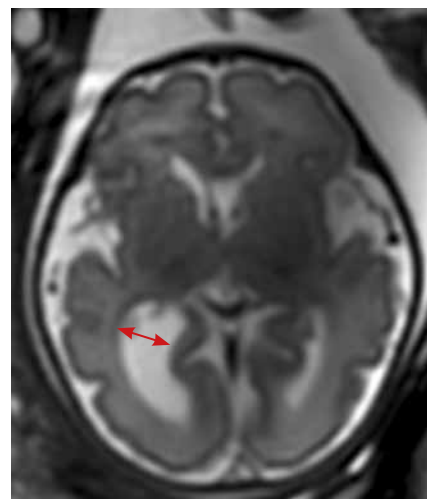
PROVEDENÍ

Fetální MR vyšetření se provádí bez specifické přípravy, doporučujeme však pacientkám vyvarovat se slazeným a kofeinovým nápojům, které by mohly ovlivňovat pohybovou aktivitu plodu. Osvědčuje se zajištění dobrého komfortu při ukládání pacientky do MR přístroje, včetně podložení hlavy, polohy na boku s polštářem mezi kolena a zejména zmírnění obavy z nemocničního prostředí, například přítomností partnera během vyšetření. Jako variantu u klaustrofobních pacientek můžeme nabídnout i opačnou polohu s hlavou mimo gantry MR přístroje. Ujištění pacientky o stálém kontaktu s personálem za pomoci signalizačního zařízení by rovněž nemělo být opomenuto.

1a



1b



1 Plod stáří 32 týdnů s jednostrannou mírnou ventrikulomegalií vpravo, zobrazeno na 3 T přístroji: (a) koronární, (b) axiální T2 sekvence (TR/TE 1500/90 ms), šipky ilustrují měření pravé postranní komory v úrovni atria

A 32-week-old fetus with unilateral mild ventriculomegaly on the right, at 3T: (a) a coronal, (b) an axial T2-weighted single-shot turbo spin echo sequence (TR/TE 1500/90 ms), the arrows illustrate measurements of the right lateral ventricle at the level of atrium.

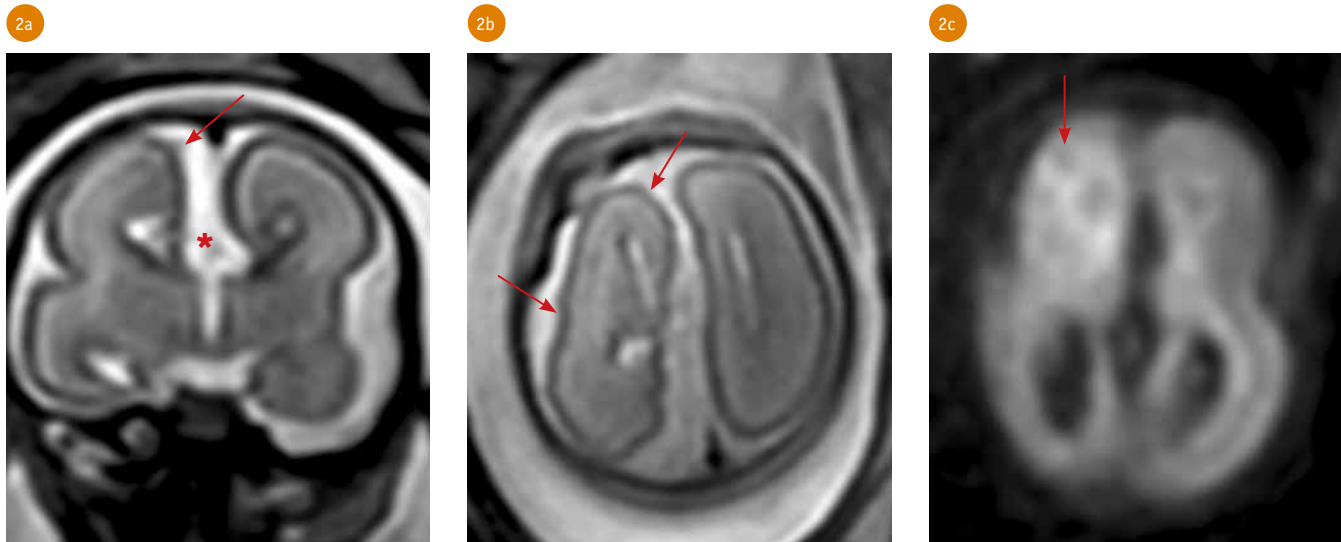
INDIKACE

Fetální MR je užitečným doplňkem prenatalního UZ a je indikována vždy až po provedení ultrasonografického vyšetření. Fetální MR je vhodná především k potvrzení a charakterizaci mozkových abnormalit zjištěných v rámci trojtrimestrálního screeningového prenatalního UZ. Indikace k provedení fetální MR v případech abnormálních nebo nejasných nálezů při fetálním UZ jsou nejčastěji dilatace komor, anomálie kalózního tělesa, podezření na malformace kortexu, abnormality zadní jámy, komplikace u monochoriálních dvojčetných těhotenství a abnormální biometrie mozku plodu. Biometrie hlavičky plodu je nezbytnou součástí vyšetření pro stanovení stavu vývoje mozku plodu; měření zahrnuje kalvu, celý mozek, kalózní těleso, komorový systém, mozkový kmen a mozeček včetně vermise a retrocerebellárních subarachnoidálních prostor (2).

DILATACE KOMOR – VENTRIKULOMEGALIE

Ventrikulomegalie je popisným termínem pro intrauterinně zvětšené komory. Fetální ventrikulomegalie je definována jako průměr komor větší nebo roven 10 mm (měřeno příčně v axiální rovině

v úrovni trigona postranní komory). Mechanismy vzniku ventrikulomegalie lze obecně rozdělit na obstrukční a neobstrukční. Obstrukční ventrikulomegalie je výsledkem buď poruchy cirkulace mozkomíšního moku (CSF), nebo poruchy jeho resorpce. Neobstrukční ventrikulomegalie může být důsledkem malformace nebo destrukce mozku. Většina studií naznačuje vynikající shodu mezi měřením pomocí UZ a MR (7, 8). Fetální MR je zde opět důležitou doplňující metodou k UZ zobrazení (obr. 1). Výhoda MR spočívá ve vizualizaci dalších intrakraniálních změn, jako jsou poruchy kortikální migrace nebo destrukce mozkové tkáně (9), kdy zejména ve III. trimestru, vzhledem k osifikaci lebečních kostí, nemusejí být na UZ vizualizovány ani rozsáhlé stavy po krvácení do germinální matrix. V případě ventrikulomegalie se šance, že MR odhalí další abnormality, značně liší, a v uváděných sériích se pohybuje od 5 do 50 % (10). Čím větší je gestační stáří plodu, tím je detekce těchto asociovaných anomálií větší. Je nutné podotknout, že mírná unilaterální ventrikulomegalie má velmi dobrou prognózu a sama o sobě by neměla být indikací pro provedení fMR.



2 Plod stáří 23 týdnů s agenezí kalózního tělesa s asociovanou jednostrannou oblastí dysmorfické pravé hemisféry a normální kontralaterální hemisférou, zobrazeno na 3T přístroji: (a) koronální; (b) axiální T2 sekvence (TR/TE 1500/90 ms) vykazuje abnormalitu kortikální vrstvy (šipky), je přítomna i ageneze kalózního tělesa (hvězdička); (c) axiální difúzně vážená sekvence (TR/TE 3751/93 ms) s abnormální laminací pravé hemisféry (šipka)

A 23-week-old fetus with agenesis of corpus callosum associated with unilateral area of dysmorphic right hemisphere and normal contralateral hemisphere at 3T: (a) a coronal; (b) an axial T2-weighted single-shot turbo spin echo sequence (TR/TE 1500/90 ms) shows abnormality of cortical ribbon (arrows), agenesis of the corpus callosum is also present (asterisk); (c) An axial diffusion-weighted sequence (TR/TE 3751/93 ms) with abnormal layering of the right hemisphere (arrow)

ANOMÁLIE KALÓZNÍHO TĚLESA

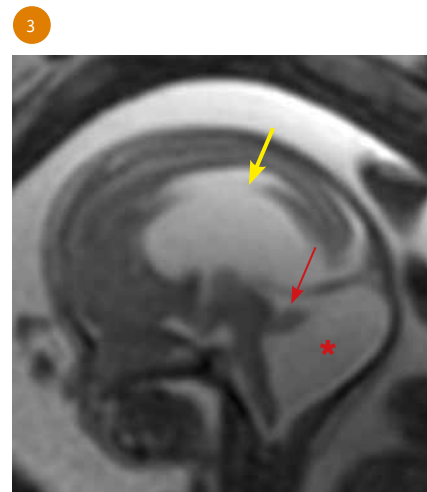
Kalózní těleso se vyvíjí mezi 8. a 20. gestačním týdnem, v tomto období získává svůj konečný tvar a proporce. Mezi vývojové abnormality kalózního tělesa patří ageneze, dysgeneze, eventuálně hypoplazie. Všechny části kalózního tělesa nelze vždy na ultrazvukovém vyšetření plodu spolehlivě vyhodnotit, zejména je-li hlavička uložena hluboko v pánevi. Podezření na agenezi kalózního tělesa je obvyklou indikací k provedení magnetické rezonance plodu – jedná se o nejčastější vývojovou abnormalitu CNS. Fetální MR může přímo zobrazit kalózní těleso v sagitální rovině. Fetální MR vyšetření identifikuje intaktní kalózní těleso přibližně u 20 % případů odeslaných s ultrazvukovým podezřením na kalózní anomálii (1). Naopak v řadě případů odeslaných z UZ jako ventrikulomegalie je na fMR nalezená kompletní ageneze kalózního tělesa s doprovodnou kolpocefalií (rozšíření okcipitálních rohů postranních komor, nápadné zúžení frontálních rohů komor). Anomálie kalózního tělesa bývají spojeny s dalšími anomáliemi CNS a specifickými syndromy, jako je abnormální sulkace mozku, abnormality zadní jámy, periventrikulární nodulární heterotopie šedé hmoty, dysplastické komory a Aicardiho syndrom. Z hlediska genetického poradenství je ageneze

kalózního tělesa svízelnou diagnózou, neboť výsledný outcome dítěte se může dosti významně lišit od lehkého postižení až po závažné vývojové opoždění při prenatalně identickém morfologickém obraze. Zjištění přidružených anomálií má zde velký význam vzhledem k tomu, že tito pacienti mají tendenci k vyššímu výskytu těžších poruch neurologického vývoje (obr. 2).

ABNORMALITY ZADNÍ JÁMY

Vyšetření zadní jámy pomocí UZ může být zejména ve III. trimestru dosti limitované, vzhledem k postupné osifikaci báze lebni. Fetální MR tuto limitaci nemá, a tedy bez ohledu na gestační stáří umožňuje přímé zobrazení mozečkových hemisfér, vermis a mozkového kmene. Fetální MR by měla být provedena, jakmile je vyjádřeno podezření na anomálii zadní jámy lebni; obvykle se tak děje od 19. až 20. týdne těhotenství. Přesná diagnóza malformací zadní jámy je založena na detailní metrické analýze vermis, mozečkových hemisfér, mozkového kmene a 4. mozkové komory (4). Důležitá je sagitální rovina, protože umožňuje vizualizaci velikosti i tvaru zadní jámy, umožňuje změřit průměr mozkového kmene a zejména zhodnotit uložení i velikost a symetrii vermis. Zvýšené množství mozkomíšního moku v zadní jámě lze pozorovat

u heterogenní skupiny, která zahrnuje Dandyho-Walkerovu malformaci (DWM), hypoplazii vermis, Baker's pouch cystu a mega-cisternu magnu (obr. 3). DWM je definována jako hypoplazie vermis



3 **21. týden gestačního věku.** Sagitální 3T. T2 obraz (TR/TE 4,1/2,0 ms) ukazuje Dandyho-Walkerovu malformaci s hypoplastickým vermis, s rotací jeho struktury kraniálně (šipka) a cystickou dilatací 4. komory (hvězdička). Patrná je ventrikulomegalie (žlutá šipka).

21 weeks gestational age. A sagittal 3-T steady-state free precession sequence image (TR/TE 4.1/2.0 ms) shows a Dandy Walker Malformation with a hypoplastic vermis in upward rotation (arrow), cystic dilatation of the fourth ventricle (asterisk). There is severe ventriculomegaly (yellow arrow).

mozečku, které je elevované a rotované kraniálně, společně s cystickou dilatací 4. komory, což vede k rozšíření zadní jámy (11). Výhodné je zhodnotit úhel mezi tegmentem a vermis v sagitální rovině, normální hodnota je $< 10^\circ$. DWM může být izolovaná nebo spojená s abnormalitami CNS, jako je hydrocefalus, anomálie kalózního tělesa, okcipitální encefalokéla, polymikrogyrie a akvedukální stenóza. Diagnóza Blake's pouch cysty pomocí zobrazovacích metod spočívá ve zjištění abnormálního úhlu mezi tegmentem a vermis při současně normální velikosti a morfologii vermis (11). Megacisterna je zvětšená cisterna magna > 10 mm v sagitální rovině ve střední čáře s neporušeným úhlem mezi mozkovým kmenem a vermis a zároveň strukturálně normálním vermis.

KORTIKÁLNÍ MALFORMACE

Proliferace neuronů plodu začíná kolem 5. až 6. gestačního týdne a končí kolem 22. až 25. gestačního týdne. Malformace kortikálního vývoje způsobené nedostatečnou nebo nadměrnou migrací jsou obtížně detekovatelné fetálním UZ i MR před 20. týdnem gestačního věku

(12). Abnormální morfologické nálezy na prenatalním UZ mohou vzbudit podezření z migrační anomálie nebo poruchy gyrifikace, ačkoliv celkově bývají tyto abnormality ultrasonograficky diagnostikovány dosti nepřesně (13). Pro správné rozpoznání kortikální malformace je nutné znát časové intervaly fyziologické mozkové laminace, sulkace a gyrifikace. Optimální doba pro provedení fetálního MR v těchto indikacích je mezi 30. a 32. týdnem těhotenství. Uvádí se, že senzitivita MR pro heterotopie šedé hmoty před 24. týdnem těhotenství je pouze 44 %, v pozdějším období těhotenství ale může být již 73 %. Jiné anomálie, jako jsou polymikrogyrie a schizencefalie, bývají pomocí UZ i MR lépe detekovatelné (14).

KOMPLIKACE U MONOCHORIÁLNÍCH DVOJČAT

Abnormální cévní spojení v placentě může vést k poruchám průtoku krve plodem, což má za následek transfúzní syndrom (TTTS) s rizikem mozkové ischemie a dalších komplikací u obou dvojčat.

Difúzně a susceptibilně vážené sekvence (DWI, SWI) umožňují v takových případech včasnou detekci mozkových lézí, jako jsou krvácení do zárodečné matrix, ischemické změny a infarkt. fMR je rovněž již zavedenou součástí vyšetřovacího protokolu k ověření výsledku terapeutických laserových zákroků u TTTS, v časovém odstupu 2–4 týdnů.

ZÁVĚR

Hodnocení fetálního MR CNS je založeno především na znalosti podrobné anatomie mozku ve vztahu ke gestačnímu stáří, zhodnocení biometrických údajů i přesné lokalizaci odhalené potenciální abnormality. Důležitou roli hraje kvalitní nastavení sekvencí ve spolupráci s aplikačními technikami v rámci prenatalního zobrazení. Při provádění MR vyšetření plodu je však především nutná velmi dobrá komunikace v týmu odesílající lékař – lékař radiolog + další navazující specializace, tedy genetik, neonatolog, eventuálně i dětský neurolog a další odborníci. V neposlední řadě hrají u těchto specifických vyšetření velkou roli trpělivost, empatie, zkušenost i zručnost radiologického asistenta. ●

LITERATURA

1. Vazquez E, et al. Fetal neuroimaging: US and MRI. *Pediatr Radiol*. 2009; 39(Suppl 3): 422–435.
2. Coblenz AC, et al. How to read a fetal magnetic resonance image 101. *Pediatr Radiol*, 2020; 50(13): 1810–1829.
3. Choi JJ, et al. Fetal magnetic resonance imaging: supratentorial brain malformations. *Pediatr Radiol*, 2020; 50(13): 1934–1947.
4. Papaioannou G, et al. Indications for magnetic resonance imaging of the fetal central nervous system: recommendations from the European Society of Paediatric Radiology Fetal Task Force. *Pediatr Radiol*. 2021; 51(11): 2105–2114.
5. Girard NJ, Chaumoitte K. The brain in the belly: what and how of fetal neuroimaging? *J Magn Reson Imaging* 2012; 36(4): 788–804.
6. Collieran GC, et al. Fetal magnetic resonance imaging at 3 Tesla – the European experience. *Pediatr Radiol*. 2022; 52(5): 959–970.
7. Garel C, Alberti C. Coronal measurement of the fetal lateral ventricles: comparison between ultrasonography and magnetic resonance imaging. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2006; 27(1): 23–27.
8. Perlman S, et al. Prenatal diagnosis of fetal ventriculomegaly: Agreement between fetal brain ultrasonography and MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014; 35(6): 1214–1218.
9. Mirsky DM, et al. Imaging of fetal ventriculomegaly. *Pediatr Radiol*. 2020; 50(13): 1948–1958.
10. Society for Maternal – Fetal M., et al. Mild fetal ventriculomegaly: diagnosis, evaluation, and management. *Am J Obstet Gynecol*. 2018; 219(1): B2–B9.
11. Miller E, Orman G, Huisman T. Fetal MRI assessment of posterior fossa anomalies: A review. *J Neuroimaging* 2021; 31(4): 620–640.
12. Severino M, et al. Definitions and classification of malformations of cortical development: practical guidelines. *Brain* 2020; 143(10): 2874–2894.
13. Papaioannou G, Garel C. The fetal brain: migration and gyration anomalies – pre- and postnatal correlations. *Pediatr Radiol*. 2023; 53(4): 589–601.
14. Glenn OA, et al. Malformations of cortical development: diagnostic accuracy of fetal MR imaging. *Radiology* 2012; 263(3): 843–855.