

SOUBORNÝ REFERÁT

Současný stav zobrazení plodu magnetickou rezonancí

The current state of fetal imaging by magnetic resonance imaging

Pavla Hanzlíková^{1,2,3}, Dominik Vilímek^{1,4}, Radek Martinek⁴, Patricie Delongová^{5,6}, Jan Pavlíček⁷

¹Ústav radiodiagnostický, FN Ostrava

²Ústav zobrazovacích metod, OU Ostrava

³Radiologická klinika, Lékařská fakulta, Univerzita Palackého a FN Olomouc

⁴Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

⁵Ústav patologie, FN Ostrava

⁶Ústav patologie, OU Ostrava

⁷Klinika dětského lékařství, Lékařská fakulta, Univerzita Palackého a FN Olomouc

SOUHRN

Hanzlíková P, Vilímek D, Martinek R, Delongová P, Pavlíček J. Současný stav zobrazení plodu magnetickou rezonancí

Magnetická rezonance (MR) jako metoda druhé volby zobrazení plodu přináší vynikající prostorové a kontrastní rozlišení pro hodnocení široké skupiny patologických stavů, ať už kongenitálních, nebo vzniklých během těhotenství. MR jako metoda prostá ionizujícího záření je spolu s ultrazvukovým vyšetřením (UZ) zcela bezpečnou zobrazovací metodou.

Vzhledem k nasazení obrazu standardizovaným protokolem není toto zobrazení závislé na vyšetřujícím a umožňuje opětovné hodnocení radiologem, klinickým specialistou i dalšími lékaři a specialisty v rámci multidisciplinárního týmu, který se věnuje problematice prenatálního vyšetření plodu.

Přínosem zobrazení pomocí MR je oproti UZ vyšetření jiný princip morfologického zobrazení tkání. Další předností MR je možnost zobrazování nejen morfologicky, ale i pomocí zobrazení difuze volné vody – difúzně vážený obraz (diffusion-weighting imaging – DWI), směrové zobrazení difuze (diffusion-tensor imaging – DTI), zobrazení metabolického složení pomocí spektroskopických metod (MR spektroskopie – MRS). Další možností zobrazení plodu je dynamický sken, kde lze podobně jako na UZ sledovat životní funkce plodu v čase. Použití kontrastních látek je v prostředí Česka postup non-lege artis a není ve standardním MR zobrazení plodu využíván.

Klíčová slova: plod, magnetická rezonance, pohyb plodu, DWI a DTI, MR sekce

SUMMARY

Hanzlíková P, Vilímek D, Martinek R, Delongová P, Pavlíček J. The current state of fetal imaging by magnetic resonance imaging

Magnetic resonance imaging (MRI), as a method of the second choice for fetal imaging, provides excellent spatial and contrast resolution for evaluating a wide range of pathological conditions, whether congenital or arising during pregnancy.

MR, as a method free of ionizing radiation, is together with ultrasound examination (UZ) a completely safe imaging method.

Because a standardized protocol scans the image, this imaging is not dependent on the examiner. It allows re-evaluation by the radiologist, clinical specialist and other doctors and specialists within the multidisciplinary team dedicated to the issue of prenatal fetal examination.

The benefit of MR imaging is a different principle of tissue morphological imaging compared to US examination. Another advantage of MR is the possibility of imaging not only morphologically but also using free water diffusion imaging – diffusion-weighting imaging (DWI), directional diffusion imaging (diffusion-tensor imaging – DTI), metabolic composition imaging using spectroscopic methods (MR spectroscopy – MRS). Another option for viewing the fetus is a dynamic scan, where the vital functions of the fetus can be monitored over time, similar to an ultrasound. The use of contrast agents is a non-lege artis procedure in the Czech Republic and is not used in standard MR imaging of the fetus.

Key words: fetus, magnetic resonance, fetal movement, DWI and DTI, MR section

Téma bylo předneseno v rámci Čechovy konference ULTRAZVUK A ZOBRAZOVÁNÍ V GYNEKOLOGII A PORODNICTVÍ 2022, Olomouc, 16. 9. 2022

Korespondenční adresa:

MUDr. Pavla Hanzlíková, Ph.D., MBA
Ústav radiodiagnostický
FN Ostrava
pavla.hanzlikova@fno.cz

ÚVOD

Během prudkého rozvoje zobrazovacích technologií v minulém a tomto století bylo zobrazování těhotných prováděno různými metodami – radiografií, scintigrafií, počítačovou tomografií, posléze magnetickou rezonancí (MR) a zejména ultrasonografií (UZ – ultrazvuk). Vzhledem k dostupnosti, ceně a snadné opakovatelnosti se ultrazvuk stal metodou primární a dominantní.⁽¹⁾ UZ má ale i řadu limitací, mezi které patří zejména obezita matky, horší přehlednost při malém množství plodové vody a atypická poloha plodu.⁽²⁾ Dalším problémem zobrazení fetálního mozku je postupující osifikace lebečních kostí.⁽³⁾

MR jako metoda bez použití ionizujícího záření získala místo v diagnostickém algoritmu péče o těhotné, a to pro jiný druh informace, kterou poskytuje navíc oproti UZ technologii. Poskytuje informace morfologické, ale také např. informace o difuzi vody ve tkáních. Pokročilé techniky přinášejí další poznatky např. o metabolickém složení tkání (metabolity mozku plodu, metabolity v placentě).

Prudký rozvoj technologie MR i systému monitorace životních funkcí vyšetřovaných subjektů v posledních letech je donorem výzev k získání podrobnějších informací o statických strukturách,⁽⁴⁾ ale i o pohybujících se orgánech.

HISTORIE ZOBRAZENÍ PLODU

První práce věnující se zobrazení plodu pomocí MR jsou již z roku 1983,⁽⁵⁾ kdy byly publikovány první validní obrazy. Toto období bylo charakteristické sekvencemi s dlouhým akvizičním časem, které mohly být zatíženy pohybovými artefakty plodu. Tím by se obraz stal nehodnotitelným. Dalším stupněm vývoje bylo užití sedace matky a plodu, nejčastěji benzodiazepinovými preparáty.^(6,7)

S rozvojem rychlejších technik (single shot) došlo k žádoucím zkrácením akvizičního času na cca 15–30 sekund, což umožnilo další rozvoj metodiky.⁽⁸⁾

Vývoj a optimalizace nových sekvencí umožnily využití těchto technik MR k zobrazení plodu – stav difuze vody ve tkáních, toky v cévách, metabolické složení.

BEZPEČNOST MR VYŠETŘENÍ

Ačkoli MR nevystavuje plod ionizujícímu záření, možné biologické účinky silných statických a gradientních magnetických polí a RF pulzů byly identifikovány jako potenciální rizika pro plod.^(2,9) Za více než 35 let klinického používání MR v těhotenství nebyly prokázány žádné nežádoucí účinky na plod.⁽¹⁰⁾ Nejsou prokázány žádné efekty na růst buněk, na DNA ani na jiné biologické procesy.⁽¹¹⁾ Existují rozdílné studie zvířecí, které prokazují možný efekt vystavení velkému hluku v těhotenství na porodní hmotnost a možnost předčasného porodu, zatímco jiné studie toto působení vyvrací.^(12,13)

Většina fetální MR byla standardně prováděna na přístrojích o intenzitě pole 1,5T (Tesla), pro něž byly opakovaně provedeny studie bezpečnosti.⁽¹⁴⁾ Využití MR s vyšší

intenzitou pole (3T) nabízí oproti strojům s nižším polem řadu výhod a výzev – síla pole zvyšuje poměr signálu k šumu a tím kvalitu obrazu, což je s výhodou nejen v zobrazení centrální nervové soustavy. Evropská pediatrická radiologická společnost vydala doporučení k provádění vyšetření primárně na síle stroje 3 T,⁽¹⁵⁾ který hodnotí jako bezpečný. Také ostatní obory oceňují přínos vyššího magnetického pole pro kvalitu obrazu a doporučují vyšetření na 3T přístroji. Je třeba si uvědomit, že s rostoucím magnetickým polem dochází ke zvýšení podílu artefaktů v obraze a také k vyšší depozici energie. To je kompenzováno pomocnými technikami (paralelní techniky, přísné dodržování SAR limitů).^(16,17)

Stejně jako u každého lékařského postupu, který přichází s pozorovanými nebo teoretickými riziky, musí přínos fetální MR studie převážit nad malými a nejistými riziky – princip indikace. Výmluvné anatomické detaily dosažené pomocí MR plodu mohou poskytnout další informace ke stanovení morfologických abnormalit plodu.

INDIKACE K FETÁLNÍMU MR VYŠETŘENÍ

MR vyšetření může přidat další informace o stavu plodu, které mohou ovlivnit pokračování těhotenství, perinatální management, plánování porodu i postnatální péči.⁽¹⁸⁾

Indikace k MR lze rozdělit dle výsledku UZ vyšetření do následujících kategorií:

1. Morfologická abnormalita při UZ vyšetření:
 - nejčastěji asymetrie komor a jejich dilatace, malformace mozku, páteře, plic, orgánů dutiny břišní;
 - infekce mozku i ostatních orgánů;
 - abnormality obličeje.
2. Riziko patologického stavu vzhledem k anamnéze:
 - pokles krevního tlaku u matky s rizikem hypoxie plodu;
 - předchozí těhotenství s patologií.
3. Předpokládaný patologický stav při negativním UZ nálezem:
 - možná hypoxie po ablaci placentárních spojek u twin-to-twin transfusion syndromu (TTTS).

Souhrn indikací dle doporučení The American College of Radiology (ACR) a The Society for Pediatric Radiology (SPR) je v tab. 1 se zdůrazněním přínosu MR i dle našich zkušeností.

OPTIMÁLNÍ ČASOVÁNÍ MR VYŠETŘENÍ PLODU

Pro hodnocení plodu je vhodné skenování po 18. týdnu těhotenství. Optimální v závislosti na typu patologie, kterou je třeba zobrazit, je 20.–22. týden gravidity. Pro možnost předčasného ukončení těhotenství ze zdravotních důvodů je dobré diagnostickou rozvahu stanovit s dostatečným předstihem. Tak je čas pro rozhodnutí rodičů k ukončení gravidity vzhledem k zákonnému limitu 24. týdne gravidity.

Tab. 1: Souhrn indikací dle doporučení The American College of Radiology (ACR) a The Society for Pediatric Radiology (SPR)

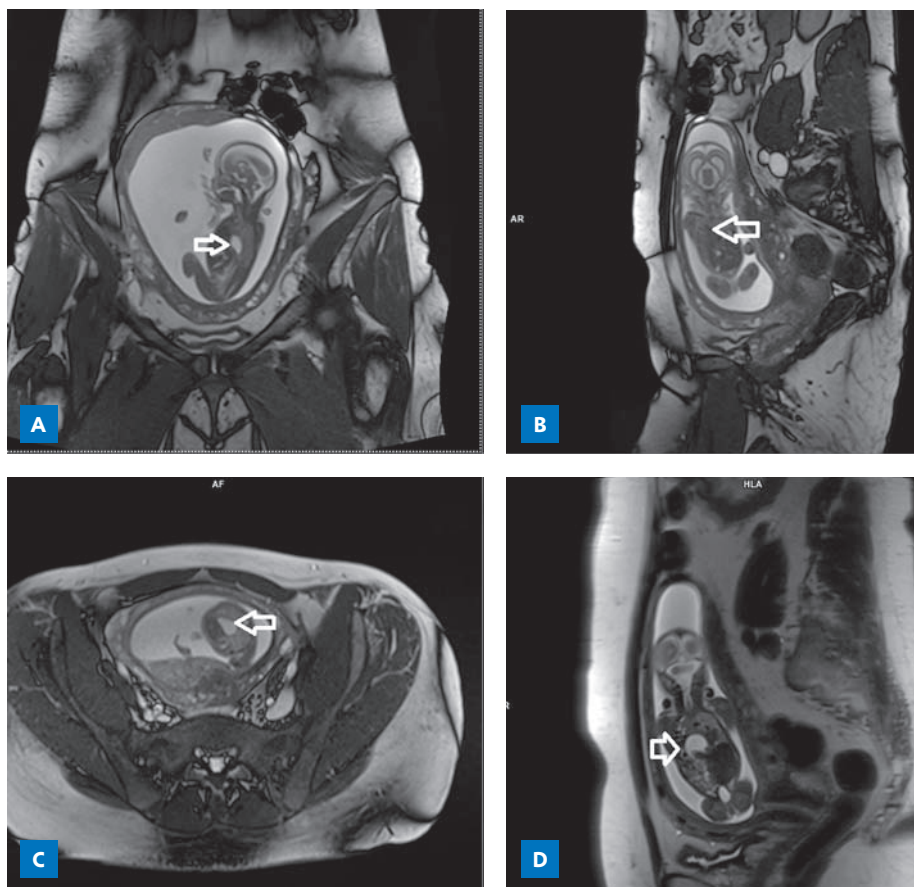
A. Mozek a páteř	
1. Vrozené anomálie mozku nebo lebky	a. Ventrikulomegalie – lehká i závažná forma
	b. Ageneze či dysgeneze corpus callosum – stav rostra kalózního tělesa
	c. Abnormality cavum septum pellucidum – porucha konfigurace středových struktur
	d. Holoprosencefalie – semilobární, lobární, rozsah fúze středových struktur, stav optických nervů
	e. Anomálie zadní jámy – rozsah dysplazie mozečku i kmene, konfigurace drah kmene dle DTI, Chiary spektrum
	f. Poruchy proliferace neuronů, poruchy migrace i poruchy definitivní konfigurace korové vrstvy – hodnocení germinativní matrix, intermediální vrstvy a korové vrstvy
	g. Solidní expanze, cystické expanze – porencefalie, tumory
	h. Cefalokéla – obsah vaku, vztah k okolním strukturám, sinus pericranii
	i. Vyloučení penetrace změn při rodinné anamnéze tuberózní sklerózy, ageneze kalózního tělesa a lissencefalie
2. Cévní abnormality mozku	a. Cévní anomálie – zejména defigurace galénské žíly
	b. Hydranencefalie
	c. Cévní infarkt při poruše krevního zásobení
	d. Krvácení – čerstvé i starší
	e. Komplikace těhotenství monochoriálních dvojčat
3. Vrozené anomálie páteře	a. Poruchy uzávěru neurální trubice – poruchy dorzální indukce, Chiary
	b. Sacrococcygeální teratomy
	c. Syndrom kaudální regrese / sakrální ageneze
	d. Sirenomelie
	e. Vertebrální anomálie – počet a tvar obratlů
B. Lebka, obličej a krk	
1. Masy obličeje a krku	a. Cévní nebo lymfatické anomálie – vztah ke strukturám, hodnocení obsahu
	b. Struma – pozice, signál thyreoglobulinu
	c. Teratomy – podíl tkání, posouzení malignity dle DWI
	d. Rozštěpy obličeje – hlubší struktury, vyloučení změn mozku
	e. Vrozené cysty a cystické útvary
2. MR může být užitečná při hodnocení obstrukce dýchacích cest	
C. Hrudník	
1. Patologie hrudníku	a. Malformace dýchacích cest – typicky bronchogenní cysta, sekvestrace a cystická adenomatoidní malformace plic
	b. Brániční hernie – rozsah, obsah, stav sekvestrované plíce
	c. Výpotky – podíl exsudátu, transudátu, krve
	d. Mediastinální masy – obsah a topografie
	e. Podezření na atrezii jícnu – dynamický sken na polykací akt
	f. Lymfangiektazie – podíl bílkoviny v obsahu
D. Břišní, retroperitoneální a pánevní patologie	
1. Patologie břicha a pánve	a. Průkaz, původ, rozsah expanzí typu hemangiomu, dále solidní masy charakteru neuroblastomu, sacrococcygeálního teratomu – struktura, celulární denzita, krev, hnis, epidermoid
	b. Renální a suprarenální expanze – vztah, charakter
	c. Určení etiologie břišní, ev. pánevní cysty – podíl bílkoviny, krve
	d. Posouzení komplexních genitourinárních anomálií – extrofie močového měchýře, kloakální malformace, anorektální malformace – u lehčích forem význam omezený
	e. Hodnocení renálních anomálií v případech těžkého oligohydramnia – stav vývodného systému i vlastních ledvin (DWI pro hodnocení kůry)
	f. Diagnostika komplexních střevních anomálií – kloaka, menší význam v případě lehčích anorektálních malformací (náplň rekta mekoniem), volvulus
	g. Posouzení komplexních defektů břišní stěny

E.	Muskuloskeletální patologie
	1. Posouzení konfigurace a objemu končetin – stav a symetrie podkoží, lymfangiektazie
	2. Skeletální dysplazie – hodnocení přidružených anomálií, stav chondrogenní osifikace
	3. Potvrzení podezření na anomálie končetiny
F.	Komplikace vícečetných těhotenství
	1. Monochoriální dvojčata – anatomie cév před laserovým ošetřením spojek placenty, hodnocení stavu mozku po terapeutickém výkonu – rozsah ischemie či prokrvácení nervových struktur
	2. Siamská dvojčata – vymezení anatomie může ovlivnit trvání těhotenství, plánování porodu a další péči po porodu
G.	Hodnocení fetálních intervencí – plánování výkonu i stav po vlastním zákroku, sledování
H.	Hodnocení placenty
	1. Ultrazvuk – dominantní v detekci abnormálně invazivní placenty
	2. MR – placenta percreta s invazí do struktur v okolí dělohy – plánování typu porodu i operačního výkonu, monitorování stavu po výkonu

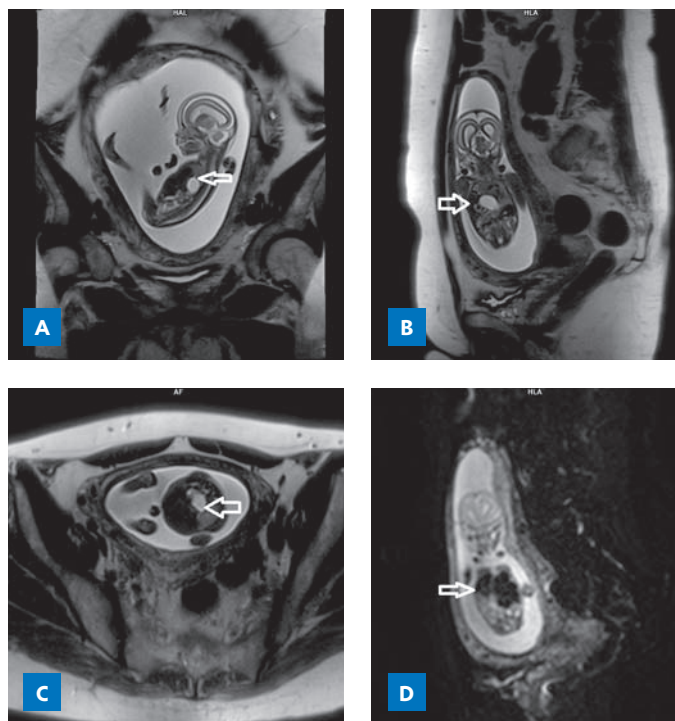
PŘÍPRAVA PACIENTKY

Pacientka přichází na MR pracoviště nejlépe s doprovodem, není lačná. Měla by být klidná. Dle našich zkušeností je seznámení se s průběhem vyšetření, uklidnění a oboustranné pochopení komunikace pro pacientku nejlepší sedací. Pacientka je celou dobu s vyšetřujícím personálem v kontaktu pomocí signalizačního zařízení. Vyšetření trvá cca 15–20 minut.

V nižším stadiu těhotenství je preferována vyšetřovací pozice na zádech, ve vyšších stadiích na levém boku, ale vždy je rozhodující pocit a pohodlí pacientky. Před vyšetřením je na břicho a pánev pacientky umístěna tenká a lehká cívka, která umožňuje vlastní příjem signálu a vyšetření bez ní není možné. Vlastní vyšetření je hlučné, ale všechny sekvence jsou optimalizovány na co nejnižší hlučnost i co nejnižší množství energie předané pacientce, vše v souladu s doporučeními ACR-SPR.



Obr. 1: T2 TruFISP sekvence ve třech rovinách (A, B, C), T1/T2 balancované echo. Skeny plodu s brániční hernií. Pro srovnání T2 HASTE na obrázku D.



Obr. 2: T2 HASTE sekvence ve třech rovinách (A, B, C), planární turbo spin echo. Skeny stejného plodu s brániční hernií jako na obr. 1. Na obrázku D je difúzně vážený obraz s difúzním faktorem b 0.

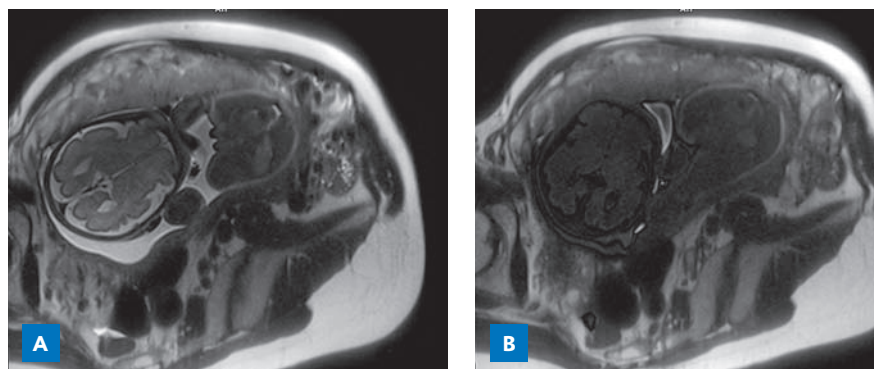
TECHNICKÉ PROVEDENÍ MR VÝŠETŘENÍ

Vlastní vyšetření se skládá z několika sekvencí k morfoloickému posouzení plodu. Dále jsou provedena měření k posouzení směrové či nesměrové difuze vody. Může být doplněna technika k posouzení průtoků či pro hodnocení metabolického složení tkání.

Intravenózní podání gadoliniové kontrastní látky se v prostředí Evropy a České republiky neprovádí.⁽¹⁹⁾

Stěžejní pro optimální zobrazení jsou tři základní parametry, které se navzájem ovlivňují:

1. Poměr signál šum (SNR – signal to noise ratio) – množství informace získané ze tkání závisí zejména na síle magnetického pole.
2. Prostorové rozlišení – opět je závislé na síle magnetického pole.



Obr. 3: T2 HASTE (A), T2 HASTE FLAIR (B). Sken mozku s potlačením signálu mozkomíšního moku.

3. Skenovací čas – v závislosti na předešlých parametrech je nutné ponechat čas co nejvyšší.⁽²⁰⁾

T2 vážený sken

T2 vážený sken ve třech anatomických rovinách je základní zobrazovací sekvencí MR plodu. Je prováděn technikou rychlého singl-shotového echa (každý puls nese jeden obraz) k prevenci pohybových artefaktů.^(21,22) Využívané sekvence jsou TruFISP T2 (true fast imaging with steady-state free precession) a HASTE T2 (half-Fourier acquisition single-shot turbo spin echo imaging), obě dle nomenklatury výrobce Siemens, Německo. Tyto sekvence vykazují maximální prostorové rozlišení při minimu pohybových artefaktů za co nejkratší čas.

Sekvence umožní posoudit anatomické struktury, symetrii, signál mozkomíšního moku a jiné vodě podobné tekutiny. Obě sekvence lze provést i s potlačením signálu tuku. Sekvence TruFISP je použitelná i jako dynamický sken k zobrazení pohybujících se struktur – srdce, polykání.^(4,23,24) Další variantou využití T2 sekvence je náběr dat ve 3D, zatím ale naráží na délku akvizice (více než jedna minuta).

T2 vážený sken s potlačením signálu vody

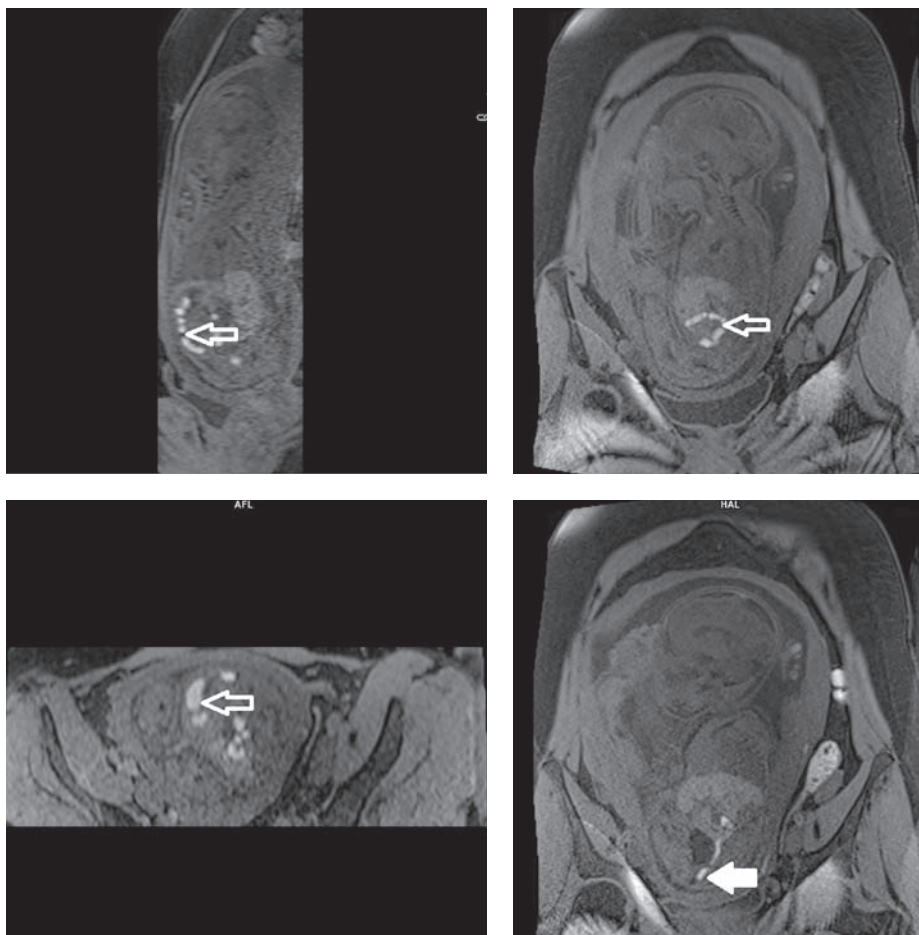
Je to poměrně nově používaná technika, pracuje s inverzním pulsem v sekvenci HASTE, který způsobí nulový signál z volné vody v době náběru dat – umožní detekovat např. asymetrii rozložení vody v mozkové tkáni – edém.⁽²⁵⁾

T2 gradientní echo – T2*

Slouží ke zhodnocení přítomnosti rozpadových produktů krve, často naráží na délku náběru dat – okolo 2–3 minut. Variantou T2* skenu je BOLD – viz níže.

T1 vážený sken

Toto měření je opět prováděno ve třech ortogonálních rovinách a eventuálně ho lze nahradit jednou 3D sekvencí. Pro citlivost sekvence k dechovým artefaktům matky se provádí se zadrženým dechem v inspiriu.



Obr. 4: T1 3D sken s potlačením tuku, gradientní sekvence. Normální T1 hypersignální mekonium ve střevních kličkách (prázdné šipky) až po rektum (plná šipka).

Sekvence je možno provádět se signálem tuku i s jeho potlačením, což může přispívat k diferenciální diagnostické rozvaze.

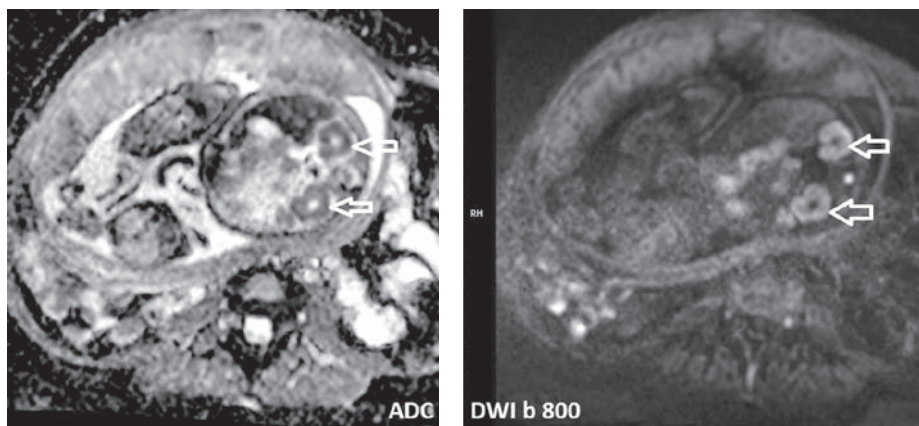
T1 vážený sken vykazuje vyšší signál nejen v případě tuku, ale i v případě zahuštěné bílkoviny, methemoglobinu (jedna z prvních vývojových fází zrání hematomu), dále melaninu a ve sloučeninách vápníku.

U plodu je typicky hypersignální štítná žláza (zahuštěná bílkovina) a obsah střevní (mekonium se zbytky bílkovin

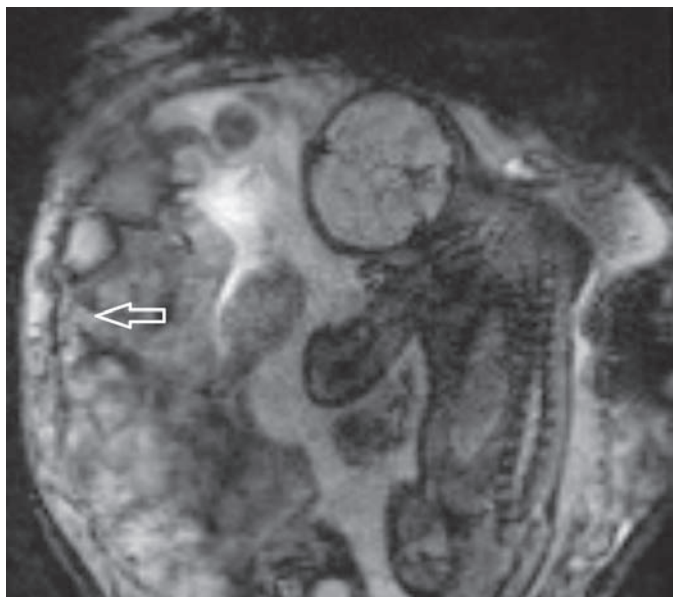
a tuku). Rozložení tohoto hypersignálu opět přispívá k posouzení anatomie (atrezie gastrointestinálního traktu). Přítomnost T1 hypersignálu mimo normální oblasti svědčí nejčastěji o zahuštěné bílkovině, ev. zakrvácení.⁽²⁾

Difuzně vážený sken – DWI

DWI je sekvence, která umožní posoudit pohyb vody v organismu. Lze ji provádět se sledováním difuze ve všech



Obr. 5: Difuzně vážený obraz s b 800 a ADC mapa, parakoronální sken. Výrazná fyziologická celularizace parenchymu ledvin usnadňuje detekci poruch utváření. Normální nález.



Obr. 6: BOLD sekvence, gradientní echo. Dynamická sekvence detekující toky nativně. Posouzení toků placentárními lakunami po laserové ablacii spojek při twin-to-twin transfusion syndromu.

směrech (standardní DW obrazy) nebo se zobrazením dominantního směru difuze (zobrazení difuzního tensoru, DTI).

Izotropní difuze – je velmi citlivá, zejména v případech zástavy sodíko-draslíkové pumpy v buněčné stěně s rozvojem cytotoxického edému – typický obraz restrikce v difuzi. Tato sekvence také vykazuje dobrou senzitivitu při redukci intracytoplazmatické vody v maligní buňce, která má objemné jádro – opět je patrna restrikce difuze vody.

Zobrazení všesměrové difuze je v prenatální diagnostice stěžejní pro detekci rozložení vysoce celularizovaných tkání – například periventrikulární germinativní matrix mozku nebo korová vrstva vyvíjejících se ledvin.⁽²⁶⁾

Anizotropní – směrová – difuze DTI – je přínosem zejména při detekci utváření mozkových drah vyvíjejícího se

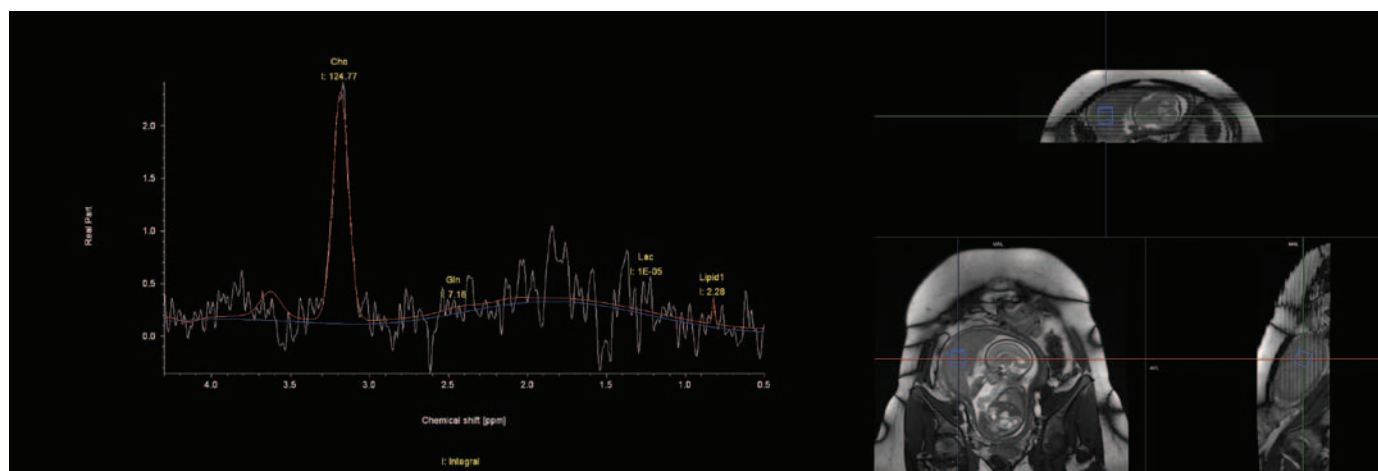
plodu – typicky k posouzení drah kalózního tělesa při podezření na anomálie kalózního tělesa s průkazem Probstova svazku. DTI technika se pomalu dostává do běžného protokolu zobrazení mozku plodu. Je ale limitována technickými problémy při pohybových artefaktech plodu a dielektrickém efektu silných MR polí.⁽²⁷⁾ Důležitou podmínkou dobrého provedení je minimalizace pohybových artefaktů plodu, ale i matky (omezení dechové aktivity matky nádechem). Takto lze dosáhnout dobrých výsledků redukcí prostorového rozlišení ve prospěch délky akvizice – dle našich zkušeností lze tuto techniku na 3T přístroji provést v časovém intervalu do 22–25 sekund. Interval do 25 sekund je pro většinu spolupracujících pacientek pro dobu nádechu akceptovatelný.⁽²⁸⁾

BOLD sekvence, MR angiografie

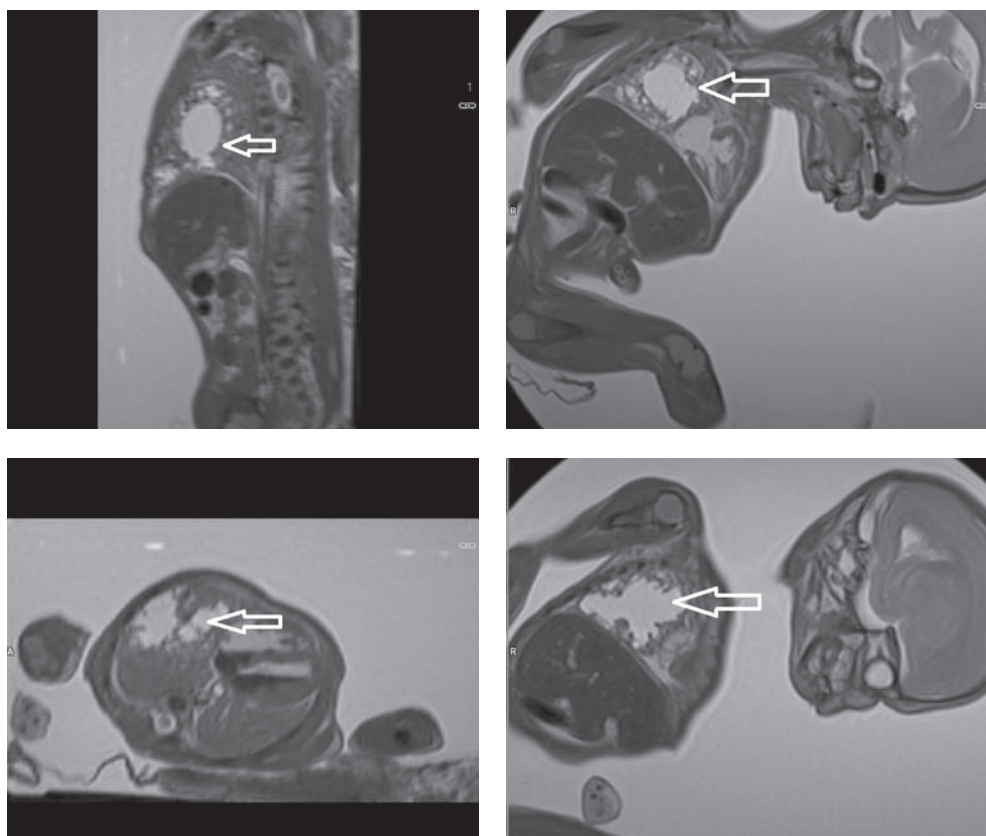
BOLD sekvence je vyvinuta k monitorování mozkové aktivity při funkční MR na podkladě přítomnosti deoxyhemoglobinu (změny poměrů oxyhemoglobin/deoxyhemoglobin). Toho lze využít např. v zobrazení toků v placentě při hroziící hypoxii plodu.^(29,30) Jedna z parametrických map BOLD sekvence zobrazuje průtok v dynamickém skenu, toho lze využít i v prenatální diagnostice k detekci toku zobrazovanou strukturou – zejména u vaskulárních malformací.⁽³¹⁾ Jiné způsoby nativní angiografie pro dlouhý čas náběru nejsou přínosem, lze ovšem zvažovat rychlou nativní angiografii pomocí time of flight technik (TOF).

Metabolické zobrazení pomocí spektroskopie – MRS

Metoda spektroskopie přináší možnost posouzení metabolického složení tkání, což umožňuje posoudit stav množící se tkáně i vývoj neuronů. Akviziční časy jsou dlouhé – mezi 3–5 minutami, což má nyní omezené využití. Trendem v experimentální oblasti je využití v detekci změn placenty, která v optimálním stavu vykazuje typické rozložení metabolitů, jako jsou cholin, lipidy, glutamát a glutamin. Vzhledem k náročnosti posouzení přítomnosti aminokyselin je žádoucí tato vyšetření provádět na vysokém poli – 3T přístroj.⁽¹⁷⁾



Obr. 7: MRS metodou single voxel spektroskopie. Detekce metabolických poměrů placenty s průkazem peaku glutamin/glutamátového komplexu.



Obr. 8: MR sekce, 3D T2 turbo-spin echo sken. CPAM I. typu u dítěte ve 22. týdnu.

MR VYŠETŘENÍ POST MORTEM

Provedení patologicko-anatomické pitvy plodu indukované ze zdravotních důvodů je zlatým standardem prenatální péče, optimálně v režii dětského patologa – specialisty. Je však limitován autolýzou tkání plodu, zejména mozku. Navíc může tento postup budit i etické rozpory zejména ze strany rodičů. I proto je narůstající tendencí zobrazit plod pomocí virtuální MR sekce – MR vyšetření post mortem. Je většinou dobře tolerováno rodiči i zdravotníky, přináší doplňkové informace v případě postižení mozku. Uspořádání provozu pracoviště MR zajišťuje prakticky nulové riziko jak z hlediska etického, tak zdravotního.⁽³²⁾ MR sekce je na našem pracovišti prováděna v tekuté náplni (optimálně čistá voda, bez příměsí formolu, který může způsobovat artefakty v T2 vážení). Standardně je prováděn 3D T2 vážený sken s rozlišením $0,7 \times 0,7 \times 0,7$ mm, dále T1 vážený 3D sken s rozlišením $1 \times 1 \times 1$ mm. Na našem pracovišti je MR vyšetření plodu post mortem skenováno po každém indukovaném abortu, pak je hodnoceno v korelaci s autoptickým nálezem v rámci multidisciplinárního týmu.

ZÁVĚR

Zobrazení plodu magnetickou rezonancí má nezastupitelné místo v managementu prenatální diagnostiky, v přípravě na porod i v porodní péči. Role MR s přidanou hodnotou rozšířených zobrazovacích technik je nezastupitelná. Spolu s UZ vyšetřením je péče o budoucí matky komplexnější a detekovaný problém je možno potvrdit z vícero pohledů, což hraje roli zejména v medicíně indikaci předčasného ukončení těhotenství.

Významnou roli hraje MR v detekci možných patologických stavů, které jsou na UZ neprůkazné, ale riziko rozvoje je vysoké (např. hypoxie mozku plodu po předchozím poklesu krevního tlaku matky nebo po laserové ablaci placentárních spojek u TTTS). Krucální je fetální MR i v případě, kdy je UZ limitován průnikem UZ vlnění do tkáně (obezita matky, oligohydramnion).

V případě samovolného či indukovaného potratu, také v případě mrtvě rozeného dítěte má MR nezastupitelnou roli prostřednictvím MR vyšetření plodu post mortem. Tato forma umožňuje zobrazení bez porušení tkání, což má význam etický. Navíc je velkým přínosem v detekci vývojových vad mozku, kde je klasická autopsie limitována autolýzou.

Důležitou částí práce radiologa specializovaného na fetální MR je účast na multidisciplinárních setkáních, kde se koreluje nálezy s UZ, genetickými profily a s nálezy patologickými. |

LITERATURA

1. **Benson CB, Doubilet PM.** The history of imaging in obstetrics. *Radiology* 2014; 273(2 Suppl): S92–110. doi: 10.1148/radiol.14140238
2. **Plunk MR, Chapman T.** The fundamentals of fetal MR imaging: Part 1. *Curr Probl Diagn Radiol* 2014; 43(6): 331–346. doi: 10.1067/j.cpradiol.2014.05.014
3. **Correa FF, Lara C, Bellver J, et al.** Potential pitfalls in fetal neurosonography. *Prenat Diagn* 2006; 26(1): 52–56. doi: 10.1002/pd.1348
4. **Knapp J, Tavares de Sousa M, Schönnagel BP.** Fetal cardiovascular MRI - a systemic review of the literature: challenges, new technical developments, and perspectives. *Rofo* 2022; 194(8): 841–851. doi: 10.1055/a-1761-3500
5. **McCarthy SM, Filly RA, Stark DD, et al.** Magnetic resonance imaging of fetal anomalies in utero: early experience. *AJR Am J Roentgenol* 1985; 145(4): 677–682. doi: 10.2214/ajr.145.4.677
6. **Tocchio S, Kline-Fath B, Kanal E, et al.** MRI evaluation and safety in the developing brain. *Semin Perinatol* 2015; 39(2): 73–104. doi: 10.1053/j.semperi.2015.01.002
7. **Meyers ML, Mirsky DM, Dannull KA, et al.** Effects of maternal valium administration on fetal MRI motion artifact: a comparison study at high altitude. *Fetal Diagn Ther* 2017; 42(2): 124–129. doi: 10.1159/000450978
8. **Malamateniou C, Malik SJ, Counsell SJ, et al.** Motion-compensation techniques in neonatal and fetal MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2013; 34(6): 1124–1136. doi: 10.3174/ajnr.A3128
9. **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. *Prog Biophys Mol Biol* 2005; 87(2–3): 335–353. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.010
10. **Shellock FG, Crues JV.** MR procedures: biologic effects, safety, and patient care. *Radiology* 2004; 232(3): 635–652. doi: 10.1148/radiol.2323030830
11. **Schenck JF.** Safety of strong, static magnetic fields. *J Magn Reson Imaging* 2000; 12(1): 2–19. doi: 10.1002/1522-2586(200007)12
12. **Mevisen M, Buntenkötter S, Löscher W.** Effects of static and time-varying (50-Hz) magnetic fields on reproduction and fetal development in rats. *Teratology* 1994; 50(3): 229–237. doi: 10.1002/tera.1420500308
13. **Wiskirchen J, Groenewaeler EF, Kehlbach R, et al.** Long-term effects of repetitive exposure to a static magnetic field (1.5 T) on proliferation of human fetal lung fibroblasts. *Magn Reson Med* 1999; 41(3): 464–468. doi: 10.1002/(sici)1522-2594(199903)41
14. **Levine D.** Timing of MRI in pregnancy, repeat exams, access, and physician qualifications. *Semin Perinatol* 2013; 37(5): 340–344. doi: 10.1053/j.semperi.2013.06.011
15. **Papaioannou G, Klein W, Cassart M, Garel C.** 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. doi: 10.1007/s00247-021-05104-w
16. **Colleran GC, Kyncl M, Garel C, Cassart M.** Fetal magnetic resonance imaging at 3 Tesla - the European experience. *Pediatr Radiol* 2022; 52(5): 959–970. doi: 10.1007/s00247-021-05267-6
17. **Macnaught G, Gray C, Walker J, et al.** MRS: a potential biomarker of in utero placental function. *NMR Biomed* 2015; 28(10): 1275–1282. doi: 10.1002/nbm.3370
18. **Coakley FV, Hricak H, Filly RA, et al.** Complex fetal disorders: effect of MR imaging on management--preliminary clinical experience. *Radiology* 1999; 213(3): 691–696. doi: 10.1148/radiology.213.3.r99dc39691
19. **Gatta G, Di Grezia G, Cuccurullo V, et al.** MRI in pregnancy and precision medicine: a review from literature. *J Pers Med* 2021; 12(1). doi: 10.3390/jpm12010009
20. **Simon EM, Goldstein RB, Coakley FV, et al.** Fast MR imaging of fetal CNS anomalies in utero. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000; 21(9): 1688–1698.
21. **Moradi B, Parooie F, Kazemi MA, et al.** Fetal brain imaging: A comparison between fetal ultrasonography and intra uterine magnetic resonance imaging (a systematic review and meta-analysis). *J Clin Ultrasound* 2022; 50(4): 491–499. doi: 10.1002/jcu.23158
22. **Kakish D, Tominna M, Krishnan A.** Hemimegalencephaly: evolution from an atypical focal early appearance on fetal MRI to more conventional MR findings. *Cureus* 2022; 14(8): e27976. doi: 10.7759/cureus.27976
23. **Vollbrecht TM, Luetkens JA.** [Cardiac MRI of congenital heart disease : From fetus to adult]. *Radiologie (Heidelberg)* 2022. doi: 10.1007/s00117-022-01062-y
24. **Brugger PC, Weber M, Prayer D.** Magnetic resonance imaging of the normal fetal esophagus. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2011; 38(5): 568–574. doi: 10.1002/uog.9002
25. **Jaimes C, Yang E, Connaughton P, et al.** Diagnostic equivalency of fast T2 and FLAIR sequences for pediatric brain MRI: a pilot study. *Pediatr Radiol* 2020; 50(4): 550–559. doi: 10.1007/s00247-019-04584-1
26. **Masselli G, Vaccaro Notti MR, Zacharzewska-Gondek A, et al.** Fetal MRI of CNS abnormalities. *Clin Radiol* 2020; 75(8): 640.e641–640.e611. doi: 10.1016/j.crad.2020.03.035
27. **Corroenne R, Arthuis C, Kasprian G, et al.** Diffusion tensor imaging in fetal brain: review to understand principles, potential and limitations of promising technique. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2022. doi: 10.1002/uog.24935
28. **Jiang S, Xue H, Counsell S, et al.** Diffusion tensor imaging (DTI) of the brain in moving subjects: application to in-utero fetal and ex-utero studies. *Magn Reson Med* 2009; 62(3): 645–655. doi: 10.1002/mrm.22032
29. **Chalouhi GE, Salomon LJ.** BOLD-MRI to explore the oxygenation of fetal organs and of the placenta. *BJOG* 2014; 121(13): 1595. doi: 10.1111/1471-0528.12805
30. **Cahill LS, Zhou YQ, Seed M, et al.** Brain sparing in fetal mice: BOLD MRI and Doppler ultrasound show blood redistribution during hypoxia. *J Cereb Blood Flow Metab* 2014; 34(6): 1082–1088. doi: 10.1038/jcbfm.2014.62
31. **Aertsen M, Diogo MC, Dymarkowski S, et al.** Fetal MRI for dummies: what the fetal medicine specialist should know about acquisitions and sequences. *Prenat Diagn* 2020; 40(1): 6–17. doi: 10.1002/pd.5579
32. **Chambers G, Shelmerdine SC, Aertsen M, et al.** Current and future funding streams for paediatric postmortem imaging: European Society of Paediatric Radiology survey results. *Pediatr Radiol* 2022. doi: 10.1007/s00247-022-05485-6