

Význam 3D ultrazvukového vyšetření CNS plodu

Impact of 3D ultrasound on fetal CNS examination

Maděrková Tozzi M., Frisová V., Lubušský M.

Gynekologicko-porodnická klinika LF UP a FN, Olomouc,
přednosta prof. MUDr. R. Pilka, Ph.D.

ABSTRACT

Objective: An overview of current knowledge about the use of 3D ultrasound examinations for the examination of fetal CNS.

Design: A review article.

Setting: Department of Gynecology and Obstetrics, Faculty of Medicine and Dentistry, Palacký University and Faculty Hospital Olomouc.

Methods: Literary sources related to the subject were used, especially articles indexed by Pubmed-Medline.

Conclusion: 3D ultrasound is currently used for examination of fetal CNS structures that can be only very

difficult displayed by conventional 2D ultrasound. The best for technique for visualisation of midline fetal CNS structures, respectively corpus callosum cerebellar vermis, appears to be 3D volume acquisition in a sagittal plane through the sagittal suture or large fontanel with further post-processing in multiplanar mode, OVIX (Samsung), TUI (GE Healthcare) etc.

KEYWORDS

3D ultrasound, 2D ultrasound, central nervous system examination, prenatal diagnosis, second trimester, corpus callosum, cerebellar vermis, neurosonogram

SOUHRN

Cíl studie: Přehled aktuálních poznatků o využití 3D ultrazvukového vyšetření při vyšetření CNS plodu.

Typ studie: Přehledový článek.

Název a sídlo pracoviště: Gynekologicko-porodnická klinika LF UP a FN Olomouc.

Materiál a metodika: Využity byly literární zdroje týkající se tématu, zejména články indexované v Pubmed-Medline.

Závěr: 3D ultrazvuk je v současné době používán k vyšetření struktur mozku, které se obtížně nastavují při

konvenčním 2D ultrazvukovém vyšetření. Nejvhodnější technikou pro zobrazení středových struktur mozku, respektive corpus callosum a vermis cerebella, se jeví být nasnímání 3D (trojrozměrných) objemových dat v sagitální rovině přes šípový šev či velkou fontanelu s následným post-processingem v multiplanárním módu, pomocí OVIX (Samsung) či TUI (Ge Healthcare) apod.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D ultrazvuk, 2D ultrazvuk, vyšetření CNS, prenatální diagnostika, druhý trimestr, corpus callosum, vermis cerebelli, neurosonogram

MUDr. Michaela Maděrková Tozzi, e-mail: Michaela.MaderkovaTozzi@fnol.cz
Čes. Gynek., 2019, 84, č. 3, s. 222–228

HISTORICKÝ PŘEHLED

Ultrazvuk se v prenatální diagnostice používá více než 40 let a jeho význam byl již mnohokrát opakovaně prokázán [17]. Ačkoliv 2D ultrazvuk prováděný podle pravidel International Society of Ultrasound in Obstetric and Gynecology (ISUOG) představuje zlatý standard při vyšetření CNS i dalších struktur plodu (ISUOG 2007) [15], v posledních letech se stále více přikládá význam 3D ultrazvukového vyšetření. Použití 3D ultrazvuku v porodnictví prošlo dramatickým vývojem během posledních 20 let díky pokroku technologie. Byla navržena

řada snímacích režimů a aplikována do klinické praxe. Tuto metodu je možno použít k vyšetření obličejů, mozkových struktur plodu a končetin plodu a pomocí 3D power dopplerovského zobrazení posoudit také krevní zásobení orgánů plodu a placenty [39].

První 3D UZ byl popsán Babou a kol. v roce 1989 [2]. Tento systém byl sestaven z 2D sondy připevněné k mechanickému pohyblivému ramenu, které provádělo snímání přes břicho těhotné. Pomocí tohoto snímání byla získána řada snímků, ty byly posílány do počítače, kde došlo k 3D rekonstrukci

snímků. Zásadní nevýhodou tohoto systému byla dlouhá doba k získání snímku a nízká kvalita obrazu, která limitovala jeho použití v klinické praxi.

V roce 1990 skupina vědců z National Cheng Kung University in Taiwan popsali první vizualizaci obličeje plodu, mozečku a krční páteře použitím konvexní volumetrické sondy na přístroji Combison 330 (Kretztechnik, Zipf, Austria), což bylo první 3D UZ vybavení v klinické praxi [17]. Nelson a Pretorius (1992) zobrazili obličej plodu a páteř [23, 33]. Merz a kol. (1995) vizualizovali rozsáhlou sérii vrozených vad plodu použitím 2D UZ i 3D UZ. [21, 24]. Hafner a kol. publikovali v roce 1999 využití 3D ultrazvuku při diagnostice unilaterální megalencefalie [12]. V roce 2000 Hata a kol. použili 3D ultrazvukové zobrazení ve 12 případech anomálií mozku plodu v 17. až 37. týdnu těhotenství. Závěrem bylo, že 3D ultrazvuk poskytuje nový způsob vizualizace anomálií CNS. Nicméně se nejevil jako ideální metoda při zobrazení některých anomálií CNS, jako například intrakraniálních tumorů [14].

TYPY ZOBRAZENÍ PŘI 3D ULTRAZVUKU

3D ultrazvukové vyšetření poskytuje prostorovou informaci o morfologii a anatomii plodu. Zatímco 3D ultrazvuk umožňuje pouze statické zobrazení vyšetřovaných struktur, při novějším 4D ultrazvuku je přidanou čtvrtou dimenzí pohyb. Lze jím proto „on-line“ v reálném čase hodnotit pohyblivost plodu včetně jeho mimiky a také vyšetřovat pohybující se orgány (především srdce) [18, 36]. Výrobci 3D/4D ultrazvukových přístrojů vytvořili a stále dále vyvíjejí mnoho různých typů zpracování (renderingu) uložených objemových dat. Ačkoliv se názvy v současné době dostupných typů renderingu liší mezi jednotlivými výrobci, jedná se často o různé názvy naprosto identické zobrazované informace [7]. K nejznámějším a nejvíce klinicky používaným patří následující typy 3D/4D zobrazení [10, 18, 19, 26, 28, 36].

- a) „Orthogonal-Sectional-Multiplanar display“ (multiplanární mód) je zobrazení tří ortogonálních obrazů, respektive rovin řezu, vyšetřovanou oblastí. Tento typ zpracování objemových dat je zpravidla první a základní, teprve po něm začíná v indikovaných případech prostorová rekonstrukce či jiné zpracování dat. Umožňuje rotaci a posun ve všech zobrazených rovinách, ve středu obrázků je přítom umístěn referenční bod, ve kterém se všechny tři ortogonální roviny navzájem protínají.
- b) „Surface rendering“ (prostorová rekonstrukce) patří k nejčastěji využívaným typům zobrazení při 3D i 4D ultrazvuku. Objemová data jsou nejčastěji zpracována na prostorovou rekonstrukci

vzhledu povrchu těla plodu, včetně jeho obličeje, končetin atd. Tento typ zobrazení je velmi oblíben rodiči, kterým umožní vytvořit si lepší představu o vzhledu jejich vyvíjejícího se plodu. Nicméně významný je i přínos pro klinickou praxi, zvláště v oblasti diagnostiky a managementu kraniofaciálních vad (prostorová rekonstrukce transverzálního řezu rtem, čelistí a patrem).

- c) „Thick slice rendering“ (rekonstrukce široké vrstvy) představuje spojení informací z několika bezprostředně na sebe navazujících paralelních rovin řezu do jedné širší prostorově rekonstruované a zobrazené vrstvy. Toto zpracování se v prenatální diagnostice používá především k zobrazení středových struktur mozku.
- d) „Volume contrast imaging in/through the C-plane“ (VCI-C) je 3D ultrazvukovou aplikací firmy GE Healthcare, která znamená 3D zobrazení 2-3 mm silné selektované vrstvy z celého objemu dat. Toto zobrazení snižuje množství ultrazvukových artefaktů tím, že navzájem spojí obrazovou informaci z více vrstev objemu do jedné silnější vrstvy se zvýrazněním kontrastu rozhraní oblastí různé echogenity a potlačením šumu pozadí. Toto zobrazení se nejčastěji využívá při vyšetření CNS plodu.
- e) „Maximum intensity mode (X-ray mode)“ (maximální mód) eliminuje ze zobrazovaného obrazu měkké tkáně a zobrazí zřetelně kostěné struktury plodu.
- f) „Transparency mode“ (transparentní mód) je kombinací povrchového a maximálního módu, a umožní tak v rekonstruovaném prostorovém obrazu nahlédnout do „hloubky“ zprůhledněním většiny obrazu a zvýrazněním pouze vyšetřovaných struktur.
- g) „3D angiography“ (3D angiografie) vzniká akvizicí objemových dat při vyšetření barevným dopplerovským mapováním nebo energetickým dopplerem. Výhodou 3D angiografie je možnost rotace a posunu jednotlivých ortogonálních rovin při multiplanárním zobrazení, během nichž lze hodnotit anatomii srdečních oddílů a výtokového traktu z mnoha různých perspektiv (dlouhá osa, krátká osa, čtyřdutinová projekce atd.). 3D angiografie se také často používá v kombinaci s transparentním módem při tzv. glass body renderingu. Tento způsob zobrazení umožňuje sledovat a hodnotit průběh cév v celé prostorově rekonstruované oblasti zájmu, kterou lze navíc rotovat a nahlížet do ní z různých perspektiv.
- h) „Inversion rendering“ (inverzní mód) v podstatě obrátí echogenitu zobrazovaných struktur a zobrazí anechogenní struktury echogenně. Této modality využívá se především při vyšetření anomálií urogenitálního systému a CNS (ventrikulomegalie).

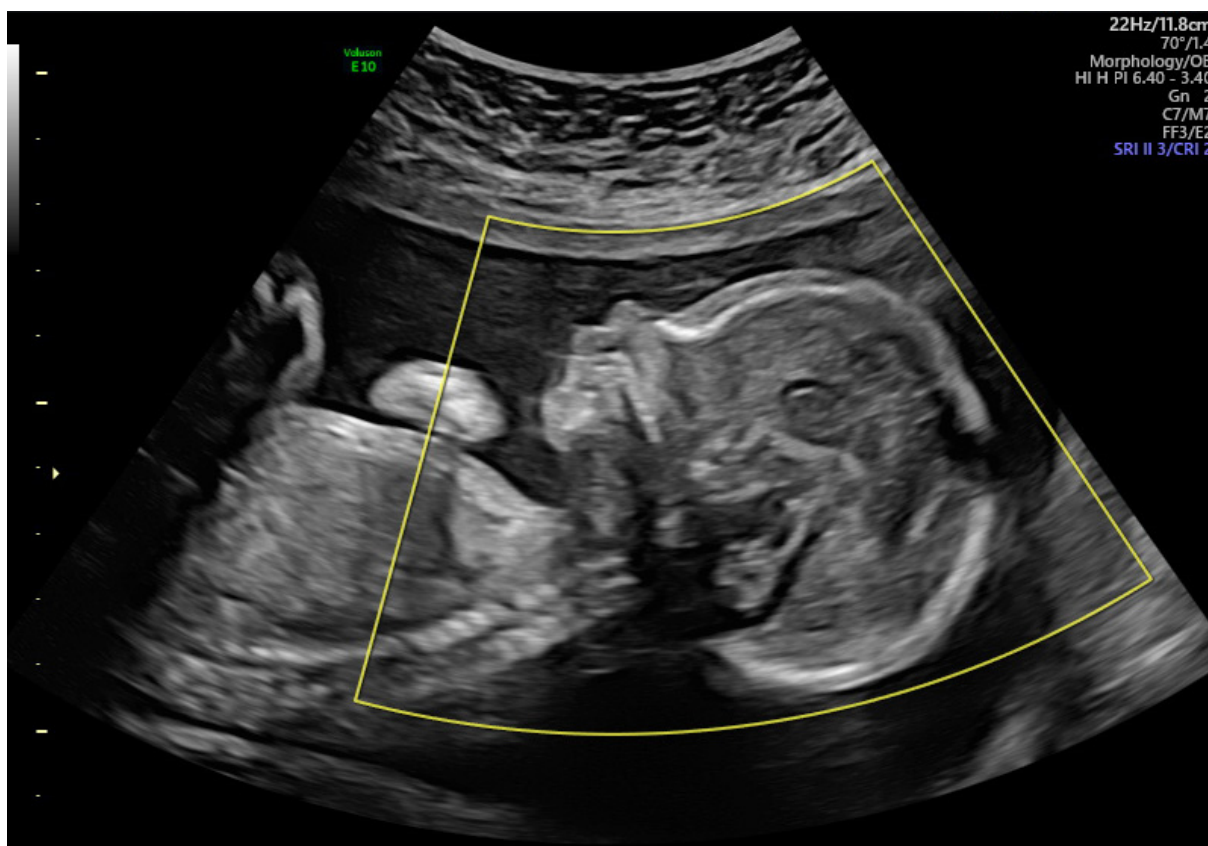
- i) „B-flow rendering“ (B-flow) je velmi podobný inverznímu módu (zobrazí anechogenní struktury echogenně), ale na rozdíl od něj poskytuje pohyblivou dynamickou 4D ultrazvukovou informaci o průtoku krve v cévách a srdci.
- j) „Tomographic ultrasound imaging (TUI) – Multislice rendering“ (tomografické nebo tzv. multislice zobrazení) je metoda renderingu velmi podobná klasickému zobrazení při magnetické rezonanci či CT. Na referenčním obrázku se zpravidla nejprve nastaví počet a šířka jednotlivých na sebe navazujících vrstev, které jsou následně zobrazeny v řadách na sebe navazujících snímků na monitoru ultrazvuku. Posunem snímků ve stejné rovině zobrazení je možno postupně hodnotit různé části vyšetřované oblasti, stejně jako lze měnit šířku vrstev i zobrazovanou ortogonální rovinu řezu.
- k) „Virtual Organ Computer Aided Analysis“ (VOCAL) je speciální software, který byl vyvinut k měření objemů. Využívá se při něm rotace vyšetřovaného orgánu či struktury pod předem nastaveným úhlem, během které jsou na obrazovce ultrazvuku či počítače ručně nebo automaticky obkreslovány okraje vyšetřované struktury. Po dokončení rotace software automaticky spočítá objem a navíc vytvoří prostorový model změřeného objektu.
- l) „Spatiotemporal Image Correlation software“ (STIC) je 4D ultrazvukovou technikou, která byla speciálně vyvinuta k dynamickému vyšetření pohybujícího se srdce ve třech ortogonálních rovinách. Možné je i provedení prostorové rekonstrukce celého pohybujícího se srdce nebo přidání informace o průtoku krve nasnímáním dat s použitím dopplerovského zobrazení (barevné dopplerovské mapování či energetický doppler). „Off-line analysis“ (off-line analýza) je zpětná analýza objemových 3D a 4D dat, která byla nasnímana během vyšetření a uložena na pevný disk do paměti ultrazvuku. Uložená data lze v ultrazvuku zpětně otevřít a zpracovávat již bez přítomnosti pacienta, a to za použití různých možností renderingu. Zároveň lze data exportovat na externí disk nebo server a pracovat s nimi v počítači s využitím softwaru poskytovaného ultrazvukovou firmou (4D View, Sonoview apod.).
- Snazší demonstrace vzhledu vrozené vady plodu rodičům, a tím zvýšení kvality konzultace nálezu.
 - Možnost nastavení různých rovin řezu při hodnocení anatomických struktur plodu včetně těch, které se vyskytují mimo rovinu zobrazenou při snímání dat.
 - Přesné nastavení roviny řezu vyšetřovanou oblastí (např. midsagitální rovina CNS plodu při vyšetření středových struktur mozku).
 - Možnost rotace objemových dat zhodnocením anatomických detailů z mnoha různých perspektiv.
 - Možnost mnoha typů 3D zobrazení (tzv. renderingu), které umožní operatérovi zobrazit různé charakteristiky stejné struktury (např. objemová data z oblasti zad plodu při povrchovém renderingu umožní demonstrovat zevní aspekt meningomyelokély, zatímco aplikace maximum-mode renderingu zvýrazní pod povrchem kůže ležící kostní struktury.)
 - Zvýšení přesnosti měření objemu včetně měření objemu nepravidelných struktur.

NEVÝHODY 3D ULTRAZVUKU [19]

- Vyšší cena 3D ultrazvukových přístrojů.
- Delší doba off-line rekonstrukce po odchodu pacienta.
- Závislost možností a kvality off-line rekonstrukce na kvalitě uložených dat.
- Závislost kvality uložených dat na pozici plodu a množství plodové vody.
- Limitace možností a kvality off-line rekonstrukce zkušenostmi operátéra.
- Závislost kvality interpretace dat na erudici operátéra.

3D ULTRAZVUK A STUDIE ANATOMIE FETÁLNÍHO MOZKU – NEUROSONOGRAM

Při vyšetření anatomie mozku plodu je význam 3D ultrazvuku popisován především ve studiích zabývajících se diagnostikou abnormalit středových struktur mozku, respektive corpus callosum a vermis mozečku. 3D ultrazvuk umožňuje rychlé, snadné a exaktní nastavení midsagitálního řezu mozkem plodu, které je ve 2D ultrazvuku zvláště ve druhém trimestru často obtížné [28]. Z tohoto důvodu je 3D ultrazvukové vyšetření vhodným doplňkem standardního 2D ultrazvuku, usnadňujícím a zpřesňujícím diagnostiku anomálií corpus callosum a zadní jámy lební (Blake’s pouch cysta, DandyWalker malformace, cerebelární hypoplazie) [4, 26]. Výhodná je při 3D ultrazvuku také možnost snadné a rychlé analýzy anatomie celého mozku, a to jak během vyšetření (on-line), tak i zpětně,



Obr. 1 Sagitální rovina snímání skrze metopický šev

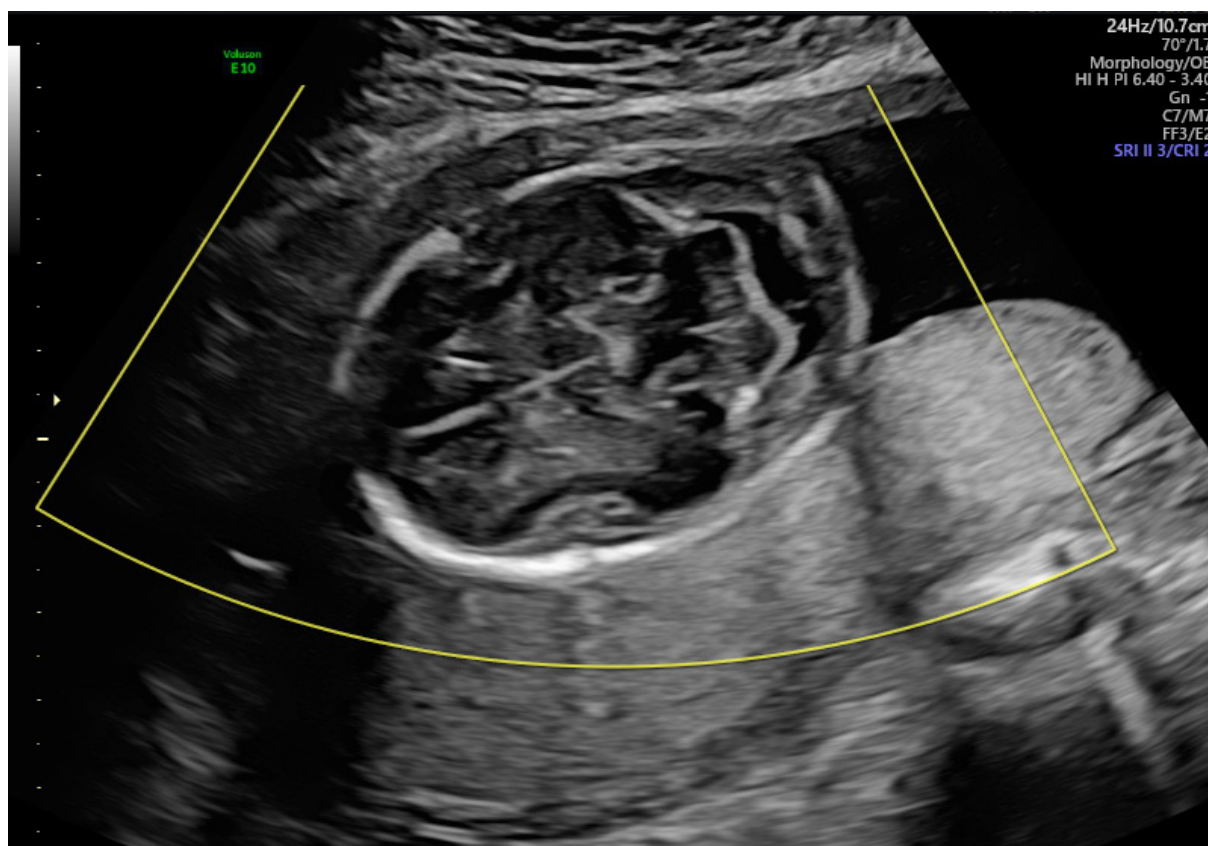
již bez přítomnosti (off-line) pacienta. Při dobré kvalitě nasnímaných 3D dat lze provést nejen základní, ale i speciální neurosonogram [4, 28]. Multiplanární a především tomografické 3D ultrazvukové zobrazení poskytuje velmi přehlednou a snadno reprodukovatelnou informaci o anatomii celého mozku i o rozsahu, velikosti a lokalizaci případné patologie. Tato informace je především v tomografickém módu navíc dobře srozumitelná i spolupracujícím specialistům (pediatři, neurologové a neurochirurgové), kterým usnadní plánování dalšího managementu [36]. Sagitální rovina snímání skrze metopický šev (obr. 1), axiální rovina snímání (obr. 2).

Monteguado a kol. (2000) vyšetřili 34 pacientů s anamnézou mozkové abnormality nebo podezření na ni a porovnávali 2D a 3D transvaginální neurosonogram. Došli k závěru, že klíčovým rozdílem mezi 2D a 3D je fakt, že axiální rovina může být získána pouze 3D rekonstrukcí objemových dat, protože axiální rovinu se zřídka podaří nasnímat při 2D vyšetření vaginální sondou [23]. Vinals a kol. (2007) zaznamenali, že transfrontální 3D akvizice objemových dat mozku plodu je nejvhodnější metodou pro vyšetření corpus callosum a vermis cerebella po 20. týdnu těhotenství [39].

Bornstein a kol. (2010) provedli off-line analýzu mozku plodu z objemů nasnímaných pomocí transabdominálního 3D a 3D energetického doppleru 102 normálních těhotenství mezi 20. a 23. týdnem těhotenství. Midsagitální rovina se podařila zobrazit ve všech případech a kvalitní diagnostické obrazy corpus callosum byly obdrženy u více než 90 % případů [4].

Miguelotte a kol. (2012) srovnávali proveditelnost a reprodukovatelnost měření délky corpus callosum u 46 normálních plodů vyšetřených pomocí 2D UZ i 3D UZ mezi 23. a 32. týdnem těhotenství [22]. I další autoři, Visentainer a kol. (2010), se zabývali měřením délky corpus callosum a nastavili referenční hodnoty pro délku corpus callosum u plodu mezi 20. a 23. týdnem gestace při použití 3D UZ. Zaznamenali přitom silnou korelaci mezi délkou a oblastí corpus callosum a biparietálním průměrem [40].

Correa a kol. (2006) vyšetřovali 3D ultrazvukem mozek u 202 plodů mezi 16. až 24. týdnem těhotenství a vyhodnotili tuto metodu jako velmi přínosnou pro provádění rutinního neurosonogramu. Došli k závěru, že multiplanární mód získaný transabdominálním 3D UZ se jeví jako přínosná, efektivní a jednoduchá metoda



Obr. 2 Axiální rovina snímání

k detailnímu vyšetření anatomie mozku u plodu [7].

Tonni a kol. publikovali v roce 2014 studii, která se zabývala studiem středových struktur mozku plodu u 300 nerizikových těhotných. Prokázali, že aplikace nové techniky 3D UZ Omniview, GE Medical Systém, Zipf, Austria může usnadnit vyhodnocení středových struktur mozku ve 2. trimestru. Přesné off-line datové objemy pro zobrazení corpus callosum a zadní jámy lební byly v této studii deálně získány při postprocessingu dat v sagitální a axiální rovině v 98,5 % a v 96 % případů. Výsledky získané Tonnim a kol. (2014) korelují s výsledky Rizzo a kol. (2011), kteří první použili tuto technologii k rekonstrukci sagitálních a koronálních rovin mozku u 106 normálních plodů gestačního stáří 18–24 týdnů. Shoda mezi oběma autory byla 0,93 a 0,89 pro sagitární a koronální rovinu. Rizzo a kol. (2011) byli schopni přesně detekovat všech devět případů mozkových patologií, včetně kompletní ageneze corpus callosum, hraniční ventrikulomegalie a Dandy-Walkerovy malformace [29, 38].

Brazilští vědci provedli měření objemu postranní komory u 30 plodů stáří 20–36 týdnů gestace s šíří komor od 10 do 30 mm srovnáním 3D UZ

VOCAL s měřením magnetickou rezonancí [13]. Obě metody dobře korelovaly u plodů s ventrikulomegalií, tudíž 3D UZ VOCAL může být použit jako pomocný diagnostický nástroj. VOCAL je počítačový program, který umožňuje provádět přesné měření objemu vyšetřovaných struktur [27]. Výpočet hodnot mozečku plodu v různých etnikách je důležitou aplikací metody VOCAL pro konstrukci referenčního rozsahu ve vztahu ke gestačnímu věku. Tento výpočet také zlepšil přesnost prenatální diagnózy hypoplazie mozečku. Hypoplazie mozečku může být nalezena u plodu s Downovým syndromem, růstovou restrikcí plodu a mnoha genetickými onemocněními [31].

V longitudinální studii u 52 plodů normálních těhotenství Araujo Júnior a kol. (2007) pozorovali, že rovnice pro výpočet objemu mozečku určené Changem a kol. (2000) pro taiwanskou populaci nemůže být aplikována na brazilskou populaci, což potvrdilo, že etnická příslušnost může být pravděpodobně predisponujícím faktorem, který může přispět ke vzniku rozdílů v objemu orgánů plodu. Při použití 3D UZ techniky mohou být získané objemy uchovány pro pozdější post-processing analýzu expertem, což zvyšuje přesnost a spolehlivost metody [1, 4, 5, 29, 33].

Passon a kol. (2014) v současnosti nastavili referenční hodnoty pro délku a velikost plochy cisterna magna u plodů použitím 3D UZ v multiplanárním módu u 224 normálních těhotných mezi 17. a 30. týdnem gestace. Kim a kol. popsali v roce 2008 využití 3D ultrazvuku s využitím inverzního módu pro vyšetření časného vývoje mozku u normálních těhotenství v sedmém až dvanáctém týdnu [16, 25]. Kim a kol. (2008) nedoporučovali užívat tuto metodu před šestým týdnem kvůli omezenému množství přítomné mozkové tekutiny, ani po 12. týdnu, neboť je obtížné identifikovat chorioideální plexus. Rola a kol. (2011) vyhodnocovali zobrazení sulků a gyrů mozku plodu pomocí 2D UZ, 3D UZ a antenatální MRI. Tato studie potvrzuje, že ačkoliv MRI je považováno za nej přesnější metodu zobrazení sulků a gyrů mozku, Rolo a kol. (2011) zaznamenali, že 3D UZ rendering mód může být užitečný ke stanovení definitivní diagnózy abnormálního vývoje kůry mozkové. Ve srovnání s MRI je 3D UZ rychlejší a levnější metoda [30].

Frisová a kol. v roce 2018 vyšetřili 100 pacientek s jednočetnou nekomplikovanou graviditou ve II. trimestru a došli k závěru, že nejlepší pro zobrazení corpus callosum a vermis cerebella je 3D akvizice objemových dat v sagitální rovině přes šípový šev či velkou fontanelu s použitím 3D OVIX rekonstrukce a post-processingu [9].

ZÁVĚR

2D ultrazvuk prováděný podle pravidel International Society of Ultrasound in Obstetric and Gynecology (ISUOG 2007) představuje i nadále zlatý standard při screeningu vrozených vad plodu. Z publikovaných prací, které jsou zmíněny v tomto přehledu, vyplývá, že 3D ultrazvuk umožňuje přesnější nastavení jednotlivých struktur mozku plodu, a navíc i simultánní zobrazení více rovin. V současné době je v diagnostice mozkových abnormalit používán především k vyšetření struktur mozku, které se nedají ideálně zobrazit konvenčním 2D ultrazvukovým vyšetřením. Pro zobrazení corpus callosum a vermis cerebella se jeví jako nejlepší 3D akvizice objemových dat v sagitální rovině přes šípový šev či velkou fontanelu s použitím 3D OVIX, multiplanární či TUI rekonstrukce a post-processingu. Získaná objemová data mohou být uložena, podrobena off-line analýze, popřípadě prohlédnuta dalšími experty.

LITERATURA

1. **Araujo Junior, E., Guimaraes Filho, HA., Pires, CR., et al.** Validation of fetal cerebellar volume by three-dimensional ultra-

sonography in Brazilian population. *Arch Gynecol Obstet*, 2007a, 275, p. 5–11.

2. **Baba, K., Satoh, K., Sakamoto, S., et al.** Development of an ultrasonic system for three-dimensional reconstruction of the fetus. *J Perinat Med*, 1989, 17, p. 19–24.

3. **Benacerraf, BR., Shipp, TD., Bromley, B.** Three-dimensional US of the fetus: Volume imaging. *Radiology*, 2006, 238, p. 988–996.

4. **Bornstein, E., Monteagudo, A., Santos, R., et al.** A systematic technique using 3-dimensional ultrasound provides a simple and reproducible mode to evaluate the corpus callosum. *Am J Obstet Gynecol*, 2010a, 202, p. 201.e1–201.e5.

5. **Chang, CH., Chang, FM., Yu, CH., et al.** Assessment of fetal cerebellar volume using three-dimensional ultrasound. *Ultrasound Med Biol*, 2000, 26, p. 981–988.

6. **Chitty, LS., Pilu, G.** The challenge of imaging the fetal central nervous system: An aid to prenatal diagnosis, management and prognosis. *Prenat Diagn*, 2009, 29, p. 301–302.

7. **Correa, FF., Lara, C., Bellver, J., et al.** Examination of the fetal brain by transabdominal three-dimensional ultrasound: Potential for routine neurosonographic studies. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2006, 27, p. 503–508.

8. **Espinoza, J., Goncalves, LF., Lee, W., et al.** A novel method to improve prenatal diagnosis of abnormal systemic venous connections using three- and four-dimensional ultrasonography and 'inversion mode'. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2005, 25, p. 428–434.

9. **Frisova, V., Srutova, M., Hyett, J.** 3-D Volume Assessment of the Corpus Callosum and Cerebellar Vermis Using Various Volume Acquisition and Post-Processing Protocols. *Fetal Diagn Ther*, 2018, 43(3), p. 199–207.

10. **Goncalves, LF., et al.** Three- and 4-dimensional ultrasound in obstetric practice: does it help? *J Ultrasound Med*, 2005, 24(12), p. 1599–1624.

11. **Goncalves, LF., Espinoza, J., Lee, W., et al.** Three- and four-dimensional reconstruction of the aortic arches using inversion mode: A new rendering algorithm for visualization of fluid-filled anatomic structures. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2004a, 24, p. 696–698.

12. **Hafner, E., Bock, W., Zoder, G., et al.** Prenatal diagnosis of unilateral megalencephaly by 2D and 3D ultrasound: a case report. *Prenat Diagn*, 1999, 19(2), p. 159–162.

13. **Haratz, KK., Oliveira, PS., Rolo, LC., et al.** Fetal cerebral ventricle volumetry: Comparison between 3-D ultrasound and magnetic resonance imaging in fetuses with ventriculomegaly. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2011, 24, p. 1384–1391.

14. **Hata, T., Yanagihara, T., Matsumoto, M., et al.** Three-dimensional sonographic features of fetal central nervous system anomaly. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2000, 79(8), p. 635–639.

15. **ISUOG 2007.** Sonographic examination of the fetal central nervous system for performing the 'basic examination' and the 'fetal neurosonogram'. Dostupné z: <https://www.isuog.org/resource/performing-basic-examination-and-the-fetal-neurosonogram-pdf.html>.

16. **Kim, MS., Jeanty, P., Turner, C., Benoit, B.** Three-dimensional sonographic evaluations of embryonic brain development. *J Ultrasound Med*, 2008, 27, p. 119–124.

17. **Kuo, HC., Chang, FM., Wu, CH., et al.** The primary application of three-dimensional ultrasonography in obstetrics. *Am J Obstet Gynecol*, 1992, 166, p. 880–886.
18. **Kurjak, A., et al.** How useful is 3D and 4D ultrasound in perinatal medicine? *J Perinat Med*, 2007, 35(1), p. 10–27.
19. **Kurjak, A., et al.** Three- and four-dimensional ultrasonography for the structural and functional evaluation of the fetal face. *Amer J Obstet Gynecol*, 2009, 196(1), p. 16–28.
20. **Lee, YM., Simpson, LL.** Major fetal structural malformations: the role of new imaging modalities. *Amer J med Genetics Part C, Seminars in medical genetics*, 2007, 145(1), p. 33–44.
21. **Merz, E., Bahlmann, F., Weber, G., Macchiella, D.** Three-dimensional ultrasonography in prenatal diagnosis. *J Perinat Med*, 1995, 23, p. 213–222.
22. **Miguelote, RF., Vides, B., Santos, RF., et al.** Feasibility and reproducibility of transvaginal, transabdominal, and 3-D volume reconstruction sonography for measurement of the corpus callosum at different gestational ages. *Fetal Diagn Ther*, 2012, 31, p. 19–25.
23. **Monteagudo, A., Timor-Tritsch, IE., Mayberry, P.** Three-dimensional transvaginal neurosonography of the fetal brain: 'Navigating' in the volume scan. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2000, 16, p. 307–313.
24. **Nelson, TR., Pretorius, DH.** Three-dimensional ultrasound imaging. *Ultrasound Med Biol*, 1998, 24, p. 1243–1270.
25. **Passos, AP., Junior, EA., Bruns, RF., et al.** Reference ranges of fetal cisterna magna length and area measurements by 3-dimensional ultrasonography using the multiplanar mode. *J Child Neurol*, 2014, 19.
26. **Paladini, D., Volpe, P.** Posterior fossa and vermian morphology in the characterization of fetal cerebellar abnormalities: a prospective three-dimensional ultrasound study. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2006, 27(5): p. 482–489.
27. **Peralta, CF., Cavoretto, P., Csapo, B., et al.** Lung and heart volumes by three-dimensional ultrasound in normal fetuses at 12–32 wk' gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2006, 27, p. 128–133.
28. **Pilu, G., et al.** Three-dimensional ultrasound examination of the fetal central nervous system. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2007, 30(2), p. 233–245.
29. **Rizzo, G., Abuhamad, AZ., Benacerraf, BR., et al.** Collaborative study on 3-dimensional sonography for the prenatal diagnosis of central nervous system defects. *J Ultrasound Med*, 2011a, 30, p. 1003–1008.
30. **Rolo, LC., Araujo Junior, E., Nardoza, LM., et al.** Development of fetal brain sulci and gyri: Assessment through two and three-dimensional ultrasound and magnetic resonance imaging. *Arch Gynecol Obstet*, 2011, 283, p. 149–158.
31. **Rotmensch, S., Goldstein, I., Liberati, M., et al.** Fetal trans-cerebellar diameter in Down syndrome. *Obstet Gynecol*, 1997, 89, p. 534–537.
32. **Ruano, R., Benachi, A., Aubry, MC., et al.** Volume contrast imaging: A new approach to identify fetal thoracic structures. *J Ultrasound Med*, 2004a, 23, p. 403–408.
33. **Salman, MM., Twining, P., Mousa, H., et al.** Evaluation of offline analysis of archived three-dimensional volume data sets in the diagnosis of fetal brain abnormalities. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2011, 38, p. 165–169.
34. **Steiner, H., Spitzer, D., Weiss-Wichert, PH., et al.** Threedimensional ultrasound in prenatal diagnosis of skeletal dysplasia. *Prenat Diagn*, 1995, 15, p. 373–377.
35. **Timor-Tritsch, IE., Monteagudo, A., Pilu, G., Malinger, G.** Ultrasonography of the prenatal brain. New York: McGraw-Hill, 2012.
36. **Timor-Tritsch, IE., Monteagudo, A.** Three and four-dimensional ultrasound in obstetrics and gynecology. *Curr Opin Obstet Gynecol*, 2007, 19(2), p. 157–175.
37. **Timor-Tritsch, IE., Monteagudo, A.** Transvaginal fetal neurosonography: Standardization of the planes and sections by anatomic landmarks. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 1996, 8, p. 42–47.
38. **Tonni, G., Grisolia, G., Sepulveda, W.** Second trimester fetal neurosonography: Reconstructing cerebral midline anatomy and anomalies using a novel three-dimensional ultrasound technique. *Prenat Diagn*, 2014, 34, p. 75–83.
39. **Viñals, F., Muñoz, M., Naveas, R., Giuliano, A.** Transfrontal three-dimensional visualization of midline cerebral structures. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2007, 30, p. 162–168.
40. **Visentainer, M., Araujo Junior, E., Rolo, LC., et al.** Assessment of length and area of corpus callosum by three-dimensional ultrasonography. *Rev Bras Ginecol Obstet*, 2010, 32, p. 573–578.
41. **Yeo, L., Romero, R., Jodicke, C., et al.** Simple targeted arterial rendering (STAR) technique: A novel and simple method to visualize the fetal cardiac outflow tracts. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2011a, 37, p. 549–556.
42. **Yeo, L., Romero, R., Jodicke, C., et al.** Four-chamber view and 'swing technique' (FAST) echo: A novel and simple algorithm to visualize standard fetal echocardiographic planes. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2011b, 37, p. 423–431.

MUDr. Michaela Maděrková Tozzi
 Gynekologicko-porodnická klinika
 FN a LF UP
 I. P. Pavlova 6
 775 20 Olomouc
 e-mail: Michaela.MaderkovaTozzi@fnol.cz