

Otrzymano:
30.09.2017
Zaakceptowano:
19.03.2018
Opublikowano:
29.06.2018

Sonocystografia 3D/4D u dzieci – czy wnosi więcej informacji niż badanie 2D?

3D/4D contrast-enhanced urosonography (ceVUS) in children – is it superior to the 2D technique?

Magdalena Maria Woźniak¹, Paweł Osemlak², Aikaterini Ntoulia³, Halina Borzęcka⁴, Beata Bieniaś⁴, Agnieszka Brodzisz¹, Grzegorz Jędrzejewski¹, Anna Drelich-Zbroja⁵, Maciej Powerski⁶, Maciej Pech⁶, Andrzej Paweł Wieczorek¹

¹ Zakład Radiologii Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Lublin, Polska

² Katedra i Klinika Chirurgii i Traumatologii Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Lublin, Polska

³ Department of Radiology Children's Hospital of Philadelphia, Filadelfia, USA

⁴ Klinika Nefrologii Dziecięcej II Katedry Pediatrii, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Lublin, Polska

⁵ Zakład Radiologii Zabiegowej i Neuroradiologii, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Lublin, Polska

⁶ Department of Radiology and Nuclear Medicine, University of Magdeburg, Magdeburg, Niemcy

Adres do korespondencji: Magdalena Maria Woźniak, Zakład Radiologii Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Al. Racławickie 1, 20-059 Lublin, e-mail: mwozniak@hoga.pl

DOI: 10.15557/JoU.2018.0017

Słowa kluczowe

ultrasonografia,
środki kontrastujące,
odpływ pęcherzowo-
moczowodowy,
zakażenia układu
moczowego,
dzieci

Keywords

ultrasound,
contrast agents,
vesicoureteral reflux,
urinary tract infections,
children

Abstract

Background: By now, two-dimensional contrast-enhanced voiding urosonography (ceVUS) has become a well-established method for the diagnosis and treatment monitoring of vesicoureteral reflux in children, particularly after the recent approval for this application in children in the USA and in Europe. The introduction of three-dimensional static (3D) and real-time (4D) techniques with ultrasound contrast agents opens up new diagnostic opportunities for this imaging modality. **Objective:** To analyze whether 3D and 4D ceVUS is a superior technique compared to standard 2D ceVUS in diagnosing vesicoureteral reflux in children. **Material and methods:** The study included 150 patients (mean age 3.7 years) who underwent 2D and 3D/4D ceVUS for the diagnosis and grading of vesicoureteral reflux. **Results:** 2D ceVUS and 3D/4D ceVUS diagnosed the same number of vesicoureteral refluxes, however, there was a statistically significant difference in grading between the two methods. Performing 3D/4D ceVUS resulted in changing the initial grade compared to 2D ceVUS in 19 out of 107 refluxing units (17.76%) diagnosed. The 4D technique enabled a more conspicuous visualization of vesicoureteral reflux than the 3D technique. **Conclusions:** 2D ceVUS and 3D/4D ceVUS diagnosed the same number of vesicoureteral refluxes, however, there was a statistically significant difference in grading between the two methods. Thus 3D/4D ceVUS appears at least a valid, if not even a more conspicuous technique compared to 2D ceVUS.

Wstęp

Sonocystografia mikcyjna wykonywana techniką dwuwymiarową (2D) od ponad 15 lat posiada ugruntowaną pozycję w diagnostyce i monitorowaniu leczenia odpływów pęcherzowo-moczowodowych (OPM) u dzieci⁽¹⁾. Już w 2001 r. wykazano, że technika ta pozwala na zmniejszenie o ponad połowę liczby pacjentów pediatrycznych narażonych na promieniowanie jonizujące podczas diagnostyki i leczenia OPM⁽²⁾. Metoda ta okazała się wysoce skuteczna w rozpoznawaniu i określaniu stopnia zaawansowania OPM oraz ocenie całego układu moczowego u dzieci, w tym cewki moczowej^(3–11). Liczne doniesienia wskazują na fakt, iż sonocystografia mikcyjna z zastosowaniem środka kontrastującego zawierającego heksafluorek siarki (SonoVue®, Bracco, Mediolan, Włochy) to wysoce czuła i swoista metoda, która w wielu przypadkach może zastąpić cystourethrografię mikcyjną bądź cystografię izotopową^(3–6,8,10,12–15). Sonocystografię mikcyjną uważa się też za zabieg niezwykle bezpieczny^(16–18). Wykazano również, że metoda ta może z powodzeniem być stosowana śródoperacyjnie podczas endoskopowego leczenia OPM u dzieci⁽¹⁹⁾.

Co więcej, najnowsze innowacje techniczne, takie jak trójwymiarowe metody statyczne (3D) i dynamiczne (4D) w połączeniu z ultrasonograficznymi środkami kontrastującymi, otworzyły nowe możliwości przed sonocystografią. Uzyskane wstępnie wyniki sugerują również, że metody te mogą dostarczyć dodatkowych informacji prowadzących do zmiany oceny stopnia odpływu w porównaniu z techniką 2D oraz charakteryzują się większą czułością w wykrywaniu OPM w porównaniu z cystourethrografią mikcyjną, jak wykazano już w przypadku sonocystografii 2D⁽²⁰⁾.

Celem niniejszej pracy było określenie, czy sonocystografia mikcyjna 3D/4D wnosi więcej informacji w porównaniu ze standardową sonocystografią mikcyjną 2D w diagnostyce OPM u dzieci na podstawie badania przeprowadzonego w większej grupie pacjentów.

Material i metoda

Grupa badana składała się ze 150 kolejnych pacjentów skierowanych na badanie sonocystografii mikcyjnej do Zakładu Radiologii Dziecięcej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie. Kryteria włączenia do badania obejmowały nawracające zakażenia układu moczowego w celu zdiagnozowania lub wykluczenia obecności OPM oraz monitorowanie efektów leczenia u dzieci ze zdiagnozowanym OPM. Kryteria wyłączenia z badania obejmowały brak zgody na badanie sonocystografii mikcyjnej, nietrzymanie moczu oraz współistniejące nieprawidłowości układu moczowego w postaci ureterocele, moczowodów ektopowych, zastawki cewki tylnej, jak również neurogennych zaburzeń czynności pęcherza moczowego związanych z przepukliną oponowo-rdzeniową oraz innymi wadami wrodzonymi.

Badania przeprowadzono po uzyskaniu zgody właściwej komisji bioetycznej oraz pisemnej świadomej zgody rodziców wszystkich pacjentów, których poinformowano uprzednio o celu badania, zaletach i wadach stosowanej metody

oraz braku rejestracji środka kontrastującego (heksafluorek siarki, SonoVue®, Bracco, Mediolan, Włochy) do stosowania u dzieci w czasie, gdy wykonywano badania. Aktualnie środek posiada już rejestrację do stosowania u dzieci w czasie, gdy wykonywano badania. Aktualnie środek posiada już rejestrację do stosowania u dzieci.

U wszystkich pacjentów przeprowadzono badanie sonocystografii mikcyjnej ze środkiem kontrastującym SonoVue®, łącząc różne techniki ultrasonograficzne (2D, 3D i 4D) oraz różne dostępy anatomiczne. Badanie wykonywano przed podaniem ultrasonograficznego środka kontrastowego, w trakcie podawania i po podaniu⁽²⁰⁾. Nie stosowano żadnego specjalnego przygotowania ani sedacji pacjenta. Badania przeprowadzono przy użyciu aparatu ultrasonograficznego GE Voluson E8 (GE Healthcare, USA) z zastosowaniem wolumetrycznej głowicy pediatrycznej typu micro-convex (3D/4D) typu RNA5-9-D (5–9 MHz) oraz aparatu GE Voluson E8 Expert (GE Healthcare, USA) z zastosowaniem wolumetrycznej głowicy endowaginalnej 3D/4D typu RIC5-9-D (5–9 MHz).

Początkowo u każdego pacjenta przeprowadzano dokładne przezbrzuszne i przekroczone badanie ultrasonograficzne układu moczowego z wykorzystaniem opcji B-mode, kolorowego dopplera oraz obrazowania harmonicznego zgodnie z zaleceniami dotyczącymi przeprowadzania badań w uroradiologii dziecięcej wydanymi przez Europejskie Towarzystwo Radiologii Dziecięcej (European Society of Paediatric Radiology, ESPR)⁽²¹⁾. Wyników tych badań nie poddawano analizie w ramach niniejszej pracy.

Następnie u wszystkich pacjentów wykonano badanie sonocystografii mikcyjnej zgodnie z zaleceniami ESPR oraz Europejskiego Towarzystwa Radiologii Układu Moczowo-Płciowego (European Society of Urogenital Radiology, ESUR) przy użyciu standardowej techniki dwuwymiarowej oraz wlewu kroplowego roztworu środka kontrastującego i soli fizjologicznej (1,2 ml SonoVue w 500 ml soli fizjologicznej)^(21,22). U wszystkich pacjentów badanie uzupełniono następnie o statyczne (3D) i dynamiczne (4D) badanie moczowodów i nerek oraz przekroczone badanie cewki moczowej podczas mikcji zgodnie z wymienionymi powyżej wytycznymi⁽²⁰⁾. Oceny cewki moczowej nie poddawano analizie w ramach niniejszej pracy.

Kolejne etapy badania rejestrowano jako pliki graficzne (JPG), filmowe (AVI) oraz pliki w formacie 3D/4D DICOM, które następnie poddawano dalszej obróbce i analizie. Badanie trwało średnio od 30 do 45 minut.

Wszystkie uzyskane dane 3D/4D poddano obróbce, korzystając z różnych narzędzi, takich jak obracanie (w celu przedstawienia układów kielichowo-miedniczkowych w pozycji anatomicznej), rendering przestrzenny (w celu poprawy trójwymiarowej percepcji obrazu OPM i ułatwienia jego interpretacji oraz oceny jego stopnia), przybliżanie (*zooming*) (w celu szczegółowego przedstawienia OPM), wyostrenie (*sharpening*) (w celu uwydatnienia zarysów układu kielichowo-miedniczkowego) i kontrastowanie obrazu oraz usuwanie artefaktów (w celu zwiększenia kontrastu pomiędzy OPM a jego tłem, co pozwala na uzyskanie wyraźniejszego

Stopnie odpływu pęcherzowo-moczowodowego	Liczba odpływów wykrytych za pomocą badania 2D	Liczba odpływów wykrytych za pomocą badania 3D/4D
0	193	193
I	1	1
II	39	29
III	38	41
IV	24	29
V	5	7
Suma	300	300

Tab. 1. Liczba i stopień odpływów pęcherzowo-moczowodowych wykrytych za pomocą sonocystografii mikcyjnej 2D i 3D/4D

i bardziej czytelnego obrazu OPM, ułatwiającego określenie jego stopnia). Obróbki obrazów dokonywano retrospektywnie bezpośrednio po badaniu. Jeśli stwierdzono OPM, najlepsze ujęcie 3D lub 4D dla każdej z nerek było poddawane obróbce. W przypadku plików filmowych 4D najlepszy kadr z filmu był poddawany dalszej obróbce. Opis badania oprócz szczegółowych informacji na temat wyników podstawowego badania USG i sonocystografii mikcyjnej (w tym cewki moczowej) obejmował także wydrukowane obrazy. Po obróbce obrazy przedstawiające OPM zostały wydrukowane na kolorowym papierze fotograficznym w celu zapewnienia dokumentacji o wysokiej jakości.

Do oceny stopnia OPM zarówno w badaniu 2D, jak i 3D/4D zastosowano zmodyfikowaną pięciostopniową klasyfikację Dargego i Troegera^(7,23).

Wszystkie badania i analizy przeprowadził jeden badacz, radiolog dziecięcy z 15-letnim doświadczeniem, specjalizujący się w ultrasonografii dziecięcej 2D i 3D/4D, który wykonuje badania sonocystografii mikcyjnej od ponad 11 lat.

Analizę statystyczną, która obejmowała statystykę opisową, test *t*-Studenta oraz test chi-kwadrat, przeprowadzono za pomocą oprogramowania Statistica® (StatSoft, Tulsa, USA), wersja 10.0.

Wyniki

Grupa badana składała się ze 150 dzieci – 101 dziewczynek i 49 chłopców (średnia wieku 3,7 roku, SD ± 2,7 roku, zakres wieku od 5 miesięcy do 11,3 roku), poddanych badaniom w okresie od lipca 2015 do sierpnia 2017 r. U wszystkich pacjentów przeprowadzono badanie sonocystografii mikcyjnej z wykorzystaniem środka kontrastującego SonoVue®.

Spośród 150 badanych pacjentów i 300 (100%) jednostek miedniczkowo-moczowodowych (JMM) przy użyciu podstawowego badania sonocystografii mikcyjnej 2D odpływ pęcherzowo-moczowodowy wykryto u 76 pacjentów, przy czym u 45 OPM jednostronny, a u 31 – obustronny (łącznie 107 OPM; 35,67%) (Tab. 1).

Na podstawie badania 3D/4D rozpoznano taką samą liczbę OPM jak w przypadku badania 2D (Tab. 1). Istniała

2D	3D/4D						
	Sto- pień 0	Sto- pień I	Sto- pień II	Sto- pień III	Sto- pień IV	Sto- pień V	
Sto- pień 0	193						193
Sto- pień I		1					1
Sto- pień II			29	10			39
Sto- pień III				31	7		38
Sto- pień IV					22	2	24
Sto- pień V						5	5
	193	1	29	41	29	7	300

Tab. 2. Zgodność pomiędzy technikami 2D a 3D/4D w wykrywaniu i ocenie stopnia odpływu. Kolor zielony – taki sam stopień zaawansowania odpływu w obu metodach. Kolor żółty – różnice w ocenie stopnia odpływu pomiędzy techniką 2D a 3D/4D

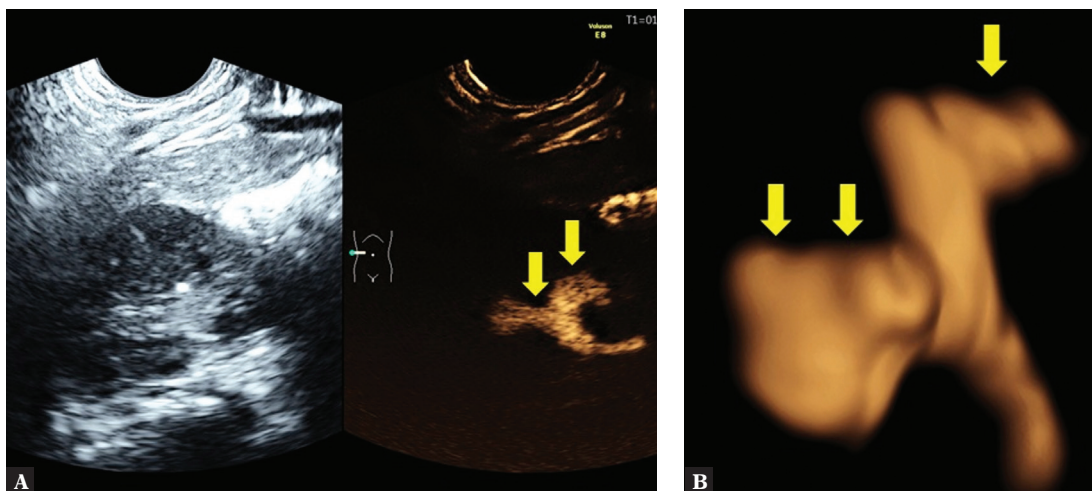
jednak statystycznie istotna różnica w ocenie stopnia odpływu na podstawie obu metod. Ze względu na bardziej szczegółowe, trójwymiarowe obrazowanie OPM sonocystografia 3D/4D ułatwiała określenie stopnia OPM, co w 19 na 107 zdiagnozowanych odpływów (17,76%) skutkowało zmianą stopnia określonego pierwotnie na podstawie badania 2D (Tab. 2).

Wśród 107 (100%) OPM zdiagnozowanych na podstawie badania 3D/4D w 105 przypadkach (98,13%) do dalszej obróbki wybrano dane 4D, a w 2 przypadkach (1,87%) pliki 3D, jako lepiej przedstawiające OPM ze względu na mniejszą liczbę artefaktów ruchowych i bardziej szczegółowy obraz.

Sonocystografia mikcyjna 3D/4D okazała się znacznie skuteczniejszą techniką niż badanie 2D w ocenie morfologicznej OPM, ukazywała bowiem bardziej szczegółowo i wyraźnie zarysy miedniczek oraz kielichów nerkowych, z wyższym poziomem kontrastowości, co ułatwiała ocenę stopnia OPM.

Dyskusja

Wyniki niniejszej pracy pokazują, iż w 19 przypadkach OPM (17,76%) na podstawie sonocystografii mikcyjnej 3D/4D zdiagnozowano wyższy stopień niż w przypadku badania 2D (Ryc. 1, 2). Wszystkie spośród tych 19 OPM zostały ocenione jako stopień II ($n = 10$), III ($n = 7$) lub IV ($n = 2$) na podstawie badania 2D oraz odpowiednio jako stopień III, IV lub V przy użyciu techniki 3D/4D. Ocena stopnia OPM jest jednym z czynników mogących stanowić wskazanie do zabiegu chirurgicznego, dlatego



Ryc. 1. Prawostronny OPM u 3-letniej dziewczynki z nawracającymi zakażeniami układu moczowego. **A.** Dwuwymiarowa (2D) sonocystografia mikcyjna w podwójnym trybie obrazowania; jednocześnie obrazowanie w czasie rzeczywistym przy użyciu obu technik – skali szarości (opcji B-mode) po lewej stronie i obrazowania z kontrastem po prawej. Nieposzerzona miedniczka nerkowa i kielichy nerkowe (strzałki) z rozpoznaniem OPM w stopniu II. **B.** Przestrzenny obraz uzyskany w wyniku obróbki danych zarejestrowanych w trakcie trójwymiarowej sonocystografii mikcyjnej w czasie rzeczywistym (4D). Dobrze odgraniczone zarysy nieposzerzonej miedniczki nerkowej i miernie poszerzonych kielichów nerkowych (strzałki) z rozpoznaniem OPM w stopniu III. Bardziej szczegółowe, trójwymiarowe obrazowanie odpływu umożliwiło bardziej precyzyjną ocenę stopnia OPM, a w rezultacie zmianę stopnia pierwotnie określonego na podstawie badania 2D na wyższy

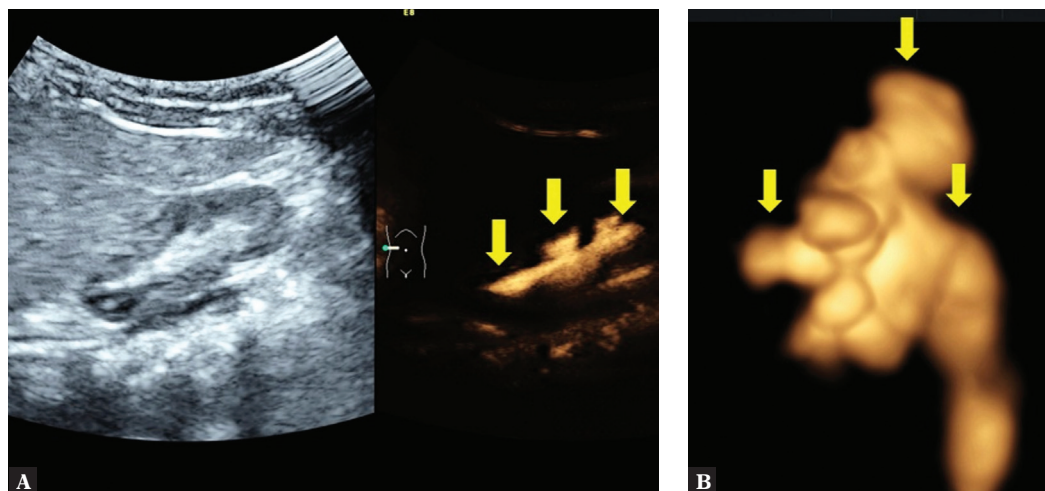
jej zmiana może mieć istotny wpływ na wybór sposobu leczenia. Z uwagi na to, że leczenie endoskopowe można zastosować u wszystkich dzieci z niskim stopniem OPM (II/III), podczas gdy w przypadku OPM wysokiego stopnia (IV/V) niepoddającego się leczeniu należy rozważyć korekcję chirurgiczną⁽²⁴⁾, różnice w ocenie stopnia zaawansowania OPM pomiędzy techniką 2D a 3D/4D mogą wpłynąć na wybór leczenia i w ten sposób mieć znaczenie kliniczne.

Wyniki pracy dowodzą, że sonocystografia mikcyjna 3D/4D daje bardziej szczegółowy obraz OPM niż badanie wykonane techniką 2D, co pozwala na łatwiejszą i bardziej precyzyjną ocenę stopnia OPM. Możliwość obróbki danych, tj. obracanie, rendering, wyostanie, kontrastowanie i przybliżanie obrazu oraz usuwanie artefaktów, sprawia, że technika przestrzenna (3D/4D) pozwala na znacznie wyraźniejsze zobrazowanie OPM, z dobrze widocznymi zarysami układu kielichowo-miedniczkowego i moczowodu dzięki zwiększeniu kontrastowości oraz możliwości usunięcia artefaktów i otaczających struktur. Co więcej, wielowymiarowa wizualizacja OPM, niedostępna w technice 2D, umożliwia bardziej precyzyjną i łatwiejszą ocenę poszerzenia układu kielichowo-miedniczkowego, pozwalając w ten sposób na dokładniejsze określenie stopnia OPM; dzięki temu ocena jest o wiele pewniejsza i szybsza niż przy użyciu techniki 2D. Jest to szczególnie istotne w przypadku nerek o nieprawidłowej rotacji.

Możliwość uwidocznienia OPM w anatomicznym położeniu nerek, tak jak w przypadku cystouretrografii mikcyjnej, stanowi istotną zaletę techniki 3D/4D, poprawiającą czytelność i ułatwiającą interpretację dokumentacji dla lekarzy kierujących oraz zwiększającą jej obiektywność, a co za tym idzie – miarodajność.

Należy jednak podkreślić, że sonocystografia mikcyjna 2D nadal pozostaje podstawową metodą badania ultrasonograficznego w diagnostyce i ocenie stopnia OPM. Wiarygodne rozpoznanie OPM jest możliwe przy użyciu podwójnego trybu obrazowania, tj. jednoczesnego obrazowania 2D w opcji B-mode oraz obrazowania z kontrastem. Tryb podwójny sprzyja bowiem uwidocznieniu anatomii badanych obszarów oraz uniknięciu zobrazowania artefaktów (np. ze strony innych struktur wypełnionych powietrzem lub innymi gazami, takich jak pętle jelitowe), co nie jest możliwe w przypadku USG 3D/4D. Opcja B-mode w sonocystografii mikcyjnej 2D wykazuje także większą skuteczność w rozpoznawaniu OPM I stopnia.

W niniejszej pracy u wszystkich pacjentów wykonano zarówno badanie 3D, jak i 4D, przy czym USG 4D okazało się bardziej przydatną metodą niż USG 3D, pozwalającą lepiej uwidocznić OPM w ponad 98% przypadków, być może ze względu na szybszą rejestrację danych, co jednak wiąże się z obniżeniem rozdzielczości/zmianą wymiarów wokseli. Do głównych ograniczeń metody 3D należą jej statyczny charakter i wyższa podatność na powstawanie artefaktów, podczas gdy technika 4D dzięki swojemu dynamicznemu charakterowi, wynikającemu z rejestracji obrazów w czasie rzeczywistym, zapewnia możliwość dłuższego czasu obserwacji, pozwalającego na obrazowanie procesów dynamicznych, takich jak OPM, które czasami można uwidocznić jedynie okresowo. Badanie w czasie rzeczywistym (4D) jest użyteczne szczególnie w przypadku dzieci, u których brak współpracy często powoduje trudności w uzyskiwaniu dobrej jakości danych. Ponadto badanie 4D posiada wszystkie cechy techniki statycznej (3D), a dodatkowo odznacza się korzyściami wynikającymi ze swojego dynamicznego



Ryc. 2. Prawostronny OPM u 2-letniego chłopca utrzymujący się po leczeniu. **A.** Sonocystografia mikcyjna 2D w podwójnym trybie obrazowania; jednoczesne obrazowanie w czasie rzeczywistym przy użyciu obu technik – skali szarości (opcji B-mode) po lewej stronie i obrazowania z kontrastem po prawej. Nieposzerzona miedniczka nerkowa i miernie poszerzone kielichy nerkowe (strzałki) z rozpoznaniem OPM w stopniu III. **B.** Obraz przestrzenny uzyskany w sonocystografii mikcyjnej 4D po obróbce danych. Dobrze odgraniczone zarysy poszerzonej miedniczki nerkowej i kielichów nerkowych (strzałki) z rozpoznaniem OPM w stopniu IV. Bardziej szczegółowe, trójwymiarowe obrazowanie odpływu umożliwiło bardziej precyzyjną ocenę stopnia zaawansowania choroby, a w rezultacie zmianę stopnia pierwotnie określonego na podstawie badania 2D na wyższy

charakteru. Z tego powodu nie ma potrzeby stosowania obu technik, gdyż wydłuża to czas badania bez uzyskania istotnych dodatkowych korzyści.

Niemniej jednak należy podkreślić, że badania w ramach niniejszej pracy zostały przeprowadzone wyłącznie przy użyciu jednego typu aparatu USG i głowic jednego producenta, co sprawia, że przyjęte założenia i uzyskane wyniki mogą być miarodajne dla tego konkretnego, wysokiej klasy aparatu i określonych głowic, a mogą różnić się w przypadku innego urządzenia i innych typów głowic.

Co więcej, za niewielkie różnice w ocenie stopnia OPM pomiędzy sonocystografią mikcyjną 2D a 3D/4D może być częściowo odpowiedzialna jakość głowic, ze względu na to, że głowica 3D/4D ma potencjalnie lepszą jakość niż głowica 2D zastosowana w niniejszym badaniu. Różnice w ocenie stopnia OPM pomiędzy badaniem 2D a 3D/4D mogą także wynikać ze zmiennego charakteru OPM, ponieważ jego stopień może ulegać szybkim zmianom w czasie; innymi słowy, zaobserwowane różnice pomiędzy badaniami 2D a przeprowadzanymi w następnej kolejności badaniami 3D/4D można częściowo wytłumaczyć tym zjawiskiem, gdyż obu typów badań nie można przeprowadzić jednocześnie, lecz tylko jedno po drugim.

Do ograniczeń sonocystografii mikcyjnej 3D/4D należą bardzo ograniczony dostęp do wysokiej klasy aparatów wyposażonych w opcje obrazowania 3D/4D z możliwością zastosowania ultrasonograficznego środka kontrastującego, dłuższy czas badania w porównaniu z badaniem 2D oraz konieczność obróbki uzyskanych danych. Niska dostępność wysokiej klasy aparatów USG wyposażonych w opcję obrazowania 3D/4D z kontrastem oraz względnie długa krzywa uczenia się tej techniki, szczególnie w zakre-

sie obróbki danych, istotnie ograniczają możliwość wprowadzenia sonocystografii mikcyjnej 3D/4D do algorytmu diagnostycznego OPM u dzieci jako standardowej techniki stosowanej rutynowo.

Przegląd piśmiennictwa nie wykazał istnienia jakichkolwiek opublikowanych uprzednio badań innych autorów dotyczących sonocystografii mikcyjnej w technice 3D lub 4D; autorzy nie są w stanie zatem porównać uzyskanych rezultatów z wynikami innych badań. Wyniki uzyskane w niniejszej pracy są zgodne z wynikami innej, opublikowanej wcześniej pracy tego samego autorstwa⁽²⁰⁾. Należy jednak podkreślić, że niniejsze badania przeprowadzono na większej grupie (150 pacjentów) w porównaniu z poprzednią pracą (69 pacjentów).

Pichler i wsp. wykorzystali technikę badania USG 4D do oceny lokalizacji materiału uszczelniającego u dzieci, które poddano endoskopowemu leczeniu OPM. W ich pracy na badanie cystouretrografii mikcyjnej kierowano wyłącznie dzieci z nawracającymi zakażeniami układu moczowego po przeprowadzonym leczeniu endoskopowym i/lub nieortotopowym położeniem wypełniającego materiału uszczelniającego. Samo USG 4D okazało się wystarczającym badaniem do monitorowania dzieci po endoskopowym leczeniu OPM niskiego stopnia⁽²⁵⁾.

Do innych istotnych ograniczeń niniejszej pracy należą brak ślepego charakteru badania, udział pacjentów z tylko jednego ośrodka oraz przeprowadzenie badań i analizy przez tylko jednego radiologa dziecięcego. Stąd też niezbędne są dalsze, wieloośrodkowe i prospektywne badania z grupą kontrolną prowadzone metodą ślepej próby porównujące sonocystografię mikcyjną 2D z techniką 3D/4D.

Wnioski

Podsumowując, wyniki niniejszej pracy wskazują, iż sonocystografia mikcyjna 3D/4D uwidoczniła wszystkie przypadki OPM widoczne w badaniu 2D. Niemniej jednak dzięki dodatkowym informacjom, uzyskanym dzięki różnym opcjom obróbki, badanie 3D/4D umożliwiło zmianę oceny stopnia OPM na wyższy u niektórych dzieci w porównaniu ze standardową techniką 2D. Co więcej, sonocystografia mikcyjna 3D/4D stanowi jedyną metodę zapewniającą wielowymiarowe obrazowanie przestrzenne OPM, ułatwiającą ocenę jego stopnia i podnoszącą jakość dokumentacji. Technika 4D, jako dynamiczna metoda prezentacji obrazów trójwymiarowych w czasie rzeczywistym, obrazuje OPM lepiej niż

badanie 3D statyczne, dlatego może ona być stosowana jako jedyna technika wolumetryczna poprzedzona badaniem 2D. Ze względu na wszystkie wymienione powyżej zalety można stwierdzić, że sonocystografia mikcyjna 3D/4D zapewnia lepsze, wyraźniejsze obrazowanie i bardziej czytelną dokumentację oraz ułatwia ocenę stopnia zaawansowania OPM w porównaniu z badaniem 2D.

Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść niniejszej publikacji oraz rościć sobie do niej prawo.

Piśmiennictwo

- Darge K, Dütting T, Zieger B, Möhring K, Rohrschneider W, Tröger J: [Diagnosis of vesicoureteral reflux with echo-enhanced micturition urosonography]. *Radiologie* 1998; 38: 405–409.
- Darge K, Ghods S, Zieger B, Rohrschneider W, Troeger J: Reduction in voiding cystourethrographies after the introduction of contrast enhanced sonographic reflux diagnosis. *Pediatr Radiol* 2001; 31: 790–795.
- Adeb M, Darge K: Contrast-enhanced voiding urosonography – a feasible modality for the diagnosis of vesicoureteral reflux in a developing country. *Ethiop Med J* 2013; 51: 153–160.
- Del Riego J, Duran C, Riera Soler L: Voiding urosonography with a second-generation contrast agent versus voiding cystourethrography. *Pediatr Nephrol* 2011; 26: 1913–1914.
- Kis E, Nyitrai A, Várkonyi I, Mátyus I, Cseppekál O, Reusz G *et al.*: Voiding urosonography with second-generation contrast agent versus voiding cystourethrography. *Pediatr Nephrol* 2010; 25: 2289–2293.
- Papadopoulou F, Anthopoulou A, Siomou E, Efremidis S, Tsamboulas C, Darge K: Harmonic voiding urosonography with a second-generation contrast agent for the diagnosis of vesicoureteral reflux. *Pediatr Radiol* 2009; 39: 239–244.
- Darge K: Voiding urosonography with ultrasound contrast agents for the diagnosis of vesicoureteric reflux in children. I. Procedure. *Pediatr Radiol* 2008; 38: 40–53.
- Woźniak MM, Pawelec A, Wieczorek AP, Zajączkowska MM, Borzęcka H, Nachulewicz P: 2D/3D/4D contrast-enhanced voiding urosonography in the diagnosis and monitoring of treatment of vesicoureteral reflux in children – can it replace voiding cystourethrography? *J Ultrason* 2013; 13: 394–407.
- Duran C, Valera A, Alguersuari A, Ballesteros E, Riera L, Martin C *et al.*: Voiding urosonography: the study of the urethra is no longer a limitation of the technique. *Pediatr Radiol* 2009; 39: 124–131.
- Otukesh H, Hoseini R, Behzadi AH, Mehran M, Tabbaroki A, Khamesan B *et al.*: Accuracy of cystosonography in the diagnosis of vesicourethral reflux in children. *Saudi J Kidney Dis Transpl* 2011; 22: 488–491.
- Fernández-Ibieta M, Parrondo-Muiños C, Fernández-Masaguer LC, Hernández-Anselmi E, Marijuán-Sauquillo V, Ramírez-Piqueras M *et al.*: Voiding urosonography with second-generation contrast as a main tool for examining the upper and lower urinary tract in children. *Pilot Study. Actas Urol Esp* 2016; 40: 183–189.
- Ključevšek D, Battelino N, Tomažič M, Kersnik Levart T: A comparison of echo-enhanced voiding urosonography with X-ray voiding cystourethrography in the first year of life. *Acta Paediatr* 2012; 101: e235–e239.
- Darge K: Voiding urosonography with US contrast agents for the diagnosis of vesicoureteric reflux in children. II. Comparison with radiological examinations. *Pediatr Radiol* 2008; 38: 54–63, quiz 126–127.
- Piskunowicz M, Świętoń D, Rybczyńska D, Czarniak P, Szarmach A, Kaszubowski M *et al.*: Comparison of voiding cystourethrography and urosonography with second-generation contrast agents in simultaneous prospective study. *J Ultrason* 2016; 16: 339–347.
- Duran C, Beltrán VP, González A, Gómez C, Riego JD: Contrast-enhanced voiding urosonography for vesicoureteral reflux diagnosis in children. *Radiographics* 2017; 37: 1854–1869.
- Darge K, Papadopoulou F, Ntoulia A, Bulas DI, Coley BD, Fordham LA *et al.*: Safety of contrast-enhanced ultrasound in children for non-cardiac applications: a review by the Society for Pediatric Radiology (SPR) and the International Contrast Ultrasound Society (ICUS). *Pediatr Radiol* 2013; 43: 1063–1073.
- Papadopoulou F, Ntoulia A, Siomou E, Darge K: Contrast-enhanced voiding urosonography with intravesical administration of a second-generation ultrasound contrast agent for diagnosis of vesicoureteral reflux: prospective evaluation of contrast safety in 1,010 children. *Pediatr Radiol* 2014; 44: 719–728.
- Sauer A, Wirth C, Platzer I, Neubauer H, Veldhoen S, Dierks A *et al.*: Off-label-use of sulfur-hexafluoride in voiding urosonography for diagnosis of vesicoureteral reflux in children: A survey on adverse events. *World J Clin Pediatr* 2017; 6: 52–59.
- Woźniak MM, Osemlak P, Pawelec A, Brodzisz A, Nachulewicz P, Wieczorek AP *et al.*: Intraoperative contrast-enhanced urosonography during endoscopic treatment of vesicoureteral reflux in children. *Pediatr Radiol* 2014; 44: 1093–1100.
- Woźniak MM, Wieczorek AP, Pawelec A, Brodzisz A, Zajączkowska MM, Borzęcka H *et al.*: Two-dimensional (2D), three-dimensional static (3D) and real-time (4D) contrast enhanced voiding urosonography (ceVUS) versus voiding cystourethrography (VCUG) in children with vesicoureteral reflux. *Eur J Radiol* 2016; 85: 1238–1245.
- Riccabona M, Avni FE, Blickman JG, Dacher JN, Darge K, Lobo ML *et al.*: Imaging recommendations in paediatric urology: minutes of the ESPR workgroup session on urinary tract infection, fetal hydronephrosis, urinary tract ultrasonography and voiding cystourethrography, Barcelona, Spain, June 2007. *Pediatr Radiol* 2008; 38: 138–145.
- Riccabona M, Vivier PH, Ntoulia A, Darge K, Avni F, Papadopoulou F *et al.*: ESPR urology task force imaging recommendations in paediatric urology. Part VII: Standardised terminology, impact of existing recommendations, and update on contrast-enhanced ultrasound of the paediatric urogenital tract. *Pediatr Radiol* 2014; 44: 1478–1484.
- Darge K, Troeger J: Vesicoureteral reflux grading in contrast-enhanced voiding urosonography. *Eur J Radiol* 2002; 43: 122–128.
- Tekgül S, Dogan HS, Hoebecke P, Kocvara R, Nijman JM, Radmayr C *et al.*: Guidelines on Paediatric Urology. European Society for Paediatric Urology, European Association of Urology 2014.
- Pichler R, Buttazzoni A, Bektic J, Schlenck B, Radmayr C, Rehder P *et al.*: Endoscopic treatment of vesicoureteral reflux using dextranomer/hyaluronic acid copolymer in children: results of postoperative follow-up with real-time 3D sonography. *Urol Int* 2011; 87: 192–198.