



# Magnetnorezonantna urografija (MRU) i funkcionalna magnetnorezonantna urografija (fMRU) u dječjoj dobi

## Magnetic resonance urography (MRU) and functional magnetic resonance urography (fMRU) in children

Goran Roić<sup>1</sup>, Filip Murn<sup>1</sup> , Iva Palčić<sup>2</sup>, Tonči Grmoja<sup>1</sup>, Dubravko Bobinec<sup>1</sup>, Ana Tripalo Batoš<sup>1</sup>, Andrea Cvitković Roić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zavod za dječju radiologiju, Klinika za dječje bolesti Zagreb

<sup>2</sup>Poliklinika za dječje bolesti Helena, Zagreb

### Deskriptori

MAGNETSKA REZONANCIJA – metode;  
UROGRAFIJA – metode;  
UROGENITALNE ANOMALIJE – slikovna djagnostika;  
HIDRONEFROZA – slikovna djagnostika;  
URETERNA OPSTRUKCIJA – slikovna djagnostika;  
BUBREŽNI FUNKCIJSKI TESTOVI; GADOLINIJ-DTPA;  
SLIKOVNA INTERPRETACIJA UZ POMOĆ RAČUNALA;  
DJECA

### Descriptors

MAGNETIC RESONANCE IMAGING – methods;  
UROGRAPHY – methods;  
UROGENITAL ABNORMALITIES – diagnostic imaging;  
HYDRONEPHROSIS – diagnostic imaging;  
URETERAL OBSTRUCTION – diagnostic imaging;  
KIDNEY FUNCTION TESTS; GADOLINIUM DTPA;  
IMAGE INTERPRETATION, COMPUTER-ASSISTED;  
CHILD

**SAŽETAK.** Magnetnorezonantna urografija (MRU) i funkcionalna magnetnorezonantna urografija (fMRU) slikovne su dijagnostičke metode koje nam omogućuju cjelovitu morfološku i funkcijsku dijagnostiku mokraćnog sustava u dječjoj dobi. MRU koristimo u evaluaciji morfologije bubrega i mokraćnih puteva, dok nam fMRU kroz niz funkcionalnih parametara omogućuje kvantitativnu analizu parametara bubrežne funkcije i ekskrecije. Ove su metode od posebnog značaja za pacijente dječje dobi pri dijagnostici relativno čestih urođenih anomalija urogenitalnog sustava, dijagnostici uzroka i razine opstrukcije urinarnog sustava. Prednost magnetske rezonancije pred drugim slikovnim metodama, kao što su ultrazvuk, scintigrafija bubrega i mikcijska cistouretografija (MCUG), jest u mogućnosti cjelovite i objedinjene morfološke i funkcijske evaluacije mokraćnog sustava, kao i neinvazivnosti u smislu poštede od ionizirajućeg zračenja. S obzirom na navedene karakteristike, MRU i fMRU značajno pomažu u donošenju ispravnih kliničkih odluka za nekirurško i kirurško liječenje, pri procjeni stanja uslijed komplikacija kirurških zahvata te u slučajevima kada ostale slikovne metode ne daju dostatne dijagnostičke informacije. Najčešće su kliničke indikacije za primjenu MRU-a i fMRU-a sumnja na opstrukciju urinarnog trakta, planiranje operativnog zahvata, postoperativne komplikacije, detaljna procjena anatomije urogenitalnog sustava i bubrega te kvantitativna procjena bubrežne funkcije i ekskrecije. Stoga su MRU i fMRU u dječjoj dobi izuzetno korisne i informativne dijagnostičke metode koje nam omogućuju cjelovitu procjenu bubrega i mokraćnog sustava, pružajući jedinstvene informacije, te zamjenjuju niz drugih slikovnih pretraga. Relativni nedostaci su potreba anestezije ili sedacije pri izvođenju pretrage u djece mlađe od pet godina te složenost programa kojim se funkcijski podatci analiziraju, što iziskuje visokospecijalizirani kadar, ali i vrijeme koje je potrebno za obradu i interpretaciju podataka. S obzirom na svoje kvalitete, ove zahtjevne radiološke dijagnostičke slikovne metode imaju sve veći i značajniji prostor u rutinskoj dijagnostici, obradi i liječenju nefroloških i uroloških pacijenata dječje dobi.

**SUMMARY.** Magnetic resonance urography (MRU) and functional magnetic resonance urography (fMRU) are imaging diagnostic methods that allow us to perform complete morphological and functional diagnostics of the urinary system in children. We use MRU in the evaluation of kidney and urinary tract morphology, while fMRU enables quantitative analysis of kidney function and excretion parameters through a series of functional parameters. These methods are of special importance for children patients in the diagnosis of relatively common congenital anomalies of the urogenital system, diagnosis of the cause and the level of obstruction of the urinary system. The advantage of magnetic resonance over other imaging methods, such as ultrasound, renal scintigraphy and micturition cystoureterography (MCUG), is the possibility of complete and unified morphological and functional evaluation of the urinary system, as well as non-invasiveness in the sense of avoiding ionizing radiation. Considering the mentioned characteristics, MRU and fMRU significantly help in making correct clinical decisions for non-surgical and surgical treatment, when assessing the condition due to complications of surgical procedures, and in cases where other imaging methods do not provide sufficient diagnostic information. The most common clinical indications for the use of MRU and fMRU are suspicion of urinary tract obstruction, surgical planning, postoperative complications, detailed assessment of urogenital kidney anatomy, and quantitative assessment of renal function and excretion. MRU and fMRU are therefore extremely useful and informative diagnostic methods in children's age that allow us to fully evaluate the kidneys and urinary system, providing unique information, and replace a number of other imaging tests. A relative disadvantage is the need for anesthesia or sedation when performing the test in children under five years of age, and the complexity of the program used to analyze functional data, which requires highly specialized personnel as well as the time required for data processing and interpretation. Due to their qualities, these demanding radiological diagnostic imaging methods have an increasingly important role in the routine diagnosis and treatment of pediatric nephrology and urology patients.

### ✉ Adresa za dopisivanje:

Filip Murn, dr. med., <https://orcid.org/0000-0001-6151-6527>, Klinika za dječje bolesti Zagreb, Klaićeva 16, 10000 Zagreb, e-pošta: [filip.murn@kdb.hr](mailto:filip.murn@kdb.hr)

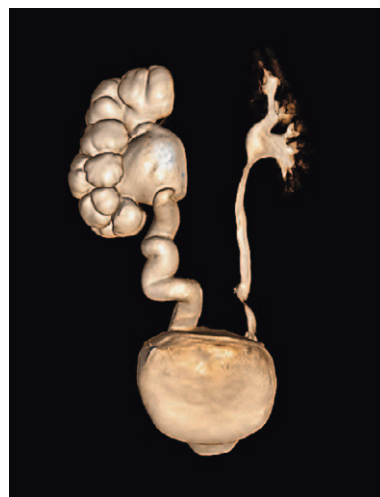
Primljeno 1. lipnja 2022., prihvaćeno 14. listopada 2022.

Razvijene su različite tehnike za snimanje urogenitalnog sustava, a to su ultrazvuk (UZV), scintigrafija bubrega, mikcijska cistouretrografija (MCUG), kompjutorizirana tomografija (CT) i magnetska urografija (MR). Od ovih tehnika, samo dvije – CT urografija (CTU) i MR urografija (MRU) – imaju potencijal pružiti sveobuhvatnu morfološku analizu bubrega i mokraćnog sustava, uz bitno ograničenje CT-a u dječjoj dobi s obzirom na korištenje ionizirajućeg zračenja.

Prirodne malformacije mokraćnog sustava i bubrega relativno su česte te čine između 20% i 50% ukupnog broja svih prirodnih razvojnih malformacija. Smatra se da oko 10% ljudi ima neki od razvojnih poremećaja urotrakta, a razlog je vrlo složena embriogeneza. Prirodne malformacije mokraćnog sustava i bubrega predstavljaju vrlo širok spektar patologije, od asimptomatskih ektopičnih bubrega pa sve do obostrane ageneze bubrega, što je životno ugrožavajuće stanje.<sup>1–3</sup> Najčešći uzrok novorođenačke hidronefroze jest opstrukcija ureteropelvičnog spoja (engl. *ureteropelvic junction*, UPJ) koja s incidencijom od 1:1500 danas čini jedan od glavnih problema s kojim se susreću pedijatri i koji zahtijeva multidisciplinarni pristup, a ponajviše detaljni slikovni prikaz anatomskih struktura urotrakta.<sup>4,5</sup>

Zlatni standard u dijagnosticiranju prirodnih malformacija urogenitalnog sustava i bubrega kod djece je ultrazvuk, koji prvenstveno služi pri procjeni anatomskih odnosno morfoloških karakteristika bubrega i mokraćnog sustava, dok se za preciznu kvantifikaciju bubrežne funkcije i ekskrecije koristi i scintigrafija.<sup>6–9</sup> Scintigrafija bubrega pomoću radionuklida <sup>99m</sup>Tc-merkaptacetil-triglicin (MAG3) jest standard za određivanje separatne bubrežne funkcije te za procjenu razine i stupnja opstrukcije u mokraćnom sustavu kod donošenja odluke o terapiji. Ove konvencionalne metode snimanja imaju i neke relativne nedostatke; ultrasonografija ovisi o specijalistu koji je izvodi i ima ograničenja u otkrivanju malih anatomskih struktura (npr. nedilatirani ureteri), a bubrežna scintigrafija koristi ionizirajuće zračenje (što može rezultirati procijenjenom efektivnom dozom >1 mSv) i daje neprecizne anatomske informacije zbog niske prostorne i kontrastne razlučivosti.<sup>10</sup>

Funkcionalna magnetska urografija (fMRU) smatra se alternativom kao jedan pregled za snimanje bubrega i cijeloga mokraćnog sustava kod djece, jer se dobivaju i morfološki i funkcijski podatci. U pedijatriji se MRU koristi za procjenu opstrukcije urinarnog sustava, složenih kongenitalnih abnormalnosti genitourinarnog trakta i tumora bubrega, mjehura ili mokraćnog sustava. Dječja bolnica u Philadelphiji (CHOP) kreirala je poluautomatizirani računalni program za postprocesiranje za funkcionalni MRU koji određuje vrijednosti glomerularne filtracije.<sup>1,7,11</sup> Počevši od devedesetih godina prošlog stoljeća sa studijama na životinjama,



SLIKA 1. VRT: HIDROURETERONEFROZA (IZ VLASTITE ARHIVE)

FIGURE 1. VRT: HYDROURETERONEPHROSIS (AUTHOR'S ARCHIVE)

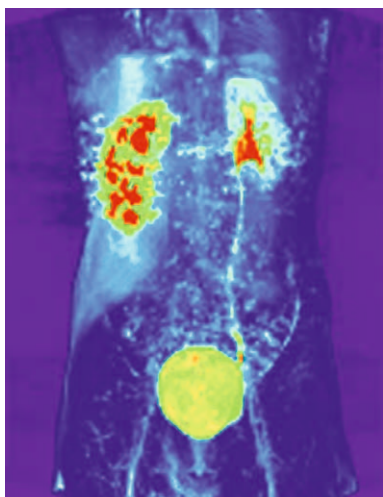
funkcionalni MRU postigao je značajan napredak posljednjih godina, uz značajno poboljšanje i unaprjeđenje protokola.<sup>1,12–15</sup>

Razvojem tehnike i posebnih računalnih programa, magnetska urografija (engl. MRU) počela se rutinski primjenjivati gotovo u svim vodećim institucijama,<sup>16–18</sup> a ponajviše iz razloga što se pokazalo da konvencionalne pretrage poput UZV-a i mikcijske cistouretrografije (MCUG) ne pružaju dovoljno informacija za medicinsko i kirurško liječenje. Jedan od najčešćih primjera jest otežani prikaz gornjega mokraćnog sustava ultrazvukom kod masivne hidroureteronefroze (slika 1) ili u slučaju nedostatne dilatacije uretera.<sup>19–23</sup> Također, ne treba zaboraviti ni činjenicu da scintigrafija koristi ionizirajuće zračenje, dok funkcionalna magnetska urografija (fMRU) omogućuje da se u jednom pregledu dobiju morfološki i funkcionalni podatci bez ionizirajućeg zračenja. Najveći potencijal za primjenu fMRU pokazao se u novorođenčadi i djece, a sve zahvaljujući značajnom poboljšanju protokola za tu skupinu pacijenata.<sup>1,7,10,11,14,15</sup>

### Magnetska urografija i funkcionalna magnetska urografija

Magnetska urografija (MRU) tehnika je koja koristi magnetsku rezonanciju s potencijalom neinvazivne najsveobuhvatnije i najspecifičnije slikovne dijagnostičke metode u dijagnostici abnormalnosti mokraćnog sustava u dječjoj dobi, bez uporabe ionizirajućeg zračenja.<sup>24</sup>

Funkcionalna magnetska urografija (engl. fMRU – *functional magnetic resonance urography*) napredna je tehnika snimanja koja kombinira izvrstan kontrast mekih tkiva konvencionalnog MRI-a s kvantitativnom



SLIKA 2. CHOP-fMRU  
– AUTOMATIZIRANA FUNKCIONALNA ANALIZA  
FIGURE 2. CHOP-fMRU  
– AUTOMATED FUNCTIONAL ANALYSIS

procjenom na temelju unosa i kinetike izlučivanja kontrastnog sredstva, kako bi pružila informacije o bubrežnoj funkciji i drenaži. fMRU se može podijeliti u dva dijela. Prvi dio, takozvana MR hidrografija, koncentrirana je na morfologiju mokraćnog sustava i sastoji se od anatomskog MRI-a trbuha i zdjelice. Pri MR hidrografiji koriste se sekvencije koje prikazuju kanalni sustav bubrega, uretere i mokraćni mjehur i bubrežni parenhim. Dvodimenzionalne i volumetrijske trodimenzionalne T2 slike visoke rezolucije mogu razgraničiti morfologiju nakapnice i anatomske odnose mokraćnog sustava, a trodimenzionalne slike mogu se koristiti za stvaranje različitih rekonstrukcija. Drugi dio se sastoji od određivanja bubrežne funkcije uz pomoć T1-postkontrastnih slika dobivenih tijekom razdoblja od 15 minuta. Bubrezi se iznova slikaju prije i nakon primjene kontrasta. Postkontrastne slike oduzimaju se od predkontrastnih slika kako bi se dobio izgled i protok kontrasta kroz krvožilni sustav, bubrege i mokraćni sabirni sustav. Intenzitet i mjesto kontrasta mogu se izmjeriti iz ovih oduzetih slika. Iz ovih mjerenja mogu se izračunati različiti bubrežni funkcionalni parametri. Programski sustav analizira protok kontrasta kroz trodijelni sustav: vaskularni, bubrežni korteks i sabirni sustav. Program izračunava koliko kontrasta prolazi kroz svaki bubrežni dio kako bi se odredila separata bubrežna funkcija i koliko brzo prolazi kontrast, te da bi se stekao uvid u to koliko učinkovito nefroni u svakom bubregu filtriraju. Vrijednosti *Patlaka* koje izračunava softver gruba su procjena brzine glomerularne filtracije i povezane su s kinetičkim konstantama koje reguliraju kretanje kontrasta kroz krv, bubrege i sabirne sustave. Te se informacije koriste za izračunavanje točne i sveobuhvatne procjene bubrežne funkcije i drenaže.<sup>6,7,9</sup>

Funkcionalna analiza MRU skeniranja zahtijeva vanjsku naknadnu obradu pomoću posebnog namjenskog softvera. Jedan od takvih besplatno dostupnih programa naziva se *CHOP-fMRU* (slika 2), koji je razvila bolnica *Children's Hospital of Philadelphia* (CHOP), a preduvjet za sveobuhvatnu analizu jest optimalno skeniranje.<sup>7,24,25</sup> Jedan od problema u rutinskoj primjeni specijaliziranih programa za funkcionalnu analizu MRU-a na odjelima dječje radiologije jest složenost programa kojim se podaci analiziraju, koja često zahtijeva prisutnost specijaliziranoga nemedicinskog stručnjaka, ali i vrijeme koje je potrebno za obradu podataka, što stvara potrebu za većim brojem osoblja.<sup>7,26,27</sup>

### Tehnika izvođenja funkcionalne MR urografije (fMRU)

Priprema pacijenta za fMRU podrazumijeva laganiju ishranu tri dana prije pretrage te pražnjenje crijeva pomoću laksativnog sredstva dan prije same pretrage. Na sam dan pretrage pacijent mora biti natašte i s obzirom da se najčešće radi o djeci koja su u najosjetljivijem periodu rasta i razvoja, preporuka je pretragu obaviti tijekom jutra. Pretraga se sastoji od statičkog i dinamičkog dijela, gdje se u dinamičkoj fazi pretrage koristi kontrastno sredstvo koje u kombinaciji s prethodnom intravenskom hidracijom Ringerovom otopinom i diuretikom (*furosemidom*) značajno povećava dijagnostičku kvalitetu pretrage. Kao kontrastno sredstvo koristimo gadolinij-DTPA u količini 0,1 ml/kg tjelesne težine i dobivene slike koristimo za analizu funkcije. Intravenska hidracija presudna je za smanjenje koncentracije kontrastnog sredstva u kanalnom sustavu bubrega te za optimalno širenje mokraćnog sustava, a istu svrhu ima i primjena *furosemda*, koja također služi i kao test naprežanja za uretrodjelni spoj.<sup>14,28</sup> Optimalno je da se pacijent skenira u ležećem položaju.<sup>29</sup>

Statički dio pretrage vrlo je važan jer nam na vrlo detaljan način prikazuje morfologiju bubrega, mokraćovoda, mokraćnog mjehura i ujedno nam služi kao hidrogram, prateći protok tekućine kroz mokraćni sustav. Dobivene slike pomno analiziramo, znajući anatomske odnose i poznavajući uredan izgled parenhima organa mokraćnog sustava. Za dinamički dio pretrage potreban nam je poseban program za obradu slika dobivenih tim dijelom pretrage, a od dostupnih programa dva su se pokazala kao najbolje rješenje. Riječ je o dvama besplatno dostupnim programima naziva *CHOP-fMRU* i *ImageJ*.

Nakon primjene intravenskoga kontrastnog sredstva, dinamički dio snimanja traje od 15 do 20 minuta s pauzama između snimanja, koristeći sekvencu 3D T1 komercijalnog imena *Volumetric Interpolated Breath-hold Examination* (VIBE – *Siemens*) s prilagođenim parametrima. Primjer rezultata funkcionalne analize



TABLICA 1. PRIMJER ANALITIČKIH REZULTATA FUNKCIJE MOKRAČNOG SUSTAVA IZ PROGRAMA CHOP-fMRU

TABLE 1. CASE OF ANALYTICAL RESULTS FROM CHOP-fMRU

	Desni bubreg Right kidney	Lijevi bubreg Left kidney
• CTT	2 min 19 s	2 min 33 s
• RTT	2 min 33 s	3 min 0 s
• TTP	2 min 19 s	2 min 46 s
• Volumen bubrega (mL) / Kidney volume (mL)	173,1 mL	244,8 mL
• Volumen parenhima (mL) / Parenchymal volume (mL)	35,82 mL	65,85 mL
• Vdrf	35,22%	64,77%
• pDRF	53,13%	46,86%
• vpDRF	38,14%	61,85%
• Razlika vDRF pDRF / Difference vDRF pDRF	17,90%	17,90%
• Patlak (mL/min)/mL	0,59240	0,52245
• BSA Patlak (mL/min)/mL	0,52467	0,46272

CTT – vrijeme potrebno da kontrast stigne do kaliksa / calyceal transit time; RTT – vrijeme potrebno da kontrast stigne do razine uretera ispod donjeg pola bubrega / renal transit time; TTP – vrijeme do maksimalnog intenziteta kontrasta u parenhimu bubrega / time-to-peak; volumen bubrega – 3D volumen parenhima, kaliksa i pijelona bubrega / 3-D volume of the renal parenchyma and pelvicalyces; volumen parenhima – 3D volumen parenhima bubrega bez kaliksa i pijelona / 3-D volume of the contrast-enhanced renal parenchyma excluding the calyces and pelvis; DRF (diferencijalna [separatna] funkcija bubrega) – funkcijski parametri koji uspoređuju jedan bubreg s drugim / same as split renal function and expressed for each kidney as percentage of the total; a) vDRF diferencijalna funkcija volumena / Volumetric differential renal function (vDRF): split renal function based on the enhancing renal parenchymal volumes converted into percentages out of 100%; b) pDRF diferencijalna funkcija Patlak brojeva – potencijalni indikator glomerularne stope filtracije, temelji se na metodi Patlak-Rutland / Patlak differential renal function (pDRF): split renal function based on the generated Patlak numbers, a potential indicator of the glomerular filtration rate (GFR); c) vpDRF (diferencijalna funkcija volumena i Patlak brojeva) – pokazatelj ukupne funkcije obaju bubrega, najvažniji funkcijski rezultat / Volumetric and Patlak differential renal function (vpDRF): split renal function based on both the enhancing renal parenchymal volumes and Patlak numbers. This has proved to be useful in the case of a small kidney with high Patlak number to assess its overall relative functional contribution; Patlak (mL/min)/mL; BSA Patlak (mL/min)/mL

mokračnog sustava tijekom fMRU-a nakon obrade uz pomoć programa CHOP-fMRU prikazan je u **tablici 1**.

Krivulje intenziteta – pokazuju intenzitet promjene signala kroz određeni vremenski period u aorti i parenhimu lijevog i desnog bubrega (**slika 3**). Krivulje izlučivanja – pokazuju promjenu u relativnom intenzitetu signala tijekom određenoga vremenskog perioda u pijelonima bubrega (**slika 4**). Graf Patlak – grafička analiza koja koristi linearnu regresiju da identificira i analizira tragove kontrasta.<sup>7</sup>

### Klinička primjena MRU i fMRU

MR urografija koristi se u dijagnostici relativno čestih abnormalnosti mokraćnog sustava (uključujući

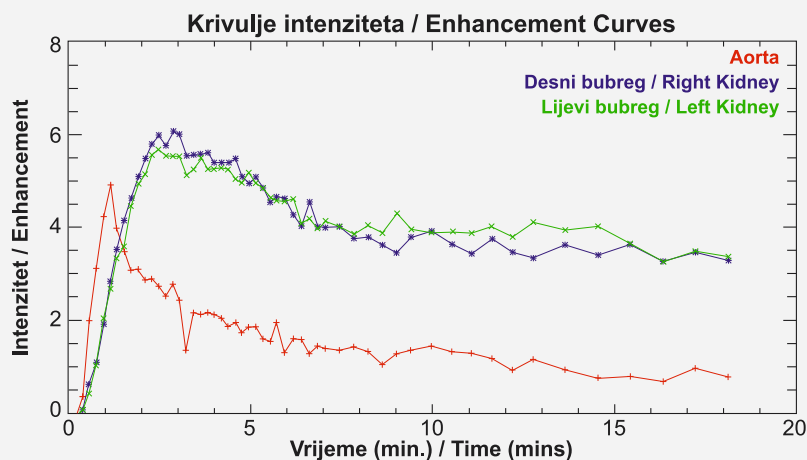
bubrege, mokraćni mjehur i uretere), prisutnosti hematurije, bubrežnih kamenaca, promjena mokraćnog mjehura, tumora mokraćnog sustava, karcinoma bubrega, mjehura ili mokraćnog sustava te drugih patoloških promjena.

Najčešće indikacije za primjenu MRU-a jesu sumnja na opstrukciju urinarnog trakta, planiranje operativnog zahvata, postoperativne komplikacije, detaljna procjena anatomije i anatomskih odnosa urogenitalnog sustava i bubrega te funkcijska procjena bubrega.<sup>16</sup> Funkcionalna magnetska urografija koristi se za izračun glomerularne filtracije (GF) pojedinog bubrega pomoću aplikacije paramagnetičkoga kontrastnog sredstva.<sup>30,31</sup> Iako se i danas kao metoda izbora za procjenu funkcije bubrega koristi renalna scintigrafija, danas sve više komparativnih studija pokazuje podudarne rezultate scintigrafije i fMRU-a u procjeni bubrežne funkcije.<sup>7,32–36</sup>

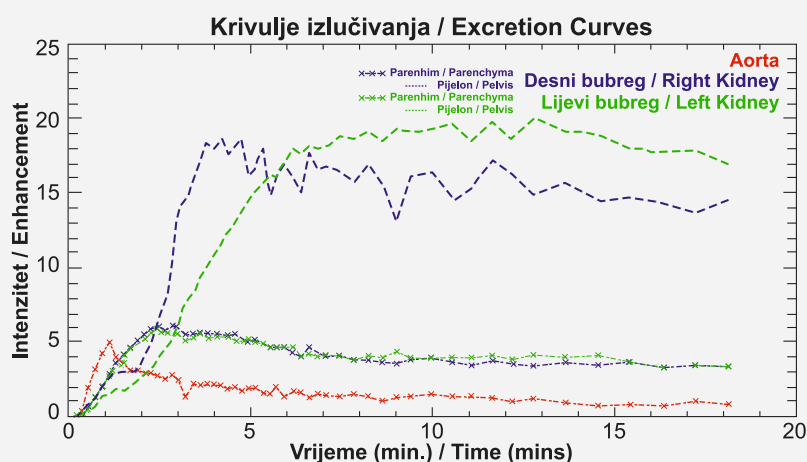
MR urografija najkorisnija je za djecu za koju konvencionalni testovi za snimanje poput UZV-a i cistoureterografije pružaju nedovoljne informacije za medicinsko i kirurško liječenje. Na primjer, anatomske strukture gornjega mokraćnog sustava može biti teško definirati u nedostatku dilatacije ili, obratno, kada postoji masivna hidroureteronefroza. Primjeri složenih anatomskih struktura mokraćnog sustava za koje je MR urografija korisna uključuju određene dvostruke mokraćne sustave (**slika 5**) i sumnje na ektopične uretere.<sup>19–23</sup> Također, u potkovastim bubrezima (**slika 6**) s opstrukcijom ureteropelvičnog spoja anatomske dio fMRU koristan je u demonstriranju morfologije i orijentacije bubrežne zdjelice te odnosa prema šupljina-ma protoka okolnih žila.<sup>37</sup>

Funkcionalni dio fMRU-a može pomoći u razlikovanju neopstruktivno proširene nakapnice i klinički relevantne opstrukcije UPJ-a. T2-ponderirane anatomske slike visoke razlučivosti, povezane s volumetrijskim slikama izlučivanja nakon kontrasta, mogu razgraničiti morfologiju mokraćnog sustava i otkriti točan broj i mjesto umetanja uretera ispunjenog kontrastom. Ovaj anatomske detalj presudan je ako se planira kirurški zahvat. Anomalije bubrežne fuzije složene su skupina urođenih anomalija bubrega i mokraćnog sustava. Iako mogu biti asimptomatske i slučajno otkrivene, često su udružene s komplikacijama, poput opstrukcije, vezikouretralnog refluksa, bubrežnih kamenaca, traume ili, rijetko, maligne bolesti.<sup>6</sup> Ograničeni anatomske podatci često dovode do pogrešne interpretacije nalaza scintigrafije (npr. neprepoznavanje dvostrukog bubrega ili netočan opis razine opstrukcije mokraćnog sustava). Ograničena vizualizacija anatomskih struktura također komplicira funkcionalnu procjenu zbog nemogućnosti razlikovanja bubrežnog parenhima ili kanalnog sustava od ostalih parenhimskih i krvožilnih struktura koje se nalaze u tom anatomske području.<sup>19</sup>

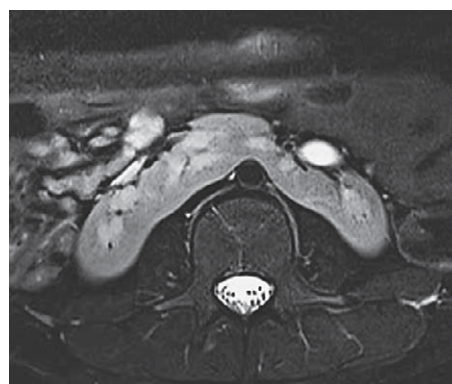
SLIKA 3. KRIVULJE INTENZITETA  
FIGURE 3. ENHANCEMENT CURVES



SLIKA 4. KRIVULJE IZLUČIVANJA  
FIGURE 4. EXCRETION CURVES



SLIKA 5. VRT (ENGL. VOLUME RENDERING TECHNIQUE):  
DUPLIKACIJA PIJELONA I URETERA LIJEVO (IZ VLASTITE ARHIVE)  
FIGURE 5. VRT (VOLUME RENDERING TECHNIQUE):  
DUPLICATION OF PELVIS AND URETER ON THE LEFT SIDE  
(AUTHOR'S ARCHIVE)



SLIKA 6. MRU: POTKOVASTI BUBREG  
(IZ VLASTITE ARHIVE)  
FIGURE 6. MRU: HORSESHOE KIDNEY  
(AUTHOR'S ARCHIVE)

Također, kod djece koja su prethodno podvrgnuta operaciji mokraćnog sustava MR urografija može se koristiti za procjenu kirurških anastomoza, na primjer

u kontekstu korektivne operacije opstrukcije ureteropelvičnog spoja i reimplantiranih uretera.<sup>19</sup>

### Zaključak

MR urografija (MRU) izuzetno je korisna slikovna dijagnostička metoda u pedijatrijskih pacijenata koja

nam omogućuje detaljnu morfološku procjenu bubrega te gornjih i donjih mokraćnih putova, pružajući jedinstvene informacije koje bi inače zahtijevale više drugih slikovnih dijagnostičkih pretraga. MR urografija pruža najcjelovitiju procjenu mokraćnog sustava kod djece, omogućujući detaljnu procjenu bubrežnog parenhima, kanalnog sustava bubrega, uretera i mokraćnog mjehura te pružajući statičke i dinamičke funkcionalne informacije. Kao takav, MRU može pridonijeti procjeni širokog spektra dječjih uroloških abnormalnosti. Uz smanjenje broja pretraga za dijete, ova tehnika omogućuje raniju i pravovremenu dijagnostiku abnormalnosti bubrega i mokraćnog sustava. Prednost je također što je pretraga bezbolna i neinvazivna. Bez upotrebe ionizirajućeg zračenja, dječja MR urografija uspješno prikazuje složenu anatomiju bubrega i mokraćnog sustava, kao i razne uzroke opstrukcije, što često pruža ključne informacije potrebne za planiranje operativnog zahvata. Iako se MRU trenutno koristi kao radiološka tehnika tek kada se konvencionalnim slikovnim metodama kao što su ultrazvuk, ceVUS, MCUG i scintigrafija bubrega ne uspiju dobiti potrebni podatci za kliničko odlučivanje,<sup>16</sup> fMRU se pokazao korisnim u otkrivanju različitih pridruženih anomalija kao što su ektopični ureteri, koji se ovom metodom mogu dijagnosticirati prije nego što postanu simptomatski i dovedu do oštećenja bubrežne funkcije.<sup>38</sup> Brojne studije su pokazale kako u odraslih tako i u pedijatrijskoj populaciji postoji sukladnost u primjeni kelata gadolinija kao markera za glomerularnu filtraciju i drugih već poznatih tehnika.<sup>30</sup> Prema sadašnjem kliničkom iskustvu, jasno je da nalazi dječje MR urografije izravno utječu na donošenje ispravnih kliničkih odluka za djecu s urološkim abnormalnostima, te uporaba ove slikovne pretrage može dovesti do poboljšanih ishoda za pacijenta.<sup>19</sup> U budućnosti, uporaba MRU-a može se povećati u procjeni djece s genitourinarnim anomalijama, posebno u složenih bolesnika kod kojih kliničari imaju specifična pitanja na koja treba odgovoriti. Potrebne su daljnje studije kako bi se istražile dodatne mogućnosti primjene MRU-a, posebno u pedijatrijskoj populaciji, uz neizostavnu edukaciju radiologa za ovu ipak tehnički zahtjevniju metodu koja će s vremenom imati sve veći prostor u dijagnostici, obradi i liječenju pedijatrijske populacije.

## INFORMACIJE O SUKOBU INTERESA

Autori nisu deklarirali sukob interesa relevantan za ovaj rad.

## INFORMACIJA O FINANCIRANJU

Za ovaj članak nisu primljena financijska sredstva.

## DOPRINOS AUTORA

KONCEPCIJA ILI NACRT RADA: GR, FM

PRIKUPLJANJE, ANALIZA I INTERPRETACIJA PODATAKA: GR, IP, TG, DB, ATB, ACR

PISANJE PRVE VERZIJE RADA: GR, FM

KRITIČKA REVIZIJA: GR, IP, TG, ATB, ACR

## LITERATURA

- Rodigas J, Kirsch H, John U, Seifert P, Winkens T, Stenzel M i sur. Static and Functional MR Urography to Assess Congenital Anomalies of the Kidney and Urinary Tract in Infants and Children: Comparison With MAG3 Renal Scintigraphy and Sonography. *Am J Roentgenol.* 2018;211(1):193–203.
- Yosypiv IV. Congenital anomalies of the kidney and urinary tract: a genetic disorder? *Int J Nephrol.* 2012;2012:909083.
- Queisser-Luft A, Stolz G, Wiesel A, Schlaefer K, Spranger J. Malformations in newborn: results based on 30,940 infants and fetuses from the Mainz congenital birth defect monitoring system (1990–1998). *Arch Gynecol Obstetr.* 2002;266(3):163–7.
- Wong MCY, Piaggio G, Damasio MB, Molinelli C, Ferretti SM, Pistorio A i sur. Hydronephrosis and crossing vessels in children: Optimization of diagnostic-therapeutic pathway and analysis of color Doppler ultrasound and magnetic resonance urography diagnostic accuracy. *J Pediatr Urol.* 2018b;14(1):68.e1–68.e6.
- ‘t Hoen LA, Bogaert G, Radmayr C, Dogan HS, Nijman RJM, Quaedackers J i sur. Update of the EAU/ESPU guidelines on urinary tract infections in children. *J Pediatr Urol.* 2021;17(2):200–207.
- Chan SS, Ntoulia A, Khrichenko D, Back SJ, Tasian GE, Dillman JR i sur. Role of magnetic resonance urography in pediatric renal fusion anomalies. *Pediatr Radiol.* 2017;47(13):1707–20.
- Khrichenko D, Darge K. Functional analysis in MR urography – Made simple. *Pediatr Radiol.* 2010;40(2):182–99.
- Darge K, Anupindi SA, Jaramillo D. MR Imaging of the Abdomen and Pelvis in Infants, Children, and Adolescents. *Radiology.* 2011;261(1):12–29.
- Darge K, Higgins M, Hwang TJ, Delgado J, Shukla A, Bellah R. Magnetic resonance and computed tomography in pediatric urology: an imaging overview for current and future daily practice. *Radiol Clin North Am.* 2013;51(4):583–98.
- Smith T, Gordon I, Kelly JP. Comparison of radiation dose from intravenous urography and 99Tcm DMSA scintigraphy in children. *Br J Radiol.* 1998;71(843):314–9.
- Vegar-Zubovic S, Kristic S, Lincender L. Magnetic resonance urography in children – when and why? *Radiol Oncol.* 2011;45(3):174–9.
- Rohrschneider WK, Becker K, Hoffend J, Clorius JH, Darge K, Kooijman H i sur. Combined static-dynamic MR urography for the simultaneous evaluation of morphology and function in urinary tract obstruction. II. Findings in experimentally induced ureteric stenosis. *Pediatr Radiol.* 2000;30(8):523–32.
- Gyls-Morin VM, Minevich E, Tackett LD, Reichard E, Wacksmann J, Sheldon CA. Magnetic resonance imaging of the dysplastic renal moiety and ectopic ureter. *J Urol.* 2000;164(6):2034–9.
- McMann LP, Kirsch AJ, Scherz HC, Smith EA, Jones RA, Shehata BM i sur. Magnetic resonance urography in the evaluation of prenatally diagnosed hydronephrosis and renal dysgenesis. *J Urol.* 2006;176(4 Pt 2):1786–92.

15. *Adeb M, Darge K, Dillman JR, Carr M, Epelman M.* Magnetic resonance urography in evaluation of duplicated renal collecting systems. *Magn Reson Imag Clin N Am.* 2013;21(4):717–30.
16. *Rohrschneider WK, Hoffend J, Becker K, Clorius JH, Darge K, Kooijman H i sur.* Combined static-dynamic MR urography for the simultaneous evaluation of morphology and function in urinary tract obstruction. I. Evaluation of the normal status in an animal model. *Pediatr Radiol.* 2000;30(8):511–22.
17. *Grattan-Smith JD, Little SB, Jones RA.* MR urography in children: how we do it. *Pediatr Radiol.* 2008;38 Suppl 1:S3–17.
18. *Vivier PH, Blondiaux E, Dolores M, Marouteau-Pasquier N, Brasseur M, Petitjean C i sur.* Uro-IRM fonctionnelle chez l'enfant [Functional MR urography in children]. *J Radiol.* 2009;90(1 Pt 1):11–9. French.
19. *Morin CE, McBee MP, Trout AT, Reddy PP, Dillman JR.* Use of MR Urography in Pediatric Patients. *Curr Urol Rep.* 2018;19(11):93.
20. *Wille S, von Knobloch R, Klose KJ, Heidenreich A, Hofmann R.* Magnetic resonance urography in pediatric urology. *Scand J Urol Nephrol.* 2003;37(1):16–21.
21. *Grattan-Smith JD, Jones RA.* MR urography in children. *Pediatr Radiol.* 2006;36(11):1119–32; quiz 1228–9.
22. *Dickerson EC, Dillman JR, Smith EA, DiPietro MA, Lebowitz RL, Darge K.* Pediatric MR Urography: Indications, Techniques, and Approach to Review. *Radiographics.* 2015;35(4):1208–30.
23. *Riccabona M, Riccabona M, Koen M, Beckers G, Schindler M, Heinisch M i sur.* Magnetic resonance urography: a new gold standard for the evaluation of solitary kidneys and renal buds? *J Urol.* 2004;171(4):1642–6.
24. *Leyendecker JR, Barnes CE, Zagoria RJ.* MR urography: techniques and clinical applications. *Radiographics.* 2008;28(1):23–46; discussion 46–7.
25. *Bobinec D.* Pediatric MR urography: Indications, techniques and role in uroradiology. *Paediatr Today.* 2016;12(2):179–83.
26. *van Rijn RR, Owens CM, Avni F, Bramson RT, Taylor GA.* The future of pediatric radiology: a European point of view. *Radiology.* 2006;238(3):1074; author reply 1074–5.
27. *Merewitz L, Sunshine JH.* A portrait of pediatric radiologists in the United States. *Am J Roentgenol.* 2006;186(1):12–22.
28. *Grattan-Smith JD, Perez-Bayfield MR, Jones RA, Little S, Broecker B, Smith EA i sur.* MR imaging of kidneys: functional evaluation using F-15 perfusion imaging. *Pediatr Radiol.* 2003;33(5):293–304.
29. *Viteri B, Calle-Toro JS, Ballester L, Darge K, Furth S, Khrichenko D i sur.* Potential benefits of functional magnetic resonance urography (fMRU) over MAG3 renal scan in children with obstructive uropathy. *J Pediatr Urol.* 2021;17(5):659.e1–659.e7. doi: 10.1016/j.jpuro.2021.07.005.
30. *Zhang JL, Morrell G, Rusinek H, Sigmund EE, Chandarana H, Lerman LO i sur.* New magnetic resonance imaging methods in nephrology. *Kidney Int.* 2014;85(4):768–78. [Internet].
31. *Bokacheva L, Rusinek H, Chen Q, Oesingmann N, Prince C, Kaur M i sur.* Quantitative determination of Gd-DTPA concentration in T1-weighted MR renography studies. *Magn Reson Med.* 2007;57(6):1012–8.
32. *Hadjidekov G, Hadjidekova S, Tonchev Z, Bakalova R, Aoki I.* Assessing renal function in children with hydronephrosis – additional feature of MR urography. *Radiol Oncol.* 2011;45(4):248–58.
33. *Karaveli M, Katsanidis D, Kalaitzoglou I, Haritanti A, Sioundas A, Dimitriadis A i sur.* MR urography: Anatomical and quantitative information on congenital malformations in children. *Niger Med J.* 2013;54(2):136–42.
34. *Rohrschneider WK, Haufe S, Wiesel M, Tönshoff B, Wunsch R, Darge K i sur.* Functional and morphologic evaluation of congenital urinary tract dilatation by using combined static-dynamic MR urography: findings in kidneys with a single collecting system. *Radiology.* 2002;224(3):683–94.
35. *Sanavi C, Dacher JN, Caudron J, Dolores M, Liard A, Vivier PH.* Supranormal differential renal function in unilateral hydronephrotic kidney: insights from functional MR urography. *J Magn Reson Imag.* 2014;40(3):577–82.
36. *Perez-Brayfield MR, Kirsch AJ, Jones RA, Grattan-Smith JD.* A prospective study comparing ultrasound, nuclear scintigraphy and dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging in the evaluation of hydronephrosis. *J Urol.* 2003;170(4 Pt 1):1330–4.
37. *O'Brien J, Buckley O, Doody O, Ward E, Persaud T, Torreggiani W.* Imaging of horseshoe kidneys and their complications. *J Med Imag Radiat Oncol.* 2008;52(3):216–26.
38. *Calle-Toro JS, Maya CL, Emad-Eldin S, Adeb MD, Back SJ, Darge K i sur.* Morphologic and functional evaluation of duplicated renal collecting systems with MR urography: A descriptive analysis. *Clin Imag.* 2019;57:69–76.