

Kassa Darge / Dmitry Khrichenko

MR-UROGRAPHIE [MRU]: umfassende morphologische und funktionelle Beurteilung des kindlichen Harntraktes

Zu einer kompletten MRU-Untersuchung gehören (1) eine Nativuntersuchung zur Darstellung der Morphologie und (2) eine dynamische Kontrastmittelseerie, welche primär die Funktion erfasst, aber auch Informationen über das Parenchym und die Gefäßversorgung ermöglicht. Nicht-dynamische Post-Kontrastserien können weitere morphologische Informationen enthalten, aber nur noch begrenzte Information bzgl. der Nierenfunktion. Eine MRU-Studie kann auf die spezifische Fragestellung der Untersuchung angepasst werden. Bei manchen Fragestellungen genügt bereits eine Nativuntersuchung. Eine funktionelle Kontrastmittelstudie sollte stets durch eine morphologische Vor-Kontraststudie ergänzt werden – nur so kann man die Ergebnisse der Funktionsuntersuchung sinnvoll interpretieren. Der MRU von Kindern sollte auch eine Ultraschalluntersuchung des Harntraktes und/oder auch eine Refluxprüfung (VUR) vorangehen, um darauf aufbauend zu entscheiden, ob das Kind lediglich eine morphologische oder auch eine funktionelle MR-Untersuchung benötigt und auch den Untersuchungsvorgang fokussieren zu können.

Die wichtigsten Indikationen für eine morphologische Untersuchung der Nieren und ableitenden Harnwege ist der Verdacht auf einen ektop mündenden Ureter mit oder ohne Doppelanlage oder auch andere komplexe angeborene Fehlbildungen wie z.B. gekreuzte Ektopie oder zystische Nierenerkrankungen.

Die funktionelle Untersuchung erfolgt bei Verdacht auf Harnstauungsstörungen im Zusammenhang mit Erweiterung des Nierenbeckenkelchsystems und/oder der Ureteren. Die MRU kommt auch bei Zn. nach Pyelonephritis sowie Transplantatnieren zum Einsatz.

Vorbereitung:

Eine Nativ-MRU kann, wenn nötig, ohne jegliche Vorbereitung des Kindes durchgeführt werden. Je-

doch erfordert die Funktions-MRU Hydrierung, Katheterisierung sowie Furosemidgabe.

Hydrierung:

Über eine Zeit von 30 bis 40 min vor der MRT-Untersuchung werden physiologische Kochsalzlösung oder Ringer-Lösung infundiert (Dosis: 20ml/kg). Dies führt zu einer Erniedrigung der Gadoliniumkonzentration im Nierenbecken und mindert so den T2*-Effekt. Dies Vorgehen verbessert zudem die Darstellung des Nierenbeckenkelchsystems und der Ureteren und schafft eine optimale Grundlage für die spätere Furosemidgabe. Nicht sedierte Patienten, speziell diejenigen, die nur ein Nativ-MRU erhalten sollen, können oral hydriert werden.

Katheterisierung der Harnblase:

Die Hydrierung und erst recht die Furosemid-Gabe führt zu einer schnellen Blasenfüllung. Eine volle Blase kann zum Unwohlsein führen und eine Unterbrechung der Untersuchung bewirken. Die volle Blase kann als funktionelles Hindernis wirken und über den erhöhten Innendruck die Ausscheidung des Kontrastmittels aus dem Nierenbeckenkelchsystem beeinträchtigen. Bei Patienten mit hochgradigem VUR können ähnliche Effekte bezüglich der Ausscheidungskurven beobachtet werden. Bei tiefer Sedierung sollte daher ein Blasenkatheter gelegt werden; dies gilt auch für Patienten mit Megaureter und/oder hochgradigem VUR.

Furosemid (Lasix®)-Gabe:

Alle Kinder, bei denen ein funktio-

Sequenzen für die MR-Urographie (MRU)

Abdomen und Becken:

- T2-wichtende TSE mit Fettsuppression: axial and coronal
- 3D T2-wichtende TSE (SPACE): coronal
- Post i.V.-Kontrastmittelserie, dynamische Serie, 3D T1-wichtende Gradientenechosequenz mit Fettsuppression (VIBE): coronal
- Post i.V.-Kontrastmittelserie, 3D T1-wichtende Gradientenechosequenz mit Fettsuppression (VIBE): sagittal
- Post i.V.-Kontrastmittelserie, Spätaufnahmen, 3D T1-wichtende Gradientenechosequenz mit Fettsuppression (VIBE): coronal

nelles MRU durchgeführt wird, sollten Furosemid intravenös erhalten. Es beschleunigt den Urinfluß und ist notwendig, um die exkretorische Funktion der Niere unter Diurese festzustellen. Der schnellere Washout des Kontrastmittels verkürzt die MRT-Untersuchung. Furosemid wird intravenös verabreicht in einer Dosis von 1mg/kg (max. 20mg). Wir benutzen die F-15-Methode, d.h. Furosemid wird 15 min vor der Kontrastmittelapplikation verabreicht.

Scan:

Derzeit benutzen wir für die MRU-Untersuchungen ausschließlich die 1.5T-Scanner. Die spezifische Absorptionsrate (SAR) bei 3T-Scannern kann ein limitierender Faktor für lange dynamische Post-Kontrastmittelserien sein. Die Patienten werden zu Beginn einer Untersuchung in Rückenlage untersucht. Falls ein Ureter zum Ende

der Post-Kontrastmittelserie nicht dargestellt wurde, muß der Patient ggf. in Bauchlage weiter untersucht werden.

Untersuchungsebene und Field of View (FOV):

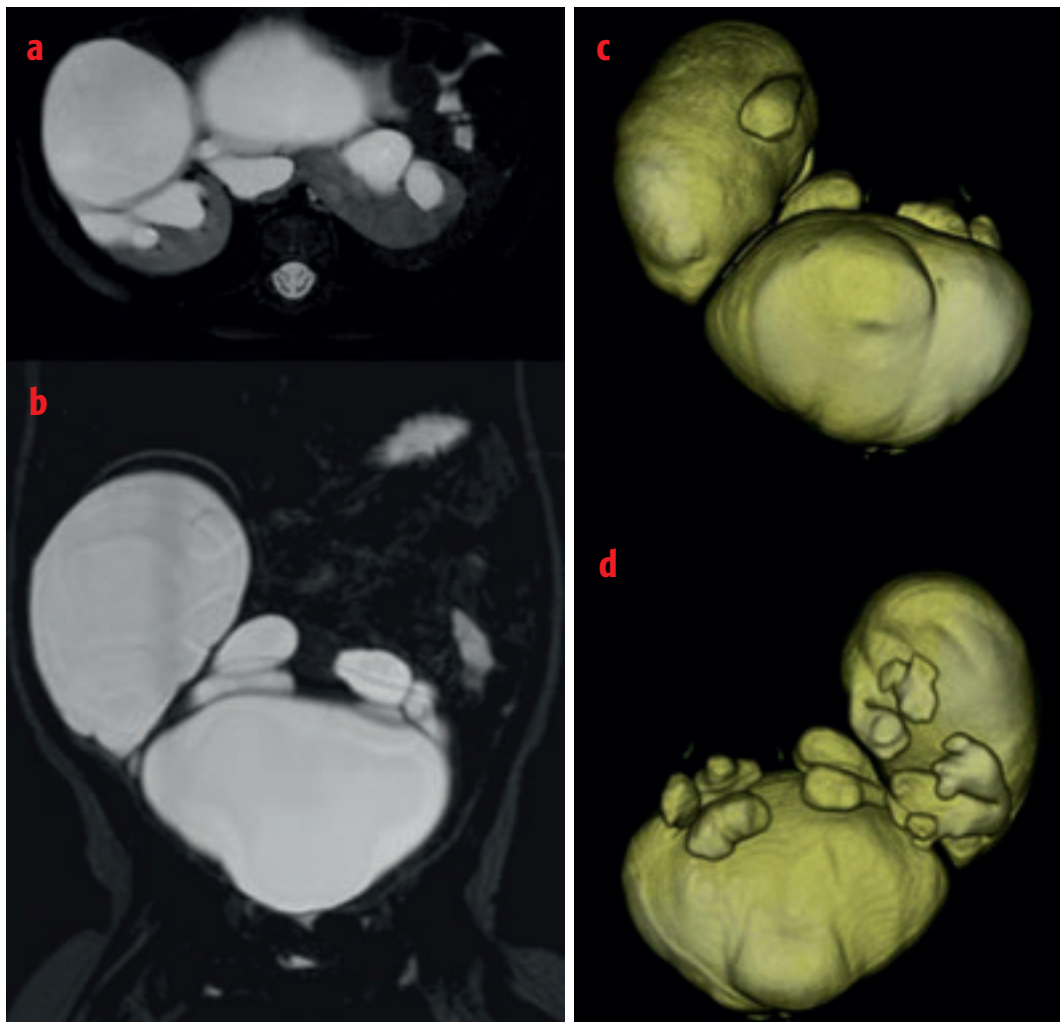
Die coronale Untersuchungsebene wird auf der sagittalen Übersichtsebene geplant und erfaßt die Aorta, beide Nieren und die Harnblase. Die obere Begrenzung des FOV liegt oberhalb der Zwerchfellhälften und die untere in Höhe der Symphyse. Des Weiteren wird das FOV so gewählt, daß zwischen Nieren und Untersuchungsblockgrenze jeweils noch mindestens drei weitere Schichten nach anterior sowie posterior gegeben sind. Diese Vorgehensweise hilft, die Einheitlichkeit des Schichtprofils und somit auch den Flipwinkel innerhalb der interessierenden Untersuchungsregion beizubehalten.

Sequenzen (Tabelle):

Diese können der speziellen Fragestellung angepaßt werden. Die Verwendung einer Sequenz mit Bewegungskorrekturmöglichkeit wie BLADE hat sich als sehr nützlich erwiesen. Die wesentliche Native Serie ist das 3D-Urogramm, eine T2-wichtende 3D-Sequenz mit Fettsuppression (SPACE).

Eine Maximum-Intensity-Projektion (MIP) und eine 3D-Rekonstruktion ermöglichen eine Panoramaübersicht über den Harntrakt unter verschiedenen Blickwinkeln; dies vereinfacht die Interpretation komplexer anatomischer Zusammenhänge. Eine einzelne Test-Sequenz der nachfolgenden dynamischen Serie wird ohne Kontrastmittelgabe durchgeführt, um sicherzustellen, daß die Ebene und das FOV richtig gewählt sind und keine Artefakte auftreten. Danach erfolgt die intravenöse Kontrastmittelgabe, in unserem Fall Gadolinium-DTPA mit einer Dosis von 0.2 ml/kg (0.1 mmol/kg). Das Kontrastmittel wird mit langsamer Flussgeschwindigkeit injiziert.

Die dynamische Kontrastmittelserie ist eine coronale T1-wichtende 3D-Gradientenechosequenz mit Fettsuppression (VIBE). Der Flipwinkel für 1.5T-Scanner (Siemens®) wird auf 30° gesetzt. Der Flipwinkel muß für andere Scanner möglicherweise angepasst werden, um ein lineares Verhältnis zwischen Kontrastmit-



■ *Abb. 1 a/b: Gekreuzte Ektopie bei Verschmelzungsniere mit zweigeteiltem Nierenbecken und Obstruktion am pelvoureteralen Übergang. Axiale (a) und coronale (b) T2-wichtende Aufnahmen zeigen den pathologischen Befund nicht so deutlich wie die MIP-Rekonstruktionen (c, d).*

telkonzentration und Signalintensität zu gewährleisten. Unsere dynamische Kontrastmittelserie besteht aus 54 Phasen (Bildstapeln) mit Bildern des gesamten Harntraktes, jede Phase enthält 32 einzelne Bilder. Eine Phase dauert ungefähr 8 s mit einer Pause zwischen den Phasen und einer Gesamtlaufzeit

von 15 Minuten. Am Ende der dynamischen Untersuchungsserie wird automatisch eine Bildschleife von allen Stacks angefertigt. Einzelne Kontrastmittel-Spätphasen in einem Bildstapel können am Ende der Untersuchung in Rücken- oder Bauchlage angefertigt werden.

Post-Processing:

Die Bildnachbearbeitung erstreckt sich sowohl auf den morphologischen als auch den funktionellen Anteil der Untersuchung. Meistens benötigt man spezielle Workstations und Bildbearbeitungssoftware. Wir benutzen eine eigens speziell erstellte Software zur Funktions-



■ *Abb. 2: Eindeutige Darstellung eines ektopen Harnleiters (Pfeil) mit Einmündung in die Vagina. Die Aufnahme entstand als MIP-Rekonstruktion aus der T2-wichtigen 3D-Sequenz. Die dazugehörige Niere entspricht einer Doppelnieren, wobei der ektopy Harnleiter zur oberen Einheit gehört.*

analyse (www.CHOP-fMRU.com). Diese Software kann man kostenfrei herunterladen. Eine 3D-MIP aus den flüssigkeitshaltigen und kontrastierten Anteilen des Nierenbeckenkelchsystems, der Ureteren und der Harnblase verbessert die Darstellung von komplexen Harntraktanomalien. Eine detaillierte Beschreibung dieser Software und der Bildauswertung damit ist unter

www.CHOP-fMRU.com verfügbar. Elf verschiedene Parameter wie weiter unten beschrieben werden analysiert und Kontrastmittelaufnahme- und -ausscheidungskurven werden erzeugt.

Interpretation:

Die Interpretation einer Funktionsanalyse ohne Einbeziehung der morphologischen Befunde kann in die Irre führen. Die wesentlichen Parameter einer Funktionsanalyse werden im Folgenden beschrieben. Die Kelch-Transit-Time (CTT) ist die Zeit, die das Kontrastmittel benötigt, um in den Kelchen zu erscheinen. Unsere spezifische Software setzt den Startpunkt der Analyse in die Aorta.

Derzeit gibt es keine festgelegten Grenzwerte für die CTT-Werte. Unter den möglichen Ursachen für ein verzögertes Auftreten des Kontrastmittels in den Kelchen sind einseitige Nierenarterienstenose, Nierenparenchymerkrankung, Obstruktion des Nierenbeckenkelchsystems oder kontralaterale Hyperfiltration zu nennen.

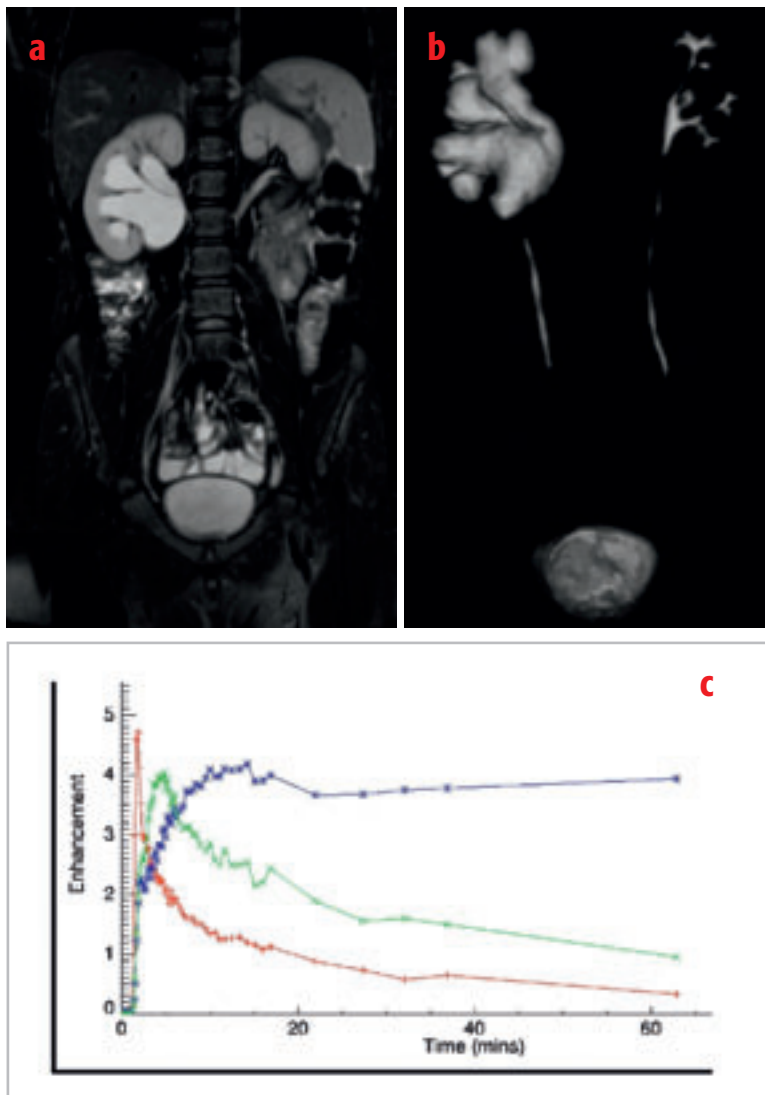
Die renale Transitzeit (RTT) ist die Zeit, die vergeht, bis das Kontrastmittel im proximalen Ureter in Höhe des unteren Nierenpols, erscheint. Bezüglich der RTT beginnen die Messungen auch in dem Moment, wenn das Kontrastmittel die Aorta erreicht. Eine signifikante Aufweitung des Nierenbeckenkelchsystems und/oder eine Harnleiterabgangsenge ist eine offensichtliche Ursache für eine Verlängerung der RTT. Wenn der Patient in Rückenlage liegt, sedimentiert das Kontrastmittel in dem abhängigen Anteil des dilatierten Nierenbeckens. Je weiter anterior der ureteropelvine Übergang liegt, desto länger kann es dauern, bis das Kontrastmittel den Ureter erreicht. Diese mechanische Besonderheit kann überwunden werden, indem der Patient in Bauchlage gelagert wird und sich der Ureter so umgehend mit Kontrastmittel füllt. Natürlich resultiert bei allen Fällen mit einer verzögerten CTT auch eine Verlängerung der RTT. Die seitengetrennte Nierenfunktion kann auf drei verschiedene Parameter zurückgeführt werden. Der am meisten benutzte basiert auf segmentierten Volumina des kontrastierten Nierenparenchyms.

Diese volumetrische seitengetrennte Nierenfunktion (vDRF) gibt den Anteil von funktionsfähigem Nierenparenchym an. Mit der Patlak-Formel erzeugt man dann sog. Patlak-Zahlen, die als ein Index für

die glomeruläre Filtrationsrate (GFR) dienen. Die absoluten Zahlen können nicht direkt verwendet werden, werden jedoch benutzt, um das Verhältnis der Funktion beider Nieren zu beschreiben im Sinne der seitengetrennten Nierenfunktion nach Patlak (pDRF).

Die pDRF ergibt Werte für die Nierenfunktion pro Parenchymeinheit, ohne das Gesamtvolumen der Nieren mit einzubeziehen; klinisch ist es allerdings von größerer Bedeutung, den Funktionsanteil einer ganzen Niere an der gesamten Nierenfunktion zu kennen. Um dies zu erreichen, benutzen wir die volumetrische Patlak DRF (vpDRF), welche sowohl das Parenchymvolumen beider Nieren als auch den jeweiligen Funktionsanteil beinhaltet und somit eine Relation der Funktion beider Nieren angibt. Die Enhancementkurve beschreibt das Muster der Kontrastmittelausscheidung während der dynamischen Untersuchungsreihe.

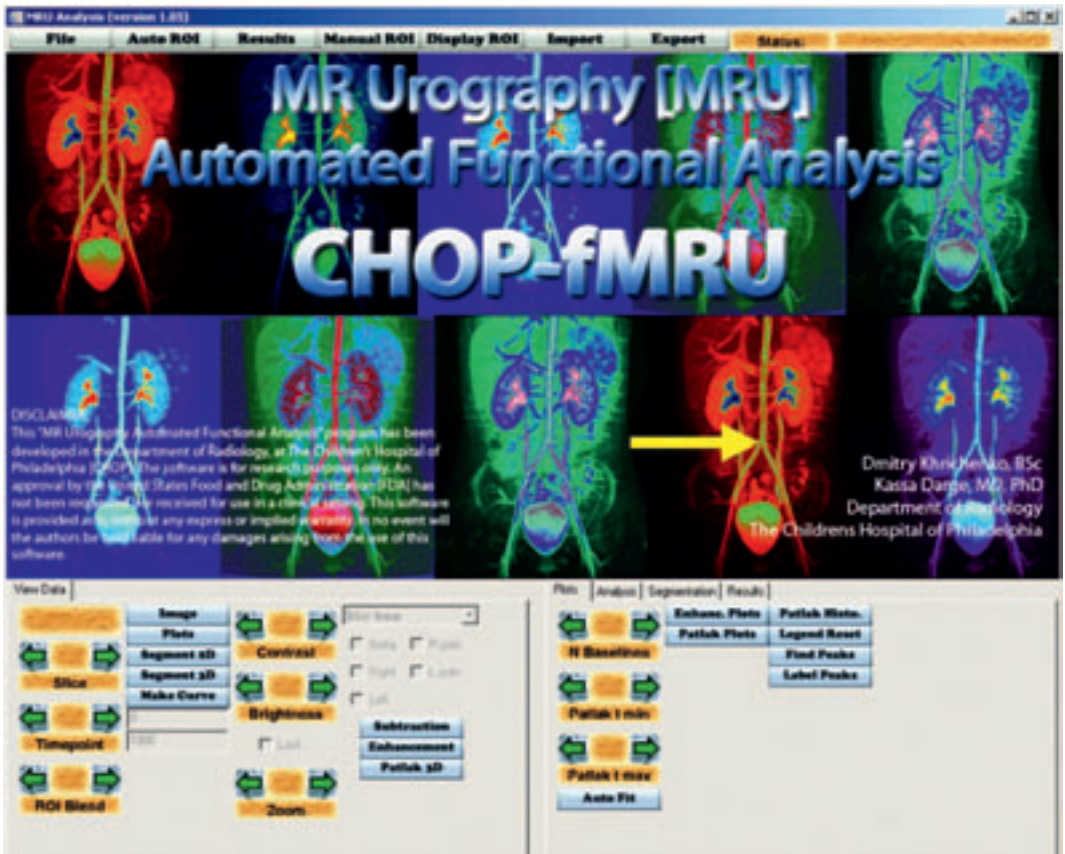
Die Ausscheidungskurve beschreibt selektiv dieses Muster im kontrastmittelangereicherten Anteil des Nierenbeckenkelchsystems. Anders als bei szintigraphischen Untersuchungen, bei denen gleichzeitig



■ Abb. 3: Nierenbeckenkelcherweiterung rechts, dargestellt mittels einer coronalen T2-wichtigen Sequenz (a) und in der Maximum-Intensity Projektion (b). Die Enhancementkurve(c), welche die Parenchymkontrastierung wiedergibt, fällt rechts im Gegensatz zur linken Seite nicht ab. Dies deutet auf eine subpelvine Obstruktion rechts hin.

Daten für das Parenchym und das Nierenbeckenkelchsystem erfasst werden, erlauben aus der MRU erhaltenen Kurven eine selektive Beschreibung der Kontrastmittelausscheidung im Nierenbecken-

kelchsystem. Eine schlussendliche Beurteilung der funktionellen Analyse sollte alle erhaltenen Werte sowie die morphologische Information in Betracht ziehen.



■ Abb. 4: Die kostenfrei im Internet verfügbare Software für die Nierenfunktionsanalyse mittels MRU ist besonders anwenderfreundlich. Sie kann von der Webseite www.chop-fmru.com heruntergeladen werden.

Wichtige Literaturangaben:

- 1. Grattan-Smith JD, Little SB, Jones RA. MR urography in children: how we do it. *Pediatr Radiol* 2008;38 Suppl 1:S3-S17.
- 2. Khrichenko D, Darge K. Functional analysis in MR urography - made simple. *Pediatr Radiol* 2010;40:182-199.
- 3. Rohrschneider WK, Haufe S, Wiesel M, et al. 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;224:683-694.

- 4. Vivier PH, Dolores M, Taylor M, Elbaz F, Liard A, Dacher JN. MR urography in children. Part 1: How we do the FO technique. *Pediatr Radiol* 2010;40:732-738.
- 5. Riccabona M, Avni FE, Dacher JN, et al. ESPR urology task force and ESUR paediatric working group. ESPR urology task force and ESUR paediatric working group: imaging and procedural recommendations in paediatric urology, part III. Minutes of the ESPR urology task force minisymposium on intravenous urography, uro-CT and MR-urography in childhood. *Pediatr Radiol* 2010;40:1315-1320.

▶ Prof. Dr. med. Kassa Darge
 Professor of Radiology,
 University of Pennsylvania
 School of Medicine
 Chief, Division of Body Imaging
 Department of Radiology,
 ▶ Dmitry Khrichenko, BSc
 Department of Radiology,
 The Children's Hospital of
 Philadelphia (CHOP)
 34th Street & Civic Center
 Boulevard
 PHILADELPHIA, PA 19104, USA