

DGN-Handlungsempfehlung (S1-Leitlinie)
[^{99m}Tc]Tc-DMSA-Szintigraphie bei Kindern
Stand: 11/2022 – AWMF-Registernummer: 031-025

Autoren

J. Rogasch

Klinik für Nuklearmedizin, Charité-Universitätsmedizin Berlin

C. Franzius

Zentrum für Nuklearmedizin und PET/CT; Zentrum für moderne Diagnostik (ZeMoDi), Bremen

U. Gärtner

Nuklearmedizinische Therapiestation, Klinikum Bremen-Mitte, Bremen

M. Freesmeyer

Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Jena

M. Miederer

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universitätsmedizin Mainz

M. Schreckenberger

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universitätsmedizin Mainz

T. Pfluger

Klinik für Nuklearmedizin, LMU München

Herausgeber

Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin

Nikolaistraße 29

37073 Göttingen

Tel.: +49 (0)551 48857-401

Fax: +49 (0)551 48857-401

E-Mail: office@nuklearmedizin.de

Weitere Beteiligte

Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V.

Gesellschaft für Pädiatrische Nephrologie e.V.

I. Zielsetzung

Zweck dieser Empfehlung ist es, dem nuklearmedizinischen Team bei [^{99m}Tc]Tc-DMSA-Szintigraphien Hilfestellung für die tägliche Routine zu geben. Die Empfehlung enthält Informationen über Indikationen, Aufnahmeparameter, Auswertung und Interpretation der DMSA-Szintigraphie mit einem inhaltlichen Fokus auf Untersuchungen bei Kindern, da die DMSA-Szintigraphie in dieser Altersgruppe die weitaus häufigste Anwendung findet.

Die initiale Version dieser Empfehlung wurde auch teilweise durch die entsprechende Leitlinie der amerikanischen Society of Nuclear Medicine beeinflusst [1, 2]. Zudem wurde sie stark geprägt durch eine internationale Konsensuskonferenz zur Szintigraphie des Nierenparenchyms, die anlässlich der internationalen „Conference of Radionuclides in Nephro-Urology“ 1998 stattfand [3]. Die vorliegende Empfehlung ist die überarbeitete deutsche Version der EANM Empfehlungen, die die Meinung des Paediatric Committee der EANM zusammenfassen und daher mehr auf die europäische Vorgehensweise ausgerichtet sind [4]. Die zumindest historisch bestehenden deutschen diagnostischen Referenzwerte für die [^{99m}Tc]Tc-DMSA-Szintigraphie wurden bei den empfohlenen Aktivitäten in dieser Leitlinie berücksichtigt [5]. Die Empfehlungen sollten immer in Zusammenhang mit lokalen Qualitätsstandards und Vorschriften gesehen werden.

II. Klinische Indikationen

A. Indikationen

Nachweis von fokalen Nierenparenchymveränderungen

- Beurteilung des renalen Folgezustandes, ≥6-12 Monate nach akuter Entzündung
- Nachweis einer akuten Pyelonephritis
- Nachweis der Parenchymfunktion bei strukturellen Anomalien ^(*1) Nachweis von Normvarianten: atypische Doppelnieren, kleine Niere, dysplastische Niere, Hufeisenniere, Wanderniere
- Nachweis von ektopen Nieren

Abschätzung der parenchymalen Nierenfunktion ^(*2)

- Bestätigung des funktionstüchtigen Nierenparenchyms bei multizystischen Nieren
- Überprüfung der Nierenfunktion vor abdominalen Operationen, abdominalen Strahlentherapie und Nieren(teil)resektionen
- Entscheidungsfindung, ob ein rekonstruktives Operationsverfahren (z.B. Pyeloplastik) oder eine Resektion des betroffenen Nierenanteils erfolgen soll: Bei einem Funktionsanteil von weniger als 10% an der Gesamtfunktion wird in aller Regel der Resektion des entsprechenden Nierenanteils der Vorzug gegeben.

*(*1) Der reine Nachweis struktureller Anomalien ist angesichts des Fortschritts der Ultraschall- und Schnittbilddiagnostik (v.a. Magnetresonanztomographie [MRT]) heutzutage als historisch zu betrachten. Zur Bestimmung des Funktionsanteils der strukturell abnormalen Nierenanteile ist die DMSA-Szintigraphie jedoch nach wie vor von großer Bedeutung, insbesondere zur Wahl des adäquaten Operationsverfahrens.*

*(*2) Die DMSA-Szintigraphie gilt als Referenzstandard für die Bestimmung der seitengetrenten Funktion. Häufig ist heutzutage jedoch die Nierenfunktionsszintigraphie mit [^{99m}Tc]Tc-MAG3 klinischer Standard (kürzere Untersuchungszeit, gleichzeitige Aussagekraft über die Abflussverhältnisse;*

siehe entsprechende Leitlinie). Die Korrelation der prozentualen Funktionsanteile mit beiden Methoden beträgt bei Kindern und Erwachsenen, einschließlich Nieren mit pathologischen Seitenanteilen, 0,97-0,99 [6-8]. In 10-15% der Fälle werden jedoch Abweichungen der Seitenfunktionsanteile von >5% beobachtet [9-12]. Bei Bair et al. traten solche Abweichungen gehäuft bei übergewichtigen Patienten oder Lageanomalien der Nieren auf [7]. Für die Bestimmung der glomerulären Filtrationsrate (GFR) sind exogene Substanzen wie [^{99m}Tc]Tc-DTPA oder [⁵¹Cr]Cr-EDTA klinischer Standard.

B. Kontraindikationen (relativ)

Schwangerschaft

III. Hintergrundinformation und klinische Bedeutung

A. Akute Pyelonephritis

Wesentliche Indikation zur Durchführung einer DMSA-Szintigraphie ist der Nachweis oder Ausschluss von entzündlich bedingten Nierenparenchymdefekten als Folge einer Pyelonephritis. Die klinische Bedeutung der DMSA-Szintigraphie in der Diagnostik der akuten Pyelonephritis wird hingegen uneinheitlich bewertet, und die internationalen urologischen Fachgesellschaften sehen aktuell keinen generellen Stellenwert in der Akutdiagnostik eines fieberhaften Harnwegsinfekts im Kindesalter, insbesondere bei unkompliziertem Verlauf und gutem Ansprechen auf die antibiotische Therapie [13, 14].

Die Literatur im Detail:

. In der Abgrenzung einer akuten Pyelonephritis gegenüber einem unteren Harnwegsinfekt sind klinische Kriterien relativ unzuverlässig, insbesondere die Spezifität ist mit 40-60% gering [15-17]. Auch die Ultraschalldiagnostik, im B-Bild oder mit Doppler, ist in der Diagnosestellung einer akuten Pyelonephritis unzureichend sensitiv, mit Berichten meist zwischen 30-80% [18-25].

Tierexperimentelle Studien haben gezeigt, dass die DMSA-Szintigraphie sehr empfindlich sowohl akute als auch chronisch-entzündliche Veränderungen im Nierenparenchym nachweisen kann [18, 26-29]. Die Sensitivität und Spezifität der DMSA-Szintigraphie in der Detektion einer akuten Pyelonephritis sind mit ca. 90% höher als bei der Ultraschalluntersuchung [25, 30, 31]. Eine zügige Diagnosestellung einer akuten Pyelonephritis mittels DMSA-Szintigraphie könnte die frühe Einleitung einer antibiotischen Therapie erleichtern. Allerdings konnte nicht nachgewiesen werden, dass letzteres tatsächlich die spätere Entstehung parenchymaler Narben verhindern kann [32-34]. Zudem sind die szintigraphisch nachweisbaren Läsionen nicht spezifisch für entzündliche Veränderungen, da auch Nierenabszesse und -zysten, Doppelniere, Hydronephrosen und Tumoren ähnliche Bilder erzeugen können. Die Kombination von Ultraschall und DMSA-Szintigraphie, in der Zusammenschau oder als Bildfusion [35, 36], kann helfen, diese einzelnen Krankheitsbilder zu differenzieren.

Liegt eine Hydronephrose vor, kann das Radiopharmakon im Nierenhohlraumsystem retiniert werden und dadurch möglicherweise Schwierigkeiten bei der Interpretation der Nierenparenchymbilder bedingen (siehe Punkt IV. F).

Beschränkt man die Aussage auf „normales Nierenparenchym“ oder „nicht normales Nierenparenchym“, so beträgt die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei DMSA-Szintigraphien (Intra- und Interobserver-Variabilität) in den meisten Studien ca. 80-90% [37-40], obwohl sich in der Literatur auch Berichte von Übereinstimmungsraten <50% finden [41, 42].

Zeigt die DMSA-Szintigraphie während des akuten Harnwegsinfekts keine parenchymale Pathologie, werden auch bei DMSA-Kontrolluntersuchungen keine Narben detektiert [43]. Somit wurde vorgeschlagen, es könnte im Falle

einer unauffälligen initialen DMSA-Szintigraphie auf eine Miktionszysturographie (MCU) verzichtet werden, da das Vorliegen insbesondere eines höhergradigen vesikoureterorenenalen Reflux (VUR) bei unauffälliger DMSA-Szintigraphie sehr unwahrscheinlich ist [44, 45].

Die DMSA-Szintigraphie zum Zeitpunkt der ersten Harnwegsinfektion war in einer Vergleichsstudie von Hitzel *et al.* mit 77 Kindern zuverlässiger als die Doppler-Sonographie und die MCU-Diagnostik in der Prädiktion parenchymaler Läsionen in der DMSA-Verlaufskontrolle 7 Monate später [46]. Dennoch ist die Vorhersage parenchymaler Narben im Einzelfall auch in Zusammenschau bildgebender, klinischer und laborchemischer Parameter nicht zuverlässig möglich [47].

B. Detektion von Parenchymnarben nach Pyelonephritis/Harnwegsinfekt

Die DMSA-Szintigraphie stellt aktuell den klinischen Goldstandard in der Detektion von Parenchymnarben dar [23, 48]. Typische Indikationen sind Kontrollen nach stattgehabter Pyelonephritis bzw. Verlaufskontrollen bei Patienten mit bekanntem VUR unter antibiotischer Prophylaxe oder beobachtendem Management. Je höher der VUR-Grad ist, desto höher ist das Risiko für die Entstehung von Parenchymnarben in der DMSA-Szintigraphie nach einer Pyelonephritis [49-51]. Das Auftreten neuer Parenchymnarben oder zunehmender Differenzen in der seitengetrenten Nierenfunktion unter antibiotischer Prophylaxe bei VUR kann als Therapieversagen und Indikation zur operativen Korrektur betrachtet werden [52, 53]. Dieser mögliche therapiesteuernde Stellenwert der DSMA-Szintigraphie wird dadurch unterstützt, dass gemäß Szlyk *et al.* nur bei 10% der Patienten mit VUR neue Parenchymnarben infolge gesicherter Harnwegsinfektionen unter der antibiotischen Prophylaxe entstehen [54].

Eine erste Verlaufskontrolle zur Detektion von Parenchymnarben wird üblicherweise nicht früher als 6 Monate nach dem Harnwegsinfekt empfohlen. Parenchymläsionen in der Akutphase bilden sich zwischenzeitlich in der Mehrzahl der Fälle zurück, und auch Läsionen, die nach 6 Monaten noch detektiert werden können, sind wiederum in bis zu 50% der Fälle in einer noch späteren DMSA-Verlaufskontrolle (1 bzw. 2 Jahre nach initialer Infektepisode) ebenfalls nicht mehr nachweisbar [49, 55-59]. Ein späterer Zeitpunkt ≥ 12 Monate nach dem Harnwegsinfekt könnte somit hilfreicher sein, solche Patienten zu erkennen, die bleibende kortikale Defekte, d.h. Narben, aufweisen [60].

Eine chronische Niereninsuffizienz infolge von Harnwegsinfektionen im Kindesalter ist insgesamt selten und wird insbesondere bei Vorliegen eines höhergradigen VUR beobachtet [61]. Bei Patienten mit VUR wird wiederum signifikant häufiger eine abnehmende Organfunktion bzw. Gesamtnierenfunktion beobachtet, wenn unilaterale oder – insbesondere – bilaterale Parenchymnarben in der DMSA-Szintigraphie nachweisbar sind [62-67].

C. Vergleich mit der Magnetresonanztomographie (MRT)

Es liegen bislang kaum direkt vergleichende Untersuchungen zur diagnostischen Genauigkeit der MRT und DMSA-Szintigraphie vor, die einen Abgleich mit dem Goldstandard Histologie bieten. Nur einzelne Studien haben die MRT im klinischen Einsatz im Kindesalter untersucht, in der Mehrzahl unter Sedierung. Die Häufigkeit, Ursachen und insbesondere klinische Relevanz von Abweichungen zwischen MRT und DMSA-Szintigraphie (und damit auch von möglichen diagnostischen Vorteilen der MRT) sind nicht geklärt. Zudem stehen Untersuchungen an größeren Patientenkollektiven aus, die auch den gesamten apparativen, Personal- und Zeitaufwand der MRT-Diagnostik im Kindesalter unter klinischen Routinebedingungen berücksichtigen sowie die Anfälligkeit für Artefakte und dadurch mögliche Fehlinterpretationen [68, 69]. Die MRT scheint zudem, verglichen mit der DMSA- bzw. MAG3-Szintigraphie, nicht ausreichend genau in der Bestimmung der seitengetrenten Funktionsanteile zu sein [70-72].

Die DMSA-Szintigraphie bleibt somit vorerst klinisches Diagnostikum der Wahl für o.g. Fragestellungen.

Die Literatur im Detail:

Pennington *et al.* [73] und Majd *et al.* [31] konnten an Ferkeln in einem Pyelonephritis-Tiermodell mittels kontrastmittelgestützter MRT (Gadolinium) eine Sensitivität und Spezifität von 90% für die Detektion entzündlicher Läsionen erreichen; in der Vergleichsstudie von Majd *et al.* war die MRT somit vergleichbar genau wie die DMSA-Szintigraphie. In einer kleinen Studie mit 20 Kindern mit fieberhaftem Harnwegsinfekt erreichte die kontrastmittelgestützte MRT ebenfalls eine Sensitivität und Spezifität von 90% verglichen mit der DMSA-Szintigraphie in der Erkennung von Läsionen einer akuten Pyelonephritis [74]. In weiteren Studien zur kontrastmittelgestützten MRT fehlte jeweils ein Goldstandard bzw. der Vergleich mit der DMSA-Szintigraphie [75-77].

In Vergleichsstudien zeigte die diffusionsgewichtete MRT (DWI), die ohne Kontrastmittel auskommt, vergleichbare Resultate in der Detektion pyelonephritischer Läsionen wie die kontrastmittelgestützte MRT [75, 77]. In einer Fallserie von 7 Kindern erreichte die DWI eine Sensitivität und Spezifität von 80% und 100% verglichen mit dem Goldstandard DMSA-Szintigraphie [78]. In einer prospektiven Studie von Bosakova *et al.* mit 31 Kindern detektierte die DWI bei allen Patienten Pathologien im Sinne von entzündlichen Veränderungen des Nierenparenchyms verglichen mit der DMSA-Szintigraphie, die nur bei 71% der Patienten Pathologien detektierte; eine Verifizierung der diskordanten Befunde erfolgte nicht. Eine Sedierung war weder für die DWI MRT noch für die DMSA-Szintigraphie notwendig (Alter immer >3 Jahre) [79]. Ein Vorteil der DWI MRT gegenüber der DMSA-Szintigraphie könnte die genauere Befunddifferenzierung sein, z.B. die Differenzierung von Abszessherden in pyelonephritischen Veränderungen [80].

In der Detektion von parenchymalen Narben zeigten Wang *et al.* im Tiermodell an der Ratte für die kontrastmittelgestützte MRT eine Sensitivität und Spezifität von 69% und 93% im Abgleich mit der Histologie [81]. In einer Studie mit 24 Kindern erreichte die kontrastmittelgestützte MRT eine Sensitivität und Spezifität von 94% und 82% in der Detektion von Narben verglichen mit dem Referenzstandard DMSA-Szintigraphie. Eine fettgesättigte T1-Sequenz (d.h. ohne Kontrastmittel) wies in derselben Studie eine vergleichbare Genauigkeit von fast 90% auf [82]. Die Kinder wurden für die MRT-Untersuchung sediert, für die DMSA-Szintigraphie nicht [82]. Kavanagh *et al.* zeigten an 37 Kindern mit vorangegangenem Harnwegsinfekt für die fettgesättigte T1-Sequenz eine Sensitivität und Spezifität von 77% und 87% für Parenchymnarben (Referenzstandard: DMSA). Alle Kindern wurden für beide Untersuchungen sediert [83].

IV. Durchführung

A. Information über frühere relevante Untersuchungen

Die Anamnese des Kindes und – wenn vorhanden – die Ergebnisse von Ultraschall-, MRT- und früheren Radionukliduntersuchungen sollten bekannt sein. Zudem sind Informationen über vorhandene Nierenpathologien (Hydronephrose, Doppelniere, ektope Niere, ausgedehnte Parenchymdefekte, Zysten, Tumoren) hilfreich, um zusätzliche Aufnahmen aus verschiedenen Richtungen und ggf. eine Tiefenkorrektur durchführen zu können. Ebenfalls lässt sich daraus der erforderliche Zeitaufwand der Untersuchung abschätzen (siehe D: Vorsichtsmaßnahmen).

B. Informationen bei der Anmeldung des Kindes

Bevor das Kind in den nuklearmedizinischen Bereich kommt, sollten die Eltern und das Kind schriftliche Informationen über den Untersuchungsablauf und

insbesondere über die Wartezeit zwischen der Aktivitätsinjektion und dem Anfertigen der Bilder sowie die Untersuchungsdauer erhalten.

C. Vor der Aktivitätsinjektion

Anästhesiecreme: Wenn erforderlich, sollte die Anästhesiecreme etwa 60 min vor der Injektion aufgebracht werden und 10 min vorher bereits wieder entfernt werden.

Flüssigkeitszufuhr: Eine leicht gesteigerte Diurese wird empfohlen, um die Aktivitätsretention im Nierenbecken zu reduzieren.

Sedierung: Unabhängig vom Patientenalter ist eine medikamentöse Sedierung für die DMSA-Szintigraphie nur sehr selten notwendig. Eine kindgerechte räumliche und personelle Atmosphäre, auf dem Gebiet der pädiatrischen Nuklearmedizin besonders erfahrene MTRAs und das Einbeziehen der Eltern vor und während der Untersuchung werden generell als geeignet angesehen, um eine ausreichende Immobilisation der Kinder während der Aufnahmen zu erreichen [84-87].

Als schwierigste Altersgruppe hat sich die Gruppe zwischen 1 und 3 Jahren erwiesen. In dieser Gruppe kann eine Sedierung erforderlich sein, aber basierend auf den Erfahrungen in großen Zentren bei weniger als 5% der Kinder [3]. Es sollte in diesem Fall die Sedierungsrichtlinie der jeweiligen Institution beachtet werden und eine Absprache mit den Pädiatern/Anästhesisten erfolgen.

D. Vorsichtsmaßnahmen

Tubuläre Defekte, wie beim Fanconi-Syndrom, können zu einer sehr schlechten Darstellung des Nierenparenchyms führen, da das Radiopharmakon in den Zellen der Tubuli nur im geringen Umfang gespeichert und über den Urin ausgeschieden wird.

E. Radiopharmazeutikum

1. Radiopharmakon: [^{99m}Tc]Tc-DMSA (Dimercaptobernsteinsäure)

Obwohl mehrere Radiopharmazeutika zur Darstellung des Nierenparenchyms angeboten werden, hat sich als geeignetstes Radiopharmakon für diesen Zweck [^{99m}Tc]Tc-DMSA erwiesen. Es wird von den tubulären Zellen der Pars recta direkt aus den peritubulären Gefäßen aufgenommen und aus der tubulären Flüssigkeit nicht wieder reabsorbiert [88]. Dynamische Radiopharmaka mit hoher renaler Extraktionsrate wie [^{99m}Tc]Tc-MAG3 oder [^{99m}Tc]Tc-Ethylendicystein (EC) ermöglichen nur eine weniger exakte Information über regionale Nierenparenchymveränderungen und sind daher nur Mittel zweiter Wahl für die Detektion parenchymaler Defekte.

2. Empfohlene Aktivitätsmengen

Aktivitätsmenge für Kinder:

- Die Aktivitätsmengen sollten entsprechend den Empfehlungen des Paediatric Committee der EANM gewichtsabhängig dosiert werden (siehe „EANM Dosage Calculator“) [89, 90].
- Minimale Aktivitätsmenge: 18,5 MBq

Aktivitätsmenge für Erwachsene (70 kg KG): 70 MBq [5]

Hinweis: 70 MBq entspricht dem diagnostischen Referenzwert des Bundesamts für Strahlenschutz aus 2003 für Erwachsene. In den neueren Versionen der Bekanntmachungen wird kein Referenzwert für [^{99m}Tc]Tc-DMSA mehr angegeben. Da die Untersuchung in der Regel im Kindesalter erfolgt, fehlt belastbare Evidenz zur optimalen Aktivitätsmenge im Erwachsenenalter. Die gemeinsamen Practice Guidelines der SNMMI und EANM aus 2018 empfehlen im Erwachsenenalter 110 MBq [^{99m}Tc]Tc-DMSA

[91].

3. Injektion des Radiopharmakons

Es wird eine dünne Butterfly-Nadel oder eine periphere Venenverweilkanüle empfohlen.

4. Strahlenexposition

Die effektive Dosis beträgt etwa 0,6 mSv pro Untersuchung, unabhängig vom Alter des Kindes, unter der Voraussetzung, dass die Aktivitätsmenge gewichtsabhängig dosiert wurde [92, 93] (ältere Angaben von 1,0 mSv basieren auf der nicht mehr empfohlenen Dosierung nach Körperoberfläche [91, 93-96]). Unter allen Organen ist die Organdosis der Niere am höchsten und beträgt bei Kindern zwischen 1-10 Jahren schätzungsweise 0,3-0,8 mGy/MBq [97], d.h. etwa 12-15 mGy pro Untersuchung. Die Niere gilt als vergleichsweise wenig strahlensensibel mit einem Gewebewichtungsfaktor von rechnerisch ca. 0,01 [98].

F. Durchführung der Untersuchung

1. Untersuchungszeitpunkt

Die DMSA-Aufnahmen sollten 2-4 h p.i. angefertigt werden [1, 3, 91].

Gemäß Arnold *et al.* nimmt die Akkumulation von [^{99m}Tc]Tc-DMSA im Nierenparenchym bis mindestens 6h p.i. stetig zu [99] und erreicht gemäß Evans *et al.* nach ca. 7h das Maximum; die Ausscheidung mit dem Urin geschieht während dieser Zeit nur langsam [100]. Bei einem Aufnahmezeitpunkt früher als 2h p.i. könnte somit die Bildqualität durch die noch geringe Nuklidanreicherung im Nierenparenchym beeinträchtigt werden. Aufnahmen später als 4h p.i. könnten zwar prinzipiell eine markante Nuklidanreicherung bieten, der zwischenzeitliche Nuklidzerfall müsste jedoch ggf. durch eine längere Aufnahmezeit kompensiert werden; dies erhöht wiederum das Risiko von Bewegungsartefakten.

Eine zusätzliche, deutlich spätere Aufnahme (20-24h p.i.) wird als Option beschrieben, um im Falle einer deutlichen Hydronephrose hypothetische Fehler in der visuellen Befundung oder der Berechnung der seitengetrenten Funktion aufgrund von Aktivität im Nierenbeckenkelchsystem zu vermeiden [1, 3], siehe auch G. Zwei Studien verglichen die seitengetrennte Nierenfunktion in der DMSA-Szintigraphie nach 4h und 24h p.i. bei Patienten mit Obstruktion und stellten jeweils keine [101] oder keine relevanten Unterschiede [102] zwischen den Zeitpunkten fest. Ebenso fanden Akbal *et al.* bei Kindern mit und ohne Harnwegsobstruktion keine signifikanten Differenzen in der seitengetrenten Nierenfunktion zwischen der frühen [^{99m}Tc]Tc-DMSA-Szintigraphie (2-3h p.i.) und der heutigen klinischen Standardsubstanz [^{99m}Tc]Tc-MAG3 [103]. Als weiterer Grund für eine Spätaufnahme wird eine bessere Visualisierung der Niere bei stark eingeschränkter Nierenfunktion genannt [91]. Rationale ist die o.g. Zunahme der Nuklidanreicherung im Nierenparenchym über die Zeit. Belastbare Vergleichsdaten des frühen Zeitpunktes (bis 4h p.i.) mit einem späten Zeitpunkt im Kontext stark verringerter Nierenfunktion finden sich in der Literatur jedoch nicht.

2. Kollimatoren

Nur hoch oder ultrahoch auflösende Kollimatoren sollten verwendet werden. Pinhole-Aufnahmen (2-3 mm Lochdurchmesser) könnten aufgrund der hohen Ortsauflösung insbesondere bei kleinen Kindern hilfreich sein. Es besteht weiterhin jedoch keine übereinstimmende Meinung, ob und wann Pinhole-

Aufnahmen für die DMSA-Szintigraphie erforderlich sind [26].

3. Position des Kamerakopfes

Horizontal (bei Aufnahme mit der Einkopf-Kamera Kollimator nach kranial gerichtet).

4. Patientenposition

Rückenlage, die zu einem minimalen Abstand zwischen den Nieren und dem Kollimator führt und dazu beiträgt, die Bewegungen des Kindes zu minimieren. Um Bewegungsartefakte weiter zu reduzieren, sollte das Kind entweder mit Sandsäcken und Klettbindern auf beiden Seiten oder in einem Vakuumkissen fixiert werden. Bei einer Aufnahme mit der Einkopf-Kamera sollte das Kind dabei, wenn möglich, direkt auf der Kollimatoroberfläche liegen. Bei einer Aufnahme mit der Doppelkopf-Kamera sollte der Abstand beider Kameraköpfe zum Kind minimiert werden.

5. Aufnahmerichtung

Es werden dorsale und schräg dorsale Bilder (30-35°) empfohlen; die Verwendung von schräg dorsalen Bildern kann die Übereinstimmung zwischen Befunden verglichen mit alleinigen dorsalen Aufnahmen verbessern [104].

In Einrichtungen mit Doppelkopf-Kamera sollten möglichst kombinierte dorsal/ventrale bzw. schräg dorsal/schräg ventrale Aufnahmen erfolgen. Die zusätzlichen ventralen Bilder können bei Hufeisennieren und ektopen Nieren für die Beurteilung sinnvoll sein. Zudem erlauben sie die Berechnung des geometrischen Mittels der dorsalen und ventralen Aufnahme für die exaktere Bestimmung der seitengetrenten Funktion (siehe Punkt IV. H.).

6. Aufnahmeparameter

Es sollten mindestens 300 000 Impulse akquiriert oder eine Aufnahmezeit von mindestens 5 min pro Bild eingehalten werden [3, 91].

Für Pinhole-Aufnahmen betragen diese Werte zwischen 100 000 und 150 000 Impulsen bei einer Aufnahmezeit von etwa 10 min.

Matrix: Es sollte eine 128 x 128-Matrix verwendet werden (alternativ 256 x 256).

Zoom: Ein Zoom mit dem Faktor 1-2, je nach Körpergröße, wird für pädiatrische Untersuchungen empfohlen. Dabei sollte ebenfalls eine 128 x 128-Matrix verwendet werden.

7. SPECT

Die vorliegende Empfehlung beschäftigt sich vorwiegend mit planaren Bildern, da zurzeit noch kein Konsensus über die Wertigkeit der SPECT bei DMSA-Untersuchungen existiert [3, 91]. Bei der Differenzierung von Doppelnieren und komplexen Nierenfehlbildungen könnte die SPECT wichtige Zusatzinformationen liefern. Ein überzeugender Nachweis einer generell verbesserten diagnostischen Genauigkeit gegenüber den planaren Akquisitionen konnte bislang jedoch nicht erbracht werden [18, 105-109]. Eine erhöhte Strahlenexposition durch Erhöhung der injizierten Aktivität nur zum Erreichen verbesserter SPECT-Aufnahmen ist somit im Allgemeinen nicht gerechtfertigt. Werden SPECT-Untersuchungen durchgeführt, so muss dabei beachtet werden, dass hierbei im Speziellen ein höheres Risiko für falsch positive Befunde entsteht [108, 110] und zudem eventuell eine starke Sedierung notwendig wird. Wird eine Fusionsbildgebung mit dem Ultraschall angestrebt, ist eine SPECT-Aufnahme dafür erforderlich [35, 36].

G. Interventionen

Eine Furosemidgabe (z.B. 0,5 mg/kg Körpergewicht [111]) kann in Einzelfällen sinnvoll sein, wenn anderenfalls die Retention von Aktivität im Nierenbeckenkelchsystem die Qualität der Aufnahmen für die visuelle Befundung beeinträchtigt (siehe Abschnitt IV. F. 1).

In zwei Studien mit Patienten mit Obstruktion bzw. dilatierten Nierenbecken ergab sich für die seitengetrennte Nierenfunktion (geometrisches Mittel) kein Unterschied zwischen der Aufnahme vor und 30 min nach Furosemidgabe [112, 113].

H. Auswertung

Neben der Beurteilung des Nierenparenchyms sollte immer eine Auswertung der seitengetrennten Nierenfunktion erfolgen. Hierzu wird empfohlen:

- Eine große „region of interest“ (ROI) um die Nieren zu legen, bei Verwendung von Hochkontrastaufnahmen.
- Eine Untergrundkorrektur durchzuführen, bei der die Untergrundaktivität nahe der Niere von der Nierenaktivität subtrahiert wird. Dies kann in der folgenden Weise durchgeführt werden [114]: 2 schmale ROIs werden sowohl oberhalb als auch unterhalb jeder Niere gelegt, wobei die Blasenaktivität ausgeklammert sein muss. Der Mittelwert dieser Untergrundregionen wird dann von der Aktivität der Nierenregion abgezogen. Dabei muss beachtet werden, dass bei stärkeren Nierenfunktionsstörungen diese Untergrundkorrektur nicht eingesetzt werden kann.
- In den meisten Fällen, insbesondere bei normaler Lage der Nieren, sind alleinige dorsale Aufnahmen ausreichend genau für die Bestimmung der Seitenfunktion [115-120]. Dennoch sollte, wenn möglich, eine Tiefenkorrektur zur Bestimmung der seitengetrennten Nierenfunktion erfolgen, üblicherweise durch Bestimmung des geometrischen Mittels (= Quadratwurzel des Produkts aus dorsalen und ventralen Counts). In bis zu 15% der Fälle weicht die seitengetrennte Funktion damit um ≥ 5 Prozentpunkte von der alleinigen dorsalen Aufnahme ab [115, 117-120]. Besonders deutliche Abweichungen können bei Lageanomalien der Nieren beobachtet werden [118]. Zudem wurde eine Häufung solcher Differenzen bei Jugendlichen und Erwachsenen berichtet [115, 118, 120]. Eine Überlegenheit der SPECT Akquisition gegenüber planaren Aufnahmen für die Abschätzung der Seitenfunktion konnte bislang nicht gezeigt werden [121, 122]. Im Falle einer Beckenniere bleibt auch bei Verwendung des geometrischen Mittels die errechnete seitengetrennte Funktion ungenau, da zusätzlich eine Absorption durch den Beckenknochen vorliegt.

I. Darstellung der Bilder

Die Darstellung der planaren Aufnahmen in Graustufen ist Standard. Dabei sollte die Intensität der Bilder so gewählt werden, dass der Nierenkortex mit stärkerer Intensität als die zentralen Nierenanteile (Medulla, Kelchsystem, Gefäße) zur Darstellung kommt.

J. Interpretation/Befundung/Fehlermöglichkeiten

1. Seitengetrennte Funktionsbestimmung

Die Normalwerte für die seitengetrennte Nierenfunktion betragen zwischen 45% und 55% Uptake [3, 114]. Werte außerhalb dieses Normbereiches finden sich bei einseitigen Doppelnieren [123], Werte innerhalb dieses Bereiches auch bei beidseitig kleinen Nieren. Aktivität im Nierenbecken, z.B. bei Hydronephrose, kann möglicherweise zu falsch hohen Werten der betroffenen Niere führen (siehe Abschnitt IV. F. 1).

2. Normvarianten

DMSA-Szintigraphien werden nicht bei gesunden Kindern durchgeführt; dennoch wurden von erfahrenen Befundern folgende Voraussetzungen für einen Normalbefund definiert:

Die Nierenkonturen sind scharfbogig begrenzt, und es lässt sich ein aktiver äußerer Teil (Kortex) von einem weniger aktiven inneren Teil (Markpyramiden und Nierenbeckenkelchsystem) abgrenzen. Eine Kontur kann jedoch auch flach sein, ohne dass eine Läsion vorliegt. Der laterale Anteil der oberen Hälfte der linken Niere kann durch die Milz bedingt abgeflacht zur Darstellung kommen. Bei kleinen Kindern kommen die Nieren häufig als dreieckig begrenzte Organe zur Darstellung mit abgeflachten äußeren Konturen. Eine „dünne“ Niere, die einen kurzen Transversaldurchmesser in der dorsalen Darstellung aufweist, ist generell als normal anzusehen und wird durch eine Rotation der Niere bedingt. Die transversale Achse der Niere kann manchmal in einem Polbereich (oberer oder unterer) kürzer als im anderen Polbereich sein; dieses wird im anglo-amerikanischen Schrifttum als „pear shaped“ bezeichnet. Die Nierenpole – und insbesondere der obere Pol – können minderspeichernd zur Darstellung kommen; dies ist durch den Kontrast zu den hyperaktiven Bertini-Säulen bedingt. Die Zahl und Größe der Bertini-Säulen ist unterschiedlich und kann falsche Interpretationen der Bilder bedingen. Wichtig ist auch die Beachtung der fetalen Lobulierung. Diese kann gelegentlich nur durch die Hilfe anderer bildgebender Modalitäten von Narben unterschieden werden.

3. Pathologische Veränderungen

Es müssen immer Zahl, Größe und Lokalisation von Parenchymanteilen mit verminderter oder fehlender Funktion beurteilt werden. Dabei muss nicht immer zusätzlich eine Deformation der Nierenkontur vorhanden sein. Eine Differenzierung zwischen akuten entzündlichen und chronischen/narbigen Veränderungen ist nicht immer möglich.

3.1 Akute Pyelonephritis

Bei akuter Pyelonephritis ist die Nuklidanreicherung im betroffenen Gewebe vermindert (die Anreicherung korreliert mit dem funktionellen proximalen Tubulustgewebe und der glomerulären Filtrationsrate). Als typisches szintigraphisches Korrelat gilt somit eine umschriebene Nuklidminderanreicherung in der kortikalen Zirkumferenz der Niere, üblicherweise keilförmig, lateral lokalisiert oder am Nierenpol [124]. Ein einzelnes photopenes Areal ist ausreichend für die Feststellung eines „abnormalen Befundes“ und somit einer akuten Pyelonephritis. In der Akutphase ist die äußere Kontur der Niere dabei typischerweise erhalten, d.h. zumindest noch schemenhaft erkennbar und ohne Einziehung [28, 44, 125, 126]. Zudem sollte im akuten Stadium die Nierengröße erhalten sein.

Seltener kann auch eine diffus reduzierte Nuklidanreicherung der Niere, ggf. in Verbindung mit einer Organschwellung [44, 127-129], ein Korrelat einer akuten Pyelonephritis sein, und dies kann fokale Nuklidminderanreicherungen maskieren [130]. Die Feststellung einer Nierenschwellung kann im Abgleich der Organgröße mit der Gegenseite bzw. altersentsprechenden Normwerten [131, 132] getroffen werden. Wallin *et al.* haben für diese Konstellation von Nierenschwellung und reduzierter Nuklidanreicherung bildgebende Kriterien vorgeschlagen [130].

3.2 Parenchymnarben

Auch Parenchymnarben zeigen sich als umschriebene, ggf. scharf begrenzte, Nuklidminderanreicherungen. Im Gegensatz zur Akutphase werden dabei typischerweise Aussparungen der Nierenkontur oder deformierte

Außenkonturen gesehen [44, 126, 133]. Dies kann mit einer Volumenreduktion von größeren Anteilen der Niere oder des gesamten Organs einhergehen [125]. Auch eine verringerte Seitenfunktion <45%, insbesondere wenn diese im Verlauf nach einer Harnwegsinfektion erstmalig auftritt, ist suggestiv für eine chronische parenchymale Schädigung.

4. Qualitätskontrolle

Eine Qualitätskontrolle, insbesondere bezogen auf Patienten- und damit Nierenbewegungen, sollte erfolgen, bevor der Patient die Abteilung verlassen hat. Unscharfe oder doppelte Nierenbegrenzungen sprechen generell für eine atypische Nierenbewegung. Die innere Architektur der Niere sollte erkennbar sein (siehe Punkt I). Ggf. sollte eine Wiederholung der Aufnahme erfolgen, die auch zu einem späteren Zeitpunkt noch möglich ist.

Literatur

1. Mandell GA, Eggl DF, Gilday DL et al. Procedure guideline for renal cortical scintigraphy in children. Society of Nuclear Medicine. J Nucl Med 1997; 38: 1644-1646
2. Piepsz A, Colarinha P, Gordon I et al. [Recommendations for the performance of DMSA scintigraphy in children]. Nuklearmedizin 1999; 38: 259-261
3. Piepsz A, Blaufox MD, Gordon I et al. Consensus on renal cortical scintigraphy in children with urinary tract infection. Scientific Committee of Radionuclides in Nephrourology. Semin Nucl Med 1999; 29: 160-174
4. Piepsz AC, P.; Gordon, I., Hahn, K., Olivier, P., Roca, I., Sixt, R., van Velzen, J. Guidelines on ^{99m}Tc-DMSA scintigraphy in children. Im Internet: https://eanm.org/publications/guidelines/gl_paed_dmsa_scin.pdf; Stand: 01.08.2019
5. Strahlenschutz Bf. Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen. BAnz Nr. 143 vom 05.08.2003. In: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS); 2003
6. Gordon I, Anderson PJ, Lythgoe MF et al. Can technetium-99m-mercaptoacetyltriglycine replace technetium-99m-dimercaptosuccinic acid in the exclusion of a focal renal defect? J Nucl Med 1992; 33: 2090-2093
7. Bair HJ, Becker W, Schott G et al. Is there still a need for Tc-99m DMSA renal imaging? Clin Nucl Med 1995; 20: 18-21. doi:10.1097/00003072-199501000-00004
8. Demirel B, Balci T, Tasdemir B et al. Comparison of DTPA and MAG3 renal scintigraphies in terms of differential renal function based on DMSA renal scintigraphy. Pakistan Journal of Medical Sciences 2012; 28: 795-799
9. Ryan PJ, Hamilton I, Lory et al. P23. Differential function on same day MAG3 and DMSA. Nuclear Medicine Communications 2002; 23: 412
10. Smokvina A, Grbac-Ivanković S, Giroto N et al. The renal parenchyma evaluation: MAG3 vs. DMSA. Collegium antropologicum 2006; 29: 649-654
11. Ritchie G, Wilkinson AG, Prescott RJ. Comparison of differential renal function using technetium-99m mercaptoacetyltriglycine (MAG3) and technetium-99m dimercaptosuccinic acid (DMSA) renography in a paediatric population. Pediatr Radiol 2008; 38: 857-862. doi:10.1007/s00247-008-0908-8
12. Dostbil Z, Penbegul N, Küçüköner M et al. Comparison of split renal function measured by ^{99m}Tc-DTPA, ^{99m}Tc-MAG3 and ^{99m}Tc-DMSA renal scintigraphies in paediatric age groups. Clinical Reviews and Opinions 2011; 3: 20-25
13. Stein R, Dogan HS, Hoebeke P et al. Urinary tract infections in children: EAU/ESPU guidelines. Eur Urol 2015; 67: 546-558. doi:10.1016/j.eururo.2014.11.007
14. NICE. Urinary tract infection in under 16s: diagnosis and management. Clinical guideline (CG54). Im Internet: <https://www.nice.org.uk/guidance/cg54>; Stand: 21.01.2020
15. Shaikh N, Borrell JL, Evron J et al. Procalcitonin, C-reactive protein, and erythrocyte sedimentation rate for the diagnosis of acute pyelonephritis in children. Cochrane Database Syst Rev 2015; 1: CD009185. doi:10.1002/14651858.CD009185.pub2
16. Koufadaki AM, Karavanaki KA, Soldatou A et al. Clinical and laboratory indices of severe renal lesions in children with febrile urinary tract infection. Acta Paediatr 2014; 103: e404-409. doi:10.1111/apa.12706
17. Huang DT, Huang FY, Tsai TC et al. Clinical differentiation of acute pyelonephritis from lower urinary tract infection in children. J Microbiol Immunol Infect 2007; 40: 513-517

18. Rossleigh MA, Farnsworth RH, Leighton DM et al. Technetium-99m dimercaptosuccinic acid scintigraphy studies of renal cortical scarring and renal length. *J Nucl Med* 1998; 39: 1280-1285
19. Bykov S, Chervinsky L, Smolkin V et al. Power Doppler sonography versus Tc-99m DMSA scintigraphy for diagnosing acute pyelonephritis in children: are these two methods comparable? *Clin Nucl Med* 2003; 28: 198-203. doi:10.1097/01.RLU.0000053407.04034.B1
20. Wang YT, Chiu NT, Chen MJ et al. Correlation of renal ultrasonographic findings with inflammatory volume from dimercaptosuccinic acid renal scans in children with acute pyelonephritis. *J Urol* 2005; 173: 190-194; discussion 194. doi:10.1097/01.ju.0000148315.63223.36
21. Halevy R, Smolkin V, Bykov S et al. Power Doppler ultrasonography in the diagnosis of acute childhood pyelonephritis. *Pediatr Nephrol* 2004; 19: 987-991. doi:10.1007/s00467-004-1529-6
22. Jaksic E, Bogdanovic R, Artiko V et al. Diagnostic role of initial renal cortical scintigraphy in children with the first episode of acute pyelonephritis. *Ann Nucl Med* 2011; 25: 37-43. doi:10.1007/s12149-010-0431-5
23. Sinha MD, Gibson P, Kane T et al. Accuracy of ultrasonic detection of renal scarring in different centres using DMSA as the gold standard. *Nephrol Dial Transplant* 2007; 22: 2213-2216. doi:10.1093/ndt/gfm155
24. Stogianni A, Nikolopoulos P, Oikonomou I et al. Childhood acute pyelonephritis: comparison of power Doppler sonography and Tc-DMSA scintigraphy. *Pediatr Radiol* 2007; 37: 685-690. doi:10.1007/s00247-007-0510-5
25. Benador D, Benador N, Slosman DO et al. Cortical scintigraphy in the evaluation of renal parenchymal changes in children with pyelonephritis. *J Pediatr* 1994; 124: 17-20. doi:10.1016/s0022-3476(94)70248-9
26. Majd M, Rushton HG, Chandra R et al. Technetium-99m-DMSA renal cortical scintigraphy to detect experimental acute pyelonephritis in piglets: comparison of planar (pinhole) and SPECT imaging. *J Nucl Med* 1996; 37: 1731-1734
27. Risdon RA, Godley ML, Parkhouse HF et al. Renal pathology and the 99mTc-DMSA image during the evolution of the early pyelonephritic scar: an experimental study. *J Urol* 1994; 151: 767-773. doi:10.1016/s0022-5347(17)35084-x
28. Rushton HG, Majd M, Chandra R et al. Evaluation of 99mtechnetium-dimercapto-succinic acid renal scans in experimental acute pyelonephritis in piglets. *J Urol* 1988; 140: 1169-1174. doi:10.1016/s0022-5347(17)41992-6
29. Wikstad I, Hannerz L, Karlsson A et al. 99mTechnetium dimercaptosuccinic acid scintigraphy in the diagnosis of acute pyelonephritis in rats. *Pediatr Nephrol* 1990; 4: 331-334. doi:10.1007/bf00862511
30. Bjorgvinsson E, Majd M, Eggl KD. Diagnosis of acute pyelonephritis in children: comparison of sonography and 99mTc-DMSA scintigraphy. *AJR Am J Roentgenol* 1991; 157: 539-543. doi:10.2214/ajr.157.3.1651644
31. Majd M, Nussbaum Blask AR, Markle BM et al. Acute pyelonephritis: comparison of diagnosis with 99mTc-DMSA, SPECT, spiral CT, MR imaging, and power Doppler US in an experimental pig model. *Radiology* 2001; 218: 101-108. doi:10.1148/radiology.218.1.r01ja37101
32. Doganis D, Siafas K, Mavrikou M et al. Does early treatment of urinary tract infection prevent renal damage? *Pediatrics* 2007; 120: e922-928. doi:10.1542/peds.2006-2417
33. Hewitt IK, Zucchetta P, Rigon L et al. Early treatment of acute pyelonephritis in children fails to reduce renal scarring: data from the Italian Renal Infection Study Trials. *Pediatrics* 2008; 122: 486-490. doi:10.1542/peds.2007-2894
34. Oh MM, Kim JW, Park MG et al. The impact of therapeutic delay time on acute scintigraphic lesion and ultimate scar formation in children with first febrile UTI. *Eur J Pediatr* 2012; 171: 565-570. doi:10.1007/s00431-011-1614-3
35. Gühne F, Weigel F, Kühnel C et al. DMSA-camSPECT/US fusion imaging of children's kidneys – Proof of feasibility. *Nuklearmedizin* 2019; 59. doi:10.1055/a-1073-6875
36. Freesmeyer M, Weigel F, John U et al. Real-Time DMSA-SPECT/US Fusion Imaging Revealing Nonscarring Loss of Function After Pyelonephritis. *Clin Nucl Med* 2020; 45: e274-e275. doi:10.1097/RLU.0000000000003023
37. Shanon A, Feldman W, McDonald P et al. Evaluation of renal scars by technetium-labeled dimercaptosuccinic acid scan, intravenous urography, and ultrasonography: a comparative study. *J Pediatr* 1992; 120: 399-403. doi:10.1016/s0022-3476(05)80904-7
38. De Sadeleer C, Tondeur M, Melis K et al. A multicenter trial on interobserver reproducibility in reporting on 99mTc-DMSA planar scintigraphy: a Belgian survey. *J Nucl Med* 2000; 41: 23-26
39. Ladron De Guevara D, Franken P, De Sadeleer C et al. Interobserver reproducibility in reporting on 99mTc-DMSA scintigraphy for detection of late renal sequelae. *J Nucl Med* 2001; 42: 564-566
40. Patel K, Charron M, Hoberman A et al. Intra- and interobserver variability in interpretation of DMSA scans using a set of standardized criteria. *Pediatr Radiol* 1993; 23: 506-509. doi:10.1007/bf02012131
41. Piepsz A, Tamminen-Mobius T. Correlation between scintigraphic lesions and renal scarring in

- intravenous urogram in children with normal relative uptake of DMSA and evaluation of normal kidney findings of DMSA scan. *DMSA Working Group. Contrib Nephrol* 1990; 79: 147-155. doi:10.1159/000418168
42. Mattoo TK, Skoog SJ, Gravens-Mueller L et al. Interobserver variability for interpretation of DMSA scans in the RIVUR trial. *J Pediatr Urol* 2017; 13: 616 e611-616 e616. doi:10.1016/j.jpuro.2017.03.040
 43. Hitzel A, Liard A, Dacher JN et al. Quantitative analysis of 99mTc-DMSA during acute pyelonephritis for prediction of long-term renal scarring. *J Nucl Med* 2004; 45: 285-289
 44. Tseng MH, Lin WJ, Lo WT et al. Does a normal DMSA obviate the performance of voiding cystourethrography in evaluation of young children after their first urinary tract infection? *J Pediatr* 2007; 150: 96-99. doi:10.1016/j.jpeds.2006.09.028
 45. Preda I, Jodal U, Sixt R et al. Normal dimercaptosuccinic acid scintigraphy makes voiding cystourethrography unnecessary after urinary tract infection. *J Pediatr* 2007; 151: 581-584, 584 e581. doi:10.1016/j.jpeds.2007.05.008
 46. Hitzel A, Liard A, Vera P et al. Color and power Doppler sonography versus DMSA scintigraphy in acute pyelonephritis and in prediction of renal scarring. *J Nucl Med* 2002; 43: 27-32
 47. Shaikh N, Craig JC, Rovers MM et al. Identification of children and adolescents at risk for renal scarring after a first urinary tract infection: a meta-analysis with individual patient data. *JAMA Pediatr* 2014; 168: 893-900. doi:10.1001/jamapediatrics.2014.637
 48. MacKenzie JR. A review of renal scarring in children. *Nucl Med Commun* 1996; 17: 176-190. doi:10.1097/00006231-199603000-00002
 49. Shaikh N, Ewing AL, Bhatnagar S et al. Risk of renal scarring in children with a first urinary tract infection: a systematic review. *Pediatrics* 2010; 126: 1084-1091. doi:10.1542/peds.2010-0685
 50. Lee J, Woo BW, Kim HS. Prognostic Factors of Renal Scarring on Follow-up DMSA Scan in Children with Acute Pyelonephritis. *Child Kidney Dis* 2016; 20: 74-78. doi:10.3339/jkspn.2016.20.2.74
 51. Tepmongkol S, Chotipanich C, Sirisalipoch S et al. Relationship between vesicoureteral reflux and renal cortical scar development in Thai children: the significance of renal cortical scintigraphy and direct radionuclide cystography. *J Med Assoc Thai* 2002; 85 Suppl 1: S203-209
 52. Roussey-Kesler G, Gadjos V, Idres N et al. Antibiotic prophylaxis for the prevention of recurrent urinary tract infection in children with low grade vesicoureteral reflux: results from a prospective randomized study. *J Urol* 2008; 179: 674-679; discussion 679. doi:10.1016/j.juro.2007.09.090
 53. Szymanski KM, Oliveira LM, Silva A et al. Analysis of indications for ureteral reimplantation in 3738 children with vesicoureteral reflux: a single institutional cohort. *J Pediatr Urol* 2011; 7: 601-610. doi:10.1016/j.jpuro.2011.06.002
 54. Szlyk GR, Williams SB, Majd M et al. Incidence of new renal parenchymal inflammatory changes following breakthrough urinary tract infection in patients with vesicoureteral reflux treated with antibiotic prophylaxis: evaluation by 99mTc dimercapto-succinic acid renal scan. *J Urol* 2003; 170: 1566-1568; discussion 1568-1569. doi:10.1097/01.ju.0000085962.68246.ce
 55. Jakobsson B, Berg U, Svensson L. Renal scarring after acute pyelonephritis. *Arch Dis Child* 1994; 70: 111-115. doi:10.1136/adc.70.2.111
 56. Ditchfield MR, Summerville D, Grimwood K et al. Time course of transient cortical scintigraphic defects associated with acute pyelonephritis. *Pediatr Radiol* 2002; 32: 849-852. doi:10.1007/s00247-002-0784-6
 57. Agras K, Ortapamuk H, Naldoken S et al. Resolution of cortical lesions on serial renal scans in children with acute pyelonephritis. *Pediatr Radiol* 2007; 37: 153-158. doi:10.1007/s00247-006-0362-4
 58. Ferreiro C, Piepsz A, Nogarede C et al. Late renal sequelae in intravenously treated complicated urinary tract infection. *Eur J Pediatr* 2013; 172: 1243-1248. doi:10.1007/s00431-013-2024-5
 59. Chroustova D, Palyzova D, Urbanova I et al. Results of a five-year study of 99mTc DMSA renal scintigraphy in children and adolescents following acute pyelonephritis. *Nucl Med Rev Cent East Eur* 2006; 9: 46-50
 60. Ghasemi K, Montazeri S, Pashazadeh AM et al. Correlation of 99mTc-DMSA scan with radiological and laboratory examinations in childhood acute pyelonephritis: a time-series study. *Int Urol Nephrol* 2013; 45: 925-932. doi:10.1007/s11255-013-0479-y
 61. Silva JM, Santos Diniz JS, Marino VS et al. Clinical course of 735 children and adolescents with primary vesicoureteral reflux. *Pediatr Nephrol* 2006; 21: 981-988. doi:10.1007/s00467-006-0151-1
 62. Wennerstrom M, Hansson S, Jodal U et al. Renal function 16 to 26 years after the first urinary tract infection in childhood. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2000; 154: 339-345. doi:10.1001/archpedi.154.4.339
 63. Lahdes-Vasama T, Niskanen K, Ronnholm K. Outcome of kidneys in patients treated for vesicoureteral reflux (VUR) during childhood. *Nephrol Dial Transplant* 2006; 21: 2491-2497. doi:10.1093/ndt/gfl216

64. Becker GJ, Kincaid-Smith P. Reflux nephropathy: the glomerular lesion and progression of renal failure. *Pediatr Nephrol* 1993; 7: 365-369. doi:10.1007/bf00857540
65. Chen MJ, Cheng HL, Chiou YY. Risk factors for renal scarring and deterioration of renal function in primary vesico-ureteral reflux children: a long-term follow-up retrospective cohort study. *PLoS One* 2013; 8: e57954. doi:10.1371/journal.pone.0057954
66. Matsuoka H, Tanaka M, Yamaguchi T et al. The long-term prognosis of nephropathy in operated reflux. *J Pediatr Urol* 2019; 15: 605 e601-605 e608. doi:10.1016/j.jpuro.2019.08.015
67. Finkelstein* J, Rague J, Varda B et al. MP64-14 RENAL SCARRING IS ASSOCIATED WITH ADVERSE RENAL OUTCOMES DURING LONGITUDINAL ASSESSMENT. *Journal of Urology* 2019; 201: e946-e947. doi:doi:10.1097/01.JU.0000556906.25332.4c
68. Gaeta M, Blandino A, Scribano E et al. Diagnostic pitfalls of breath-hold MR urography in obstructive uropathy. *J Comput Assist Tomogr* 1999; 23: 891-897. doi:10.1097/00004728-199911000-00012
69. Leyendecker JR, Barnes CE, Zagoria RJ. MR urography: techniques and clinical applications. *Radiographics* 2008; 28: 23-46; discussion 46-27. doi:10.1148/rg.281075077
70. Li Q, Wang D, Zhu X et al. Combination of renal apparent diffusion coefficient and renal parenchymal volume for better assessment of split renal function in chronic kidney disease. *Eur J Radiol* 2018; 108: 194-200. doi:10.1016/j.ejrad.2018.10.002
71. Genseke P, Rogasch JM, Steffen IG et al. Detection of obstructive uropathy and assessment of differential renal function using two functional magnetic resonance urography tools. A comparison with diuretic renal scintigraphy in infants and children. *Nuklearmedizin* 2017; 56: 39-46. doi:10.3413/Nukmed-0833-16-06
72. Özmen Z, Aktaş F, Bayrak İ et al. Diagnostic Value Of Dynamic Magnetic Resonance Urography In Childhood Obstructive Kidney Diseases. *Journal of Contemporary Medicine* 2017. doi:10.16899/gopctd.343178. doi:10.16899/gopctd.343178
73. Pennington DJ, Lonergan GJ, Flack CE et al. Experimental pyelonephritis in piglets: diagnosis with MR imaging. *Radiology* 1996; 201: 199-205. doi:10.1148/radiology.201.1.8816544
74. Kovanlikaya A, Okkay N, Cakmakci H et al. Comparison of MRI and renal cortical scintigraphy findings in childhood acute pyelonephritis: preliminary experience. *Eur J Radiol* 2004; 49: 76-80. doi:10.1016/S0720-048X(02)00350-9
75. De Pascale A, Piccoli GB, Priola SM et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging: new perspectives in the diagnostic pathway of non-complicated acute pyelonephritis. *Eur Radiol* 2013; 23: 3077-3086. doi:10.1007/s00330-013-2906-y
76. Faletti R, Cassinis MC, Fonio P et al. Diffusion-weighted imaging and apparent diffusion coefficient values versus contrast-enhanced MR imaging in the identification and characterisation of acute pyelonephritis. *Eur Radiol* 2013; 23: 3501-3508. doi:10.1007/s00330-013-2951-6
77. Vivier PH, Sallem A, Beurdeley M et al. MRI and suspected acute pyelonephritis in children: comparison of diffusion-weighted imaging with gadolinium-enhanced T1-weighted imaging. *Eur Radiol* 2014; 24: 19-25. doi:10.1007/s00330-013-2971-2
78. Aoyagi J, Kanai T, Odaka J et al. Non-enhanced magnetic resonance imaging versus renal scintigraphy in acute pyelonephritis. *Pediatr Int* 2018; 60: 200-203. doi:10.1111/ped.13465
79. Bosakova A, Salounova D, Havelka J et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging is more sensitive than dimercaptosuccinic acid scintigraphy in detecting parenchymal lesions in children with acute pyelonephritis: A prospective study. *J Pediatr Urol* 2018; 14: 269 e261-269 e267. doi:10.1016/j.jpuro.2018.02.014
80. Rathod SB, Kumbhar SS, Nanivadekar A et al. Role of diffusion-weighted MRI in acute pyelonephritis: a prospective study. *Acta Radiol* 2015; 56: 244-249. doi:10.1177/0284185114520862
81. Wang B, Sommer G, Spielman D et al. Evaluation of dynamic contrast-enhanced MRI in detecting renal scarring in a rat injury model. *J Magn Reson Imaging* 2010; 31: 1132-1136. doi:10.1002/jmri.22027
82. Chan YL, Chan KW, Yeung CK et al. Potential utility of MRI in the evaluation of children at risk of renal scarring. *Pediatr Radiol* 1999; 29: 856-862. doi:10.1007/s002470050713
83. Kavanagh EC, Ryan S, Awan A et al. Can MRI replace DMSA in the detection of renal parenchymal defects in children with urinary tract infections? *Pediatr Radiol* 2005; 35: 275-281. doi:10.1007/s00247-004-1335-0
84. Gordon I. Issues surrounding preparation, information and handling the child and parent in nuclear medicine. *J Nucl Med* 1998; 39: 490-494
85. Ljung B. The child in diagnostic nuclear medicine. *Eur J Nucl Med* 1997; 24: 683-690. doi:10.1007/bf00841410
86. Pintelon H, Dejonckheere M, Piepsz A. Pediatric nuclear medicine: a practical approach. *Q J Nucl Med* 1997; 41: 263-268
87. Pintelon H, Jonckheer MH, Piepsz A. Paediatric nuclear medicine procedures: routine sedation or management of anxiety? *Nucl Med Commun* 1994; 15: 664-666. doi:10.1097/00006231-

199408000-00012

88. Muller-Suur R, Gutsche HU. Tubular reabsorption of technetium-99m-DMSA. *J Nucl Med* 1995; 36: 1654-1658
89. Lassmann M, Treves ST, Group ESPDHW. Paediatric radiopharmaceutical administration: harmonization of the 2007 EANM paediatric dosage card (version 1.5.2008) and the 2010 North American consensus guidelines. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2014; 41: 1036-1041. doi:10.1007/s00259-014-2731-9
90. EANM. Dosage Calculator. Im Internet: <https://www.eanm.org/publications/dosage-calculator/>; Stand: 21.01.2020
91. Blaufox MD, De Palma D, Taylor A et al. The SNMMI and EANM practice guideline for renal scintigraphy in adults. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2018; 45: 2218-2228. doi:10.1007/s00259-018-4129-6
92. O'Reilly SE, Plyku D, Sgouros G et al. A risk index for pediatric patients undergoing diagnostic imaging with (99m)Tc-dimercaptosuccinic acid that accounts for body habitus. *Phys Med Biol* 2016; 61: 2319-2332. doi:10.1088/0031-9155/61/6/2319
93. Smith T, Evans K, Lythgoe MF et al. Radiation dosimetry of technetium-99m-DMSA in children. *J Nucl Med* 1996; 37: 1336-1342
94. Piepsz A, Hahn K, Roca I et al. A radiopharmaceuticals schedule for imaging in paediatrics. Paediatric Task Group European Association Nuclear Medicine. *Eur J Nucl Med* 1990; 17: 127-129. doi:10.1007/bf00811439
95. Smith T, Gordon I, Kelly JP. Comparison of radiation dose from intravenous urography and 99Tcm DMSA scintigraphy in children. *Br J Radiol* 1998; 71: 314-319. doi:10.1259/bjr.71.843.9616242
96. Vestergren E, Jacobsson L, Lind A et al. Administered activity of 99Tcm-DMSA for kidney scintigraphy in children. *Nucl Med Commun* 1998; 19: 695-701. doi:10.1097/00006231-199807000-00012
97. Mattsson S, Johansson L, Leide-Svegborn S et al. ICRP Publication 128: Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals: a compendium of current information related to frequently used substances. *Ann ICRP* 2015; 44: 7-321
98. Holm LE. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annex A. *Annals of the ICRP* 2007; 37: 137-246. doi:<https://doi.org/10.1016/j.icrp.2007.10.009>
99. Arnold RW, Subramanian G, McAfee JG et al. Comparison of 99mTc complexes for renal imaging. *J Nucl Med* 1975; 16: 357-367
100. Evans K, Lythgoe MF, Anderson PJ et al. Biokinetic behavior of technetium-99m-DMSA in children. *J Nucl Med* 1996; 37: 1331-1335
101. Lycklama à Nijeholt GAB, Pauwels EKJ, Arndt JW et al. The reliability of Tc-99m-DMSA scintigraphy in obstructive uropathy: is late scanning at 24 hours necessary? *World Journal of Urology* 1986; 3: 253-255. doi:10.1007/bf00632188
102. Lima MdCLd, Ramos CD, Brunetto SQ et al. Estimation of absolute renal uptake with technetium-99m dimercaptosuccinic acid: direct comparison with the radioactivity of nephrectomy specimens. *Sao Paulo Medical Journal* 2008; 126: 150-155
103. Akbal C, Şahan A, Garayev A et al. Assessment of Differential Renal Function in Children with Hydronephrosis: Comparison of DMSA and MAG-3. *Journal of Urological Surgery* 2015; 2: 129-134. doi:10.4274/jus.366
104. Caglar M, Kiratli PO, Karabulut E. Inter- and intraobserver variability of (99m)Tc-DMSA renal scintigraphy: impact of oblique views. *J Nucl Med Technol* 2007; 35: 96-99. doi:10.2967/jnmt.106.036111
105. Brenner M, Bonta D, Eslamy H et al. Comparison of 99mTc-DMSA dual-head SPECT versus high-resolution parallel-hole planar imaging for the detection of renal cortical defects. *AJR Am J Roentgenol* 2009; 193: 333-337. doi:10.2214/AJR.08.1788
106. Yen TC, Tzen KY, Lin WY et al. Identification of new renal scarring in repeated episodes of acute pyelonephritis using Tc-99m DMSA renal SPECT. *Clin Nucl Med* 1998; 23: 828-831. doi:10.1097/00003072-199812000-00008
107. Saleh Farghaly HR, Mohamed Sayed MH. Technetium-99m dimercaptosuccinic acid scan in evaluation of renal cortical scarring: Is it mandatory to do single photon emission computerized tomography? *Indian J Nucl Med* 2015; 30: 26-30. doi:10.4103/0972-3919.147530
108. Craig JC, Wheeler DM, Irwig L et al. How accurate is dimercaptosuccinic acid scintigraphy for the diagnosis of acute pyelonephritis? A meta-analysis of experimental studies. *J Nucl Med* 2000; 41: 986-993
109. Kim GE, Park JH, Kim JS et al. Comparison of Tc-99m DMSA Renal Planar Scan and SPECT for Detection of Cortical Defects in Infants with Suspected Acute Pyelonephritis. *Indian J Pediatr* 2019; 86: 797-802. doi:10.1007/s12098-019-02969-6
110. De Sadeleer C, Bossuyt A, Goes E et al. Renal technetium-99m-DMSA SPECT in normal volunteers. *J Nucl Med* 1996; 37: 1346-1349

111. Taylor AT, Brandon DC, de Palma D et al. SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline for Diuretic Renal Scintigraphy in Adults With Suspected Upper Urinary Tract Obstruction 1.0. *Semin Nucl Med* 2018; 48: 377-390. doi:10.1053/j.semnuclmed.2018.02.010
112. Buyukdereli G, Guney IB, Seydaoglu G. Effectiveness of diuretic injection on the measurement of differential renal function using Tc-99m DMSA in patients with a dilated renal pelvis. *Clin Nucl Med* 2005; 30: 721-724. doi:10.1097/01.rlu.0000183614.76106.4d
113. Dabbagh-Kakhki V, Ebrahimi-Rad M, Zakavi SR et al. Diuretic effect on the measurement of differential renal function using 99mTc-DMSA in patients with hydronephrosis. *Iranian Journal of Nuclear Medicine* 2006; 14
114. Piepsz A, Tamminen-Mobius T, Reiners C et al. Five-year study of medical or surgical treatment in children with severe vesico-ureteral reflux dimercaptosuccinic acid findings. International Reflux Study Group in Europe. *Eur J Pediatr* 1998; 157: 753-758. doi:10.1007/s004310050929
115. Yapar AF, Aydin M, Reyhan M et al. The conditions for which the geometric mean method revealed a more accurate calculation of relative renal function in 99mTc-DMSA scintigraphy. *Nucl Med Commun* 2005; 26: 141-146. doi:10.1097/00006231-200502000-00011
116. Lythgoe MF, Gradwell MJ, Evans K et al. Estimation and relevance of depth correction in paediatric renal studies. *Eur J Nucl Med* 1998; 25: 115-119. doi:10.1007/s002590050202
117. Porn U, Rossmuller B, Alalp S et al. [Calculation of the partial function of the kidney with DMSA in pediatrics: is the evaluation of the geometric mean necessary?]. *Nuklearmedizin* 2001; 40: 107-110
118. Hervas I, Marti JF, Gonzalez A et al. Is the depth correction using the geometric mean really necessary in a 99Tcm-DMSA scan in the paediatric population? *Nucl Med Commun* 2001; 22: 547-552. doi:10.1097/00006231-200105000-00013
119. Cunningham LJ, James JM, Burgess R. 39. How useful is the geometric mean as part of a DMSA test? *Nuclear Medicine Communications* 2002; 23: 394
120. Wujanto R, Lawson RS, Prescott MC et al. The importance of using anterior and posterior views in the calculation of differential renal function using 99Tcm-DMSA. *The British Journal of Radiology* 1987; 60: 869-872. doi:10.1259/0007-1285-60-717-869
121. Chroustova D, Trnka J, Sirova V et al. Comparison of planar DMSA scan with an evaluation based on SPECT imaging in the split renal function assessment. *Nucl Med Rev Cent East Eur* 2016; 19: 12-17. doi:10.5603/NMR.2016.0003
122. Cao X, Xu X, Grant FD et al. Estimation of Split Renal Function With (99m)Tc-DMSA SPECT: Comparison Between 3D Volumetric Assessment and 2D Coronal Projection Imaging. *AJR Am J Roentgenol* 2016; 207: 1324-1328. doi:10.2214/AJR.16.16307
123. Gordon I, Evans K, Peters AM et al. The quantitation of 99Tcm-DMSA in paediatrics. *Nucl Med Commun* 1987; 8: 661-670. doi:10.1097/00006231-198708000-00008
124. Roupakias S, Sinopidis X, Tsikopoulos G et al. Dimercaptosuccinic acid scan challenges in childhood urinary tract infection, vesicoureteral reflux and renal scarring investigation and management. *Minerva Urol Nefrol* 2017; 69: 144-152. doi:10.23736/S0393-2249.16.02509-1
125. Sheu JN, Wu KH, Chen SM et al. Acute 99mTc DMSA scan predicts dilating vesicoureteral reflux in young children with a first febrile urinary tract infection: a population-based cohort study. *Clin Nucl Med* 2013; 38: 163-168. doi:10.1097/RLU.0b013e318279f112
126. Majd M, Rushton HG. Renal cortical scintigraphy in the diagnosis of acute pyelonephritis. *Semin Nucl Med* 1992; 22: 98-111. doi:10.1016/s0001-2998(05)80085-6
127. Ataei N, Madani A, Habibi R et al. Evaluation of acute pyelonephritis with DMSA scans in children presenting after the age of 5 years. *Pediatr Nephrol* 2005; 20: 1439-1444. doi:10.1007/s00467-005-1925-6
128. Craig JC, Irwig LM, Howman-Giles RB et al. Variability in the interpretation of dimercaptosuccinic acid scintigraphy after urinary tract infection in children. *J Nucl Med* 1998; 39: 1428-1432
129. Treves ST, Harmon WE, Packard AB et al. Kidneys. In: Treves ST, Hrsg. *Pediatric Nuclear Medicine/PET*. New York, NY: Springer New York; 2007: 239-285. doi:10.1007/978-0-387-32322-0_10
130. Wallin L, Helin I, Bajc M. Kidney swelling. Findings on DMSA scintigraphy. *Clin Nucl Med* 1997; 22: 292-299. doi:10.1097/00003072-199705000-00002
131. Lee MJ, Son MK, Kwak BO et al. Kidney size estimation in Korean children with Technesium-99m dimercaptosuccinic acid scintigraphy. *Korean J Pediatr* 2014; 57: 41-45. doi:10.3345/kjp.2014.57.1.41
132. Kim BW, Song MK, Chung S et al. Evaluation of kidney size in children: a pilot study of renal length as a surrogate of organ growth. *Korean J Pediatr* 2012; 55: 54-57. doi:10.3345/kjp.2012.55.2.54
133. Temiz Y, Tarcan T, Onol FF et al. The efficacy of Tc99m dimercaptosuccinic acid (Tc-DMSA) scintigraphy and ultrasonography in detecting renal scars in children with primary vesicoureteral reflux (VUR). *Int Urol Nephrol* 2006; 38: 149-152. doi:10.1007/s11255-005-3829-6

Versionsnummer: 3.0

Erstveröffentlichung: 12/1999

Überarbeitung von: 11/2022

Nächste Überprüfung geplant: 08/2027

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit des Inhalts keine Verantwortung übernehmen. **Insbesondere bei Dosierungsangaben sind stets die Angaben der Hersteller zu beachten!**

Autorisiert für elektronische Publikation: AWMF online