

DGN-Handlungsempfehlung (S1-Leitlinie)

Knochenszintigraphie bei Kindern

Stand: 6/2015 – AWMF-Registernummer: 031-038

Autoren

H. Amthauer¹, R. Kluge², T. Pfluger³, C. Franzius^{4,5}

¹Klinik für Radiologie und Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Magdeburg A.ö.R., Otto-von-Guericke-Universität; ²Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Leipzig A.ö.R.; ³Klinik für Nuklearmedizin, LMU München; ⁴Zentrum für morphologische und molekulare Diagnostik (ZeMoDi); Zentrum für Nuklearmedizin und PET/CT, Bremen; ⁵Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Münster

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

I. Zielsetzung

Zweck dieser Leitlinie ist es, dem nuklearmedizinischen Team eine Hilfe für die tägliche Praxis anzubieten. Diese Leitlinie enthält Informationen über die Indikationen, die Untersuchungsdurchführung, Auswertung und Interpretation von Knochenszintigraphien bei Kindern. Sie sollte in Verbindung mit den üblichen Qualitätskriterien in der Nuklearmedizin und den Vorschriften der Strahlenschutzverordnung sowie der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin gesehen werden. Das zugrundeliegende EANM-Dokument wurde angeregt durch den Wunsch der EANM und der amerikanischen Society of Nuclear Medicine nach Richtlinien für nuklearmedizinische Untersuchungen. Es fasst die Meinung des Paediatric Committee der EANM zusammen und ist daher in einzelnen Bereichen mehr dem europäischen Standard der Nuklearmedizin angepasst. Bei der Überarbeitung wurde die deutsche Übersetzung der Leitlinie an die Gegebenheiten in Deutschland angepasst und aktualisiert.

II. Hintergrundinformation und Definitionen

Seit der Einführung von ^{99m}Tc -markierten Polyphosphaten hat sich die Knochenszintigraphie zu einem akzeptierten Verfahren zur Diagnose von Knochenerkrankungen in der Pädiatrie entwickelt. Dabei sind qualitativ hochwertige Bilder von wesentlicher Bedeutung. Dies erfordert das ruhige Liegen sowie eine korrekte Positionierung des Kindes wie auch eine optimale technische Ausstattung. Die Durchführung der Knochenszintigraphie in Zwei- oder Drei-Phasen-Technik wird bei vielen Fragestellungen empfohlen. Zusätzliche Techniken wie Pinhole-Aufnahmen oder SPECT- bzw. SPECT/CT-Akquisitionen sind bei speziellen Fragestellungen hilfreich. Abhängig vom Alter des Kindes finden sich beim wachsenden Skelett Unterschiede des Knochenmetabolismus, die die Interpretation der Untersuchungsergebnisse gegenüber den Verhältnissen beim Erwachsenen erschweren und Kenntnisse über die Normbefunde in der jeweiligen Altersgruppe erforderlich machen (21).

Bekanntermaßen hat die Knochenszintigraphie eine hohe Sensitivität bei der Früherkennung von Knochenerkrankungen, die mit einem pathologischen Knochenmetabolismus einhergehen; Röntgenaufnahmen, die vorwiegend morphologische Veränderungen erkennen lassen, sind dagegen weniger sensitiv, insbesondere beim Beginn der Erkrankung. Ein unauffälliges Knochenszintigramm schließt in der Regel eine Knochenerkrankung mit einem hohen Grad an Sicherheit aus. In speziellen Fällen können Verlaufskontrollen zusätzliche Informationen über die Wirksamkeit der Therapie und über die Prognose erbringen. Um die Spezifität der Knochenszintigraphie zu erhöhen, ist häufig eine vergleichende Interpretation von Knochenszintigraphie und Röntgenbildern hilfreich.

III. Allgemeine Indikationen

Die Knochenszintigraphie ist indiziert, wenn der Verdacht auf eine Knochenerkrankung besteht (17). Dabei ist die Knochenszintigraphie nicht notwendigerweise das primäre bildgebende Verfahren.

A. Wichtigste klinische Indikationen

1. Entzündliche Knochen- und Weichteilveränderungen

(1, 4, 5, 15, 16, 22, 24, 25, 37, 42, 44, 46)

- akute Osteomyelitis, DD: Weichteilentzündung
- subakute und chronische Osteomyelitis
- septische Arthritis, u.a. als Komplikation einer Osteomyelitis
- aseptische Arthritis

2. Knochentumoren

(2, 11, 12, 29, 32, 43, 45)

- gutartige Knochentumoren
- bösartige Knochentumoren
- „tumorlike lesions“, wie z. B. Langerhanszellhistiozytose/Histiozytosis X
- Beurteilung der Tumorausbreitung im Skelettsystem (Knochenmetastasen, ossärer Befall bei systemischen Tumoren, ggf. Knochenmarkbefall)

3. Aseptische Nekrose

(7 – 9, 14, 28, 38 – 40, 44, 51)

- Morbus Perthes
- aseptische Nekrosen anderer Lokalisationen und Knocheninfarkte
- Sichelzellanämie

4. Traumatisch bedingte Skeletterkrankungen

(3, 10, 20, 27, 31, 44, 50, 53)

- unauffällige oder unklare Röntgenbefunde nach Trauma
- Stressfrakturen
- Kindesmisshandlung
- Polytrauma
- Komplikationen bei Frakturen und deren Therapie

5. Sudeck-Erkrankung

(44)

Und ähnliche Erkrankung dieses Formenkreises

6. Intraoperative Tumorlokalisation mit Hilfe der Skelettszintigraphie

(44)

z. B. Osteoid-Osteom

7. Knochendysplasie

(44)

8. Andere klinische Symptome in der Pädiatrie

(18, 26, 36, 41, 44)

- Schmerzen, die durch Knochenerkrankungen hervorgerufen werden können
- Kinder, die hinken oder ständige Rückenschmerzen haben
- Kinder, die sich weigern zu stehen oder eine Extremität zu bewegen
- Fieber unklarer Genese

9. Bestimmung der Vitalität eines Knochentransplantats

B. Kontraindikation

Schwangerschaft bei Mädchen ab der Pubertät

IV. Durchführung

A. Informationen über vorherige Untersuchungen

Alle vorher durchgeführten Knochenszintigraphien sollten zur Verlaufsbeurteilung vorliegen und um sicherzustellen, dass ein ausreichendes Zeitintervall zur vorausgegangenen Untersuchung besteht (abhängig von der Art der Erkrankung). Ebenfalls sollten aktuelle Röntgenbilder, CT- und MRT-Aufnahmen sowie ggf. Laborergebnisse zur Verfügung stehen.

Eine kritische Prüfung des vorhandenen Bildmaterials sollte dabei insbesondere bei Planung einer SPECT/CT-Untersuchung erfolgen.

B. Patientenvorbereitung

1. Bei der Anmeldung

Die Eltern und das Kind sollten über das Untersuchungsverfahren selbst, die Dauer der Aufnahmen und über die Wartezeit zwischen Injektion und der Untersuchungsdurchführung informiert werden

2. Vorbereitung des Kindes vor der Injektion der radioaktiven Substanz

Bei der Ankunft in der nuklearmedizinischen Abteilung sollten Eltern und Kinder erneut über die Untersuchung aufgeklärt werden. Dabei sollten Informationen über frühere Frakturen, Traumata, Knochenoperationen u. ä. eingeholt werden. Außerdem kann zu diesem Zeitpunkt bereits mit der Anästhesie der späteren Injektionsstelle

(Creme, Pflaster) begonnen werden (35). Bei der Untersuchung von Säuglingen und kleinen Kindern hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Eltern darüber zu informieren, dass das Kind während der gesamten Aufnahmezeit ruhig gehalten werden muss. Alle Kinder sollten zudem aufgefordert werden, viel zu trinken, insbesondere in der Zeit zwischen Injektion des Radiopharmakons und Durchführung der Untersuchung. Diese gesteigerte Diurese führt zu häufigeren spontanen Miktionen, sodass sich spezielle Aufforderungen zur Miktion erübrigen. Damit wird eine niedrigere Strahlenexposition des Kindes und ein guter Knochen-Weichteil-Kontrast in der Spätphase erreicht.

Bei Durchführung einer SPECT/CT mit diagnostischer CT-Komponente ist eine Kontrastmittelgabe für die reine Beurteilung ossärer Strukturen in der Regel nicht erforderlich. Eine spezielle Vorbereitung des Patienten ist mit Ausnahme des Aufklärungshinweises auf die CT-bedingt erhöhte Strahlenexposition nicht erforderlich.

3. Kooperation des Kindes, Immobilisierung, Sedierung

Insbesondere für die Spätaufnahmen 3 h p. i. darf sich das Kind nicht bewegen. Bis zu einem Alter von 2 bis 3 Jahren wird die Untersuchung am besten dann durchgeführt, wenn das Kind normalerweise schläft. Da die meisten Babys und kleinen Kinder nach dem Mittagessen schlafen, wird empfohlen, die Zeitplanung so durchzuführen, dass die Spätaufnahmen in diese Schlafperiode fallen. Kooperative Eltern haben sich dabei als besonders hilfreich erwiesen. Für ältere Kinder wird eine kindgerechte Umgebung, ein Unterhaltungsprogramm mit Audio oder Video sowie ein kindgerechtes Verhalten der Bediensteten empfohlen. Vakuumkissen oder Sandsäcke mit Klettverschlüssen können eine Fixierung unterstützen, jedoch muss sichergestellt werden, dass durch das Fixationsmaterial der Abstand zwischen Kind und Kollimator nicht vergrößert wird. Eine Sedierung ist normalerweise für eine technisch gute Untersuchung nicht erforderlich, kann aber bei Patienten, die nicht kooperativ sein können oder wollen, notwendig werden. Als sichere Medikamente zur Sedierung haben sich Midazolam (rektal, nasal, p. o. oder i. v.) und Chloralhydrat (rektal oder oral) erwiesen. Midazolam ist auch als angstlösendes Pharmakon geeignet. In jedem Fall sollte jedoch, falls eine Sedierung eingesetzt wird, die Sedierungsrichtlinie der jeweiligen Institution beachtet werden und eine Absprache mit den Pädiatern/Anästhesisten erfolgen. Zusätzlich ist zu beachten, dass bei durchgeführter Sedierung auf eine anschließende orale Flüssigkeitszufuhr verzichtet werden sollte und dass oft spontane Blasenentleerungen entfallen; unter diesen Umständen kann ein Blasen-katheter erforderlich werden, insbesondere wenn das Becken ausreichend gut dargestellt werden soll.

C. Vorsichtsmaßnahmen

Keine.

D. Radiopharmazeutikum

1. Isotop ^{99m}Tc

2. Pharmakon Polyphosphonat

- MDP (Methylendiphosphonat)
- HMDP (Hydroxymethylendiphosphonat)
- DPD (Diphosphonopropandicarboxyl-Säure)

3. Applizierte Aktivität

Minimale Aktivitätsmenge: 40 MBq

Aktivitätsmenge für ein Körpergewicht von 70 kg KG (Erwachsene) (6):

- 500 MBq bei benignen Knochenerkrankungen
- 700 MBq bei malignen Knochenerkrankungen

Die Aktivitätsmenge sollte abhängig von der Körperoberfläche bzw. dem Körpergewicht entsprechend den Empfehlungen des Paediatric und des Dosimetry Committee der EANM (33) angepasst werden.

4. Injektion

Wenn eine Läsion an einem Arm zu erwarten ist, sollte die Injektion nicht an diesem Arm und wegen des Seitenvergleichs möglichst auch nicht am anderen Arm erfolgen. Zur Durchführung der Drei-Phasen-Technik muss die Akquisition gleichzeitig mit der Bolus-Injektion des Radiopharmakons gestartet werden. Für die Durchführung einer Zwei-Phasen-Technik muss die Akquisition unmittelbar nach der Injektion des Radiopharmakons gestartet werden. Wird nur die dritte (Mineralisations-)Phase untersucht, kann die Injektion des Radiopharmakons entweder an der Gammakamera oder in einem anderen Raum erfolgen. Wenn auf die Akquisition in der Perfusionsphase verzichtet wird, ist eine Bolus-Injektionstechnik nicht erforderlich.

5. Strahlenexposition

Die Strahlenexposition ist abhängig vom Alter des Kindes. Für ein Neugeborenes ergibt sich bei ^{99m}Tc -MDP eine effektive Dosis von 0,11 mSv/MBq. Diese nimmt mit dem Alter ab (0,042 mSv/MBq für ein 1-jähriges Kind; 0,021 mSv/MBq für ein 5-jähriges; 0,014 mSv/MBq für ein 10-jähriges und 0,0089 mSv/MBq für einen 15-jährigen Jugendlichen). Die höchste Strahlenexposition ergibt sich für die Knochenoberfläche (1,6 mGy/MBq bei einem Neugeborenen) und die Harnblasenwand (0,40 mGy/MBq wiederum für ein Neugeborenes). Dieser Wert fällt auf 0,076 mGy/MBq (Knochenoberfläche) und 0,042 mGy/MBq (Harnblasenwand) bei einem 15 Jahre alten Jugendlichen (13, 48, 52). Die oben angegebenen Strahlenexpositionswerte sind unter der Annahme berechnet, dass die Blase erst 3 h nach Injektion des Radiopharmazeutikums entleert wird. Wird jedoch die Flüssigkeitszufuhr erhöht mit der Folge einer schnelleren Blasenentleerung, dann verringern sich diese Werte deutlich.

Sollte im Rahmen der Skelettszintigraphie eine ergänzende CT zur Lokalisationsdiagnostik erforderlich sein (SPECT/CT), so muss unbedingt auf ein möglichst kleines Untersuchungsfeld und kindgerechte Untersuchungsparameter geachtet werden.

E. Durchführung der Untersuchung

Abhängig von der klinischen Fragestellung, wird die Knochenszintigraphie in Ein-, Zwei- oder Drei-Phasen-Technik durchgeführt.

1. Phase: Die Bilder der 1. Phase (beginnend mit der Injektion des Radiopharmazeutikums) zeigen den arteriellen Blutfluss im Untersuchungsareal.
2. Phase: Die 2. Phase (30 – 120 s nach Injektion) wird als Blutpoolphase bezeichnet.
3. Phase: Die Bilder der 3. Phase (2 – 4 h nach Injektion) zeigen die Osteoblastenaktivität und werden auch als Mineralisationsphase bezeichnet.

1. Detektorposition

Die höchste Qualität der Aufnahmen erreicht man, wenn das Kind dem Kollimator so nah wie möglich anliegt. Wenn vorhanden, sollte ein Spezialtisch mit einer Öffnung für den Kollimator eingesetzt werden, der es ermöglicht, dass das Kind direkt mit dem zu untersuchenden Körperanteil auf dem Kollimator liegt. Für SPECT-Studien sollten schmale Tische verwendet werden, die eine möglichst geringe Distanz zwischen Kind und Kamerakopf erlauben.

2. Kollimatoren

Für die Radionuklidangiographie und die Blutpoolbilder sollte ein „low energy all purpose“ (LEAP)-Kollimator oder ein „low energy high resolution“ (LEHR)-Kollimator verwendet werden. Die Spätaufnahmen 3 h p. i. sollten mit einem „low energy high resolution“ oder „low energy ultra high resolution“ (LEHR oder LEUHR)-Kollimator durchgeführt werden. Vergrößerte Bilder mit besserer Auflösung von kleinen Skelettabschnitten, wie den Hüften, den Händen oder Füßen können am besten mit einem Pinhole-Kollimator (47) erreicht werden (die Auflösung des Pinhole-Kollimators ist umgekehrt proportional zum Durchmesser der Öffnung [2 – 5 mm]). Je geringer der Pinhole-Kollimator vom zu untersuchenden Knochen entfernt ist, umso höher ist die Vergrößerung.

3. Positionierung des Kindes

Es wird empfohlen, alle Aufnahmen nur in liegender Position durchzuführen, in der Regel in Rückenlage. Ausnahmen sind Beckenbodenaufnahmen im Sitzen und Aufnahmen der Hände oder Ellbogen bei größeren Kindern, für die das Kind am besten vor dem horizontal gestellten Kamerakopf sitzt, mit den distalen Unterarmen und Händen direkt auf dem Kollimator. Hierzu können kleinere Kinder auch auf dem Schoß der Mutter sitzen.

Bei einer liegenden Position sollten die seitlichen Aufnahmen des Kopfes den Arm derselben Seite mit abbilden. Schrägaufnahmen des Thorax können ebenfalls in einer liegenden Position aufgenommen werden, wenn der Kamerakopf schräg angelegt wird.

Um die Hüften, Knie und Fibulae optimal abzubilden, sollten die Füße einwärts gedreht werden, hilfreich ist es, die Fußspitzen zu fixieren. Um pathologische Veränderungen an den Füßen nachweisen zu können, sollten sie in plantarer, dorsaler und seitlicher Position aufgenommen werden.

Sollte ein Kind Probleme haben, längere Zeit still zu liegen, oder wenn eine vermutete Aktivität im Nierenbecken differenzialdiagnostische Schwierigkeiten bereitet, dann können Aufnahmen auch in sitzender Position angefertigt werden.

4. Aufnahmetechnik

Obwohl eine wissenschaftliche Diskussion zur Notwendigkeit der ersten Phasen geführt wird, empfehlen die vorliegenden Richtlinien diese Untersuchungsvariante bei Kindern mit primären bösartigen Knochentumoren oder beim klinischen Verdacht auf eine lokalisierte Knochenkrankung. Bei Patienten mit multifokalen Knochenkrankungen sollten Blutpoolaufnahmen des ganzen Skelettes in ventraler und dorsaler Sicht (entweder Einzelaufnahmen oder in Ganzkörpertechnik) unmittelbar nach der Injektion des Radiopharmazeutikums begonnen werden.

Ganzkörperaufnahmen des Gesamtskeletts können in allen Fällen 2,5 – 4 h nach Injektion in ventraler und dorsaler Projektion aufgenommen werden, entweder als statische Einzelaufnahmen (möglichst bis zu einem Alter von 4 bis 5 Jahren) oder in Ganzkörpertechnik. **Achtung:** Findet sich eine lokalisierte Knochenpathologie, sollten immer Aufnahmen in zwei Ebenen durchgeführt werden; dies ist insbesondere bei Ganzkörperaufnahmen von wesentlicher Bedeutung.

Pathologische Bilder des Kopfes, des Beckens und insbesondere der Wirbelsäule können eine anschließende SPECT- bzw. SPECT/CT-Untersuchung erforderlich machen, um Befunde genauer zu lokalisieren (26, 30, 36, 41). Zusätzlich sollte SPECT bei allen Kindern, die Symptome in der Wirbelsäule oder im Becken haben, erfolgen, um evtl. Läsionen, die bei den planaren Aufnahmen nicht entdeckt wurden, zu detektieren. Obwohl in der Literatur wenig Daten existieren, die den sinnvollen Einsatz von SPECT bei unauffälligen planaren Aufnahmen der Wirbelsäule und des Beckens bestätigen, besteht doch zunehmend die Meinung, dass falsch-negative Befunde durch Verwendung von SPECT der Wirbelsäule und des Beckens verringert werden.

Für eine genaue Untersuchung von allen kleinen Skelettabschnitten, wie der Hüften und anderer Gelenke, ist die Durchführung von Pinhole-Aufnahmen bzw. SPECT/CT sinnvoll (43, 47).

5. Datenakquisition

Eine radioaktive Markierungsquelle kann zur Seitenlokalisierung der Extremitäten verwendet werden.

a. Durchblutungsphase

Dynamische Studie über 30 – 60 (– 180) s; 1 – 2 s pro Bild; 64 x 64 oder 128 x 128-Matrix.

b. Blutpoolphase

Die Blutpoolphase sollte innerhalb der ersten Minuten nach der Injektion abgeschlossen werden.

Einzelaufnahmen: 50 – 100 kcts für die Hände, Füße und Knie; 300 – 500 kcts für Kopf, Thorax, Wirbelsäule und Becken; 256 x 256-Matrix Ganzkörperaufnahmen (256 x 1024-Matrix): Scangeschwindigkeit 30 cm/min oder Gesamtaufnahmezeit von 10 min.

c. Spätaufnahmen (3. Phase)

2 – 4 h p. i.; Einzelaufnahmen: (50 –) 100 kcts für Hände und Füße; 100 – 200 kcts für die Kniegelenke; 300 kcts für den Schädel; 500 kcts für Thorax, Wirbelsäule und Becken; 256 x 256-Matrix Ganzkörperaufnahmen: möglichst Scangeschwindigkeit 8 cm/min für ein Alter von 4 (5) – 8 Jahren; Scangeschwindigkeit 10 cm/min, von 8 – 12 Jahren; Scangeschwindigkeit 12 cm/min von 12 – 16 Jahren; Scangeschwindigkeit 15 cm/min für ein Alter über 16 Jahren oder Gesamtuntersuchungszeit 30 min. Ggf. ist ein praktikabler Kompromiss zwischen Scangeschwindigkeit und Dauer der Untersuchung zu wählen.

d. SPECT

Die zu verwendende Untersuchungstechnik ist abhängig vom Typ des Gammakamerasystems. Eine 128 x 128-Matrix wird empfohlen.

e. SPECT/CT

Sollte nach erfolgter SPECT-Aquisition die Kombination mit einer zielgerichteten CT zur Lokalisations- bzw. Artdiagnostik notwendig sein, sollte zunächst geprüft werden, ob die Bildgebung mit low-dose CT bzw. einer diagnostischen CT erfolgen sollte. Insbesondere bei diagnostischen CT-Aufnahmen ist auf die jeweils herstellerspezifischen dosisparenden pädiatrischen Untersuchungsprotokolle zu verweisen. Eine eventuell erforderliche diagnostische CT-Akquisition ist dabei auf den pathologischen Bildbefund zu begrenzen.

f. Pinhole-Aufnahmen

Zwei Aufnahmen (betroffene Seite und Gegenseite) sind erforderlich; 600 – 900 s pro Bild; 256 x 256-Matrix oder 100 kcts für die gesunde Seite und identische Aufnahmezeit für die betroffene Seite zum besseren Vergleich.

F. Interventionen

Bei Kindern, die die Blase nicht entleeren können, kann ein Blasenkatheter erforderlich werden, um das Becken optimal beurteilen zu können. Ggf. kann eine Spätaufnahme z. B. auch am Folgetag für die überlagerungsfreie Darstellung des Beckens genutzt werden.

G. Datenauswertung

Bevor das Kind die Klinik verlässt, muss die Vollständigkeit und Qualität aller Untersuchungsdaten und die Notwendigkeit zusätzlicher Aufnahmen geprüft werden. Dynamische Studien sollten in Zwei- bis Drei-Sekunden-Bilder umgewandelt werden. Bei Verlaufsuntersuchungen, die immer mit gleicher Technik durchgeführt werden sollten, kann eine Quantifizierung mit „regions of interest“ mit identischer Größe und Lage zusätzliche Informationen erbringen.

SPECT-Auswertungen sollten mit einem Filter, der den Kontrast mäßig erhöht und die Daten nicht zu sehr glättet, durchgeführt werden. Weitere Details sind abhängig von dem Kamertyp und dem verwendeten Computersystem. Die Daten sollten in transversaler, sagittaler und koronarer Schnittrichtung in Bezug auf die Körperachse rekonstruiert werden. In einigen Fällen (z. B. der LWS) kann eine Reangulation in Bezug auf die Organachse notwendig werden. Die Schichtdicke sollte der Auflösung des Gammakamerasystems entsprechen. Bei SPECT/CT-Untersuchungen sollten auch low-dose CT-Aufnahmen mit isotropen Voxel rekonstruiert werden, um so eine multiplanare Auswertung der CT-Bilder zu ermöglichen. Ebenfalls sollte eine zusätzliche Rekonstruktion in der höchstmöglichen Geräteauflösung (z. B. 1 – 1,25 mm) erfolgen, da hiermit gerade bei der Beurteilung von z. B. Extremitäten-

knochen eine suffiziente Bildqualität erzielt werden kann und somit auf die additive Durchführung eines diagnostischen CT verzichtet werden kann.

H. Dokumentation

1. Durchblutungs-Serie
2. Blutpoolaufnahmen und Spätaufnahmen des gesamten Skeletts von ventral und dorsal je einmal in hellerer und dunklerer Aussteuerung
3. Teilkörperaufnahmen in allen akquirierten Sichten
4. Darstellung der relevanten Befunde aus der SPECT-Untersuchung in transversaler, koronarer und sagittaler Schnittrichtung

I. Interpretation, Befundung, Fehlermöglichkeiten und Normvarianten

Die qualitativ gute Darstellung des kindlichen Skeletts erfordert z. B. eine gut aufgelöste Abbildung der Wachstumsfugen, die am besten an den Kniegelenken gesehen werden können. Ein gesteigerter oder verminderter Knochenmetabolismus zeigt sich immer als gesteigerte oder verminderte Aufnahme der Technetium-Phosphat-Verbindung. Interpretationen der nuklearmedizinischen Bilder sollten immer unter Kenntnis der Befunde von Röntgen, Ultraschall, MRT, ggf. Laboruntersuchungen und klinischer Anamnese erfolgen, da z. B. eine längere Ruhigstellung einer Extremität zu einer diffus verminderten Aufnahme des Radiopharmakons in diesem Bereich führen kann; in gleicher Weise kommt beim Morbus Sudeck die schmerzhafteste Extremität generell hypoaktiv zur Darstellung. Insgesamt ist es bei der Befundung von kindlichen Skelettszintigraphien notwendig, das normale Erscheinungsbild des Skeletts abhängig vom jeweiligen Alter zu kennen (21).

Als mögliche Fehlerquelle kann das Fehlen einer vermehrten Anreicherung bei einer Osteomyelitis mit erhöhtem intraossären Druck und dadurch verminderter Durchblutung angesehen werden. Weitere Fehlermöglichkeiten werden durch die Kontamination mit radioaktivem Urin, Bewegungsartefakte oder schlechte, z. B. asymmetrische Lagerung des Kindes, hervorgerufen. Eine fundierte Kenntnis über mögliche Normvarianten, wie die altersabhängige Ossifikation, z. B. im Bereich der Hände, Füße, des Kopfes und des Sternums, oder die Kenntnis der normalen Synchondrosis im vorderen Schambeinast ist notwendig, um falsch positive Befunde zu reduzieren (23). Das „Durchscheinen“ von Zonen mit verstärktem Knochenumbau im Bereich der Knorpel-Knochen-Grenzen der Rippen auf den dorsalen Aufnahmen des Thorax darf nicht als Rippenfrakturen interpretiert werden.

J. Qualitätskontrolle

Hier ist eine möglichst gerade und symmetrische Lagerung des Kindes – abhängig von der klinischen Verfassung – von wesentlicher Bedeutung. Die eindeutig abgrenzbare Darstellung der Epiphysenfugen sowohl von Tibia und Fibula als auch von Radius und Ulna haben sich als Kriterien für eine hohe Qualität der kindlichen Knochenszintigraphie erwiesen. Die Qualität dieser Untersuchung kann ebenfalls durch eine scharf begrenzte Darstellung der Epiphysenfugen von Femur, Tibia und Fibula sowie durch eine eindeutige und scharfe Begrenzung der einzelnen Wirbelkörper und Rippen beurteilt werden. Um eine gut beurteilbare Darstellung des Beckens zu erreichen, sollte die Blase entleert sein.

K. ¹⁸F-Natriumfluorid-PET

Im Rahmen der Lieferengpässe für ^{99m}Tc-Generatoren in Deutschland infolge Reaktorwartungen und -ausfällen konnte der klinische Nutzen der ¹⁸F-NaF-PET als Alternative zur klassischen Skelettszintigraphie demonstriert werden. Die ¹⁸F-NaF-PET (auch als PET/CT oder PET/MRT) kann auch bei Kindern als Alternative zur ^{99m}Tc-MDP/HDP-Skelettszintigraphie eingesetzt werden. Falls die Aufnahme als PET/CT erfolgt, sollte diese unbedingt mit einer an die Körpermaße des Kindes adaptierten Niedrigdosis-CT erfolgen (siehe auch D5).

Bei der ¹⁸F-NaF-PET ist auf die sehr hohe Kontrastgebung des Tracers und die raschere renale Elimination gegenüber ^{99m}Tc-Phosphonatverbindungen hinzuweisen (49).

Die Strahlenexposition von ¹⁸F-NaF und ^{99m}Tc-MDP/HDP sind hierbei als vergleichbar einzustufen (19, 34). Vorschläge für die Tracer-Dosierung bei Kindern sind der EANM Paediatric Dosage Chart zu entnehmen (33). Obwohl z. B. für Rückenschmerzen kindlicher/jugendlicher Patienten ein Vorteil der Fluorid-PET gegenüber der konventionellen Szintigraphie

demonstriert werden konnte (34), ist die Datenlage bezüglich des Vorteils der ^{18}F -NaF-PET gegenüber der $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP/HDP-Skelettszintigraphie insbesondere hinsichtlich onkologischer Fragestellungen noch unzureichend.

V. Vorbehaltserklärung

Die Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin gibt Leitlinien heraus, um die Anwendung von Untersuchungsverfahren und Behandlungsmethoden in der Nuklearmedizin zu fördern. Diese Art von Empfehlungen gilt nicht für alle Gegebenheiten in der Praxis. Die Leitlinien sollen nicht den Anspruch erheben, dass sie alle in Frage kommenden Verfahren enthielten oder dass sie Methoden, die zum gleichen Ergebnis führen, ausschließen würden. Ob ein Untersuchungsverfahren angemessen ist, hängt zum Teil von der Prävalenz der Erkrankung in der Patientenpopulation ab. Außerdem können sich die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten in verschiedenen medizinischen Einrichtungen unterscheiden. Aus diesen Gründen dürfen Leitlinien nicht starr angewendet werden.

Fortschritte in der Medizin vollziehen sich schnell. Deshalb muss bei der Benutzung einer Leitlinie auf ihr Entstehungsdatum geachtet werden.



VI. Literaturverzeichnis

1. Allwright S, Miller J, Gilsanz V. Subperiosteal abscess in children: Scintigraphic appearance. *Radiology* 1991; 179: 725 – 729.
2. Balingit A, Rudd S, Williams S. Clinical utility of bone SPECT scintigraphy in renal metastases from primary osteosarcoma. *Clin Nucl Med* 1994; 19: 1098 – 1101.
3. Bellah R, Summerville D, Treves S, et al. Low-back pain in adolescent athletes: Detection of stress injury to the pars interarticularis with SPECT. *Radiology* 1991; 180: 509 – 512.
4. Bongers H, Loup E, Reuland P, et al. Radiological and scintigraphic features of primary chronic osteomyelitis. *Fortschr Roentgenstr* 1988; 149: 136 – 142.
5. Bressler E, Conway J, Weiss S. Neonatal osteomyelitis examined by bone scintigraphy. *Radiology* 1984; 152: 685 – 688.
6. Bundesamt für Strahlenschutz. Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen. BAnz Nr. 143 vom 5. August 2003
7. Calver R, Venugopal V, Dorgan J, et al. Radionuclide scanning in early diagnosis of Legg-Perthes disease. *J Bone Joint Surg (Br)* 1981; 63B: 379 – 382.
8. Cavailloles F, Bok B, Bensahel H. Bone scintigraphy in the diagnosis and follow up of Perthes disease. *Eur J Nucl Med* 1982; 7: 327 – 330.
9. Conway J. A scintigraphic classification of Legg-Calve-Perthes disease. *Semin Nucl Med* 1993; 23: 274 – 295.
10. Conway J, Collins M, Tanz R, et al. The role of bone scintigraphy in detecting child abuse. *Semin Nucl Med* 1993; 23: 321 – 333.
11. Dogan A, Conway J, Miller J, et al. Detection of bone lesions in Langerhans cell histiocytosis: Complementary roles of scintigraphy and conventional radiography. *J Pediatr Hematol Oncol* 1996; 18: 51 – 58.
12. Edeline V, Frouin F, Bazin J, et al. Factor analysis as a means of determining response to chemotherapy in patients with osteogenic sarcoma. *Eur J Nucl Med* 1993; 20: 1175 – 1185.
13. Eißner D, Wolf R. Strahlenbelastung des Kindes bei der Knochenszintigraphie mit Tc-99m-markierten Phosphatverbindungen. *Fortschr Roentgenstr* 1980; 132: 331 – 335.
14. Fötter R, Lammer J, Ritter G. 5-year scintigraphic study of children with Perthes disease. Diagnostic evaluation and therapeutic consequences. *Fortschr Roentgenstr* 1982; 137: 141 – 146.
15. Gilday D. Problems in scintigraphic detection of osteomyelitis. *Radiology* 1980; 135: 791.
16. Gilday D, Paul D, Paterson J. Diagnosis of osteomyelitis in children by combined blood pool and bone imaging. *Radiology* 1975; 117: 331 – 335.
17. Gordon I, Hahn K, Fischer S. Atlas of bone scintigraphy in the pathological paediatric skeleton. Berlin: Springer Verlag, 1996.
18. Gordon I, Peters A, Nunn R. The symptomatic hip in childhood: Scintigraphic findings in the presence of a normal radiograph. *Skeletal Radiol* 1987; 16: 383 – 386.
19. Grant FD, Fahey FH, Packard AB, et al. Skeletal PET with 18F-fluoride: applying new technology to an old tracer. *J Nucl Med*. 2008; 49(1): 68 – 78.
20. Haase G, Ortitz V, Sfakianakis G. The value of radionuclide bone scanning in the early recognition of deliberate child abuse. *J Trauma* 1980; 20: 873 – 875.
21. Hahn K, Fischer S, Gordon I. Atlas of bone scintigraphy in the developing paediatric skeleton. Berlin: Springer Verlag, 1993.
22. Handmaker H, Leonards R. The bone scan in inflammatory osseous disease. *Semin Nucl Med* 1976; 6: 95 – 105.
23. Hardorff R, Gips S. Ischiopubic synchondrosis. Normal finding, increased pubic uptake on bone scintigraphy. *Clin Nucl Med* 1992; 17: 139.

24. Howmann-Gilles R, Uren R. Multifocal OM in childhood: Review by radionuclide bone scan. *Clin Nucl Med* 1992; 17: 274 – 278.
25. Hughes L, Aronson J. Skeletal infections in children. *Curr Opin Pediatr* 1994; 6: 90 – 93.
26. Ithoh K, Hashimoto T, Shigenobu K, et al. Bone SPECT of symptomatic lumbar spondylosis. *Nucl Med Commun* 1996; 17: 389 – 396.
27. Jaudes P. Comparison of radiography and radionuclide bone scanning in the detection of child abuse. *Pediatrics* 1984; 73: 166 – 168.
28. Kaniklides C, Sahlstedt B, Lonnerholm T, et al. Conventional radiography and bone scintigraphy in the prognostic evaluation of Legg-Calve-Perthes disease. *Acta Radiol* 1996; 37: 561 – 566.
29. Kauffman W, Winer-Muram H, Sandlund J. Detection of adrenal metastasis from osteosarcoma by Tc-99m MDP scintigraphy. *Clin Nucl Med* 1995; 20: 741.
30. Keogan M, Antoun N, Wraight E. Evaluation of the skull base by SPECT. A comparison with planar scintigraphy and computed tomography. *Clin Nucl Med* 1994; 19: 1055 – 1059.
31. Kleinmann P, Marks S, Spevak M. Fractures of the rib head in abused children. *Radiology* 1992; 185: 119 – 123.
32. Körholz D, Wirtz I, Vosberg H, et al. The role of bone scintigraphy in the follow-up of osteogenic sarcoma. *Eur J Cancer Part A* 1996; 32: 461 – 464.
33. Lassmann M, Biassoni L, Monsieurs M, et al. EANM Dosimetry and Paediatrics Committees. The new EANM paediatric dosage card. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2008; 35(9): 1666 – 8.
34. Lim R, Fahey FH, Drubach LA, et al. Early experience with fluorine-18sodium fluoride bone PET in young patients with back pain. *J Pediatr Orthop*. 2007; 27(3): 277 – 82
35. Ljung B. The child in diagnostic nuclear medicine. *Eur J Nucl Med* 1997; 24: 683 – 690.
36. Mandell G, Harcke H. Scintigraphy of spinal disorders in adolescents. *Skeletal Radiol* 1993; 22: 393 – 401.
37. Mortenson W, Edeburn G, Fries M, et al. Chronic recurrent multifocal Osteomyelitis in children – a roentgenological and scintigraphic investigation. *Acta Radiol* 1988; 29: 565 – 570.
38. Naumann T, Bischoff U, Puhl W. Can follow-up scintigraphy be a decision aid for therapy choice in Perthes disease? *Klin Pädiatr* 1993; 205: 404 – 410.
39. Oshima M, Yoshihara Y, Ito K, et al. Initial stage of Legg-Calve-Perthes disease: Comparison of three-phase bone scintigraphy and SPECT with MR imaging. *Eur J Radiol* 1992; 15: 107 – 112.
40. Ranner G. Die Osteochondrosis deformans coxae juvenilis (Morbus Legg-Calve Perthes) im MR-Tomogramm: Diagnose und Verlaufsbeurteilung in Korrelation zu Röntgen und Skelettszintigraphie. *Fortschr Roentgenstr* 1990; 153: 124 – 130.
41. Read M. Single photon emission computed tomography (SPECT) scanning for adolescent back pain. A sine qua non? *Br J Sports Med* 1994; 28: 56 – 57.
42. Reuland P, Aicher K, Dopfer R, et al. Differential diagnosis of the infantile osteomyelitis – classification according to scintigraphic, radiologic and magnet resonance tomographic findings. *Nuklearmedizin* 1996; 35: 68 – 77.
43. Roach P, Conolly L, Zurakowski D, et al. Osteoid Osteoma: Comparative utility of high-resolution planar and pinhole magnification scintigraphy. *Paediatr Radiol* 1996; 26: 222 – 225.
44. Roßmüller B, Hahn K, Fischer S. Bone scintigraphy in non-neoplastic diseases in children. *Quart J Nucl Med* 1998; 42: 133 – 147.
45. Sathekge M, Clauss R. Criteria and quantification of fibrous dysplasia on MDP scanning. *Nuklearmedizin* 1995; 34: 229 – 231.

46. Schauwecker D. The scintigraphic diagnostic of osteomyelitis. *Am J Roentgenol* 1992; 158: 9 – 18.
47. Spence L, Kaar K, Mc Cabe J, et al. The role of bone scintigraphy with pinhole collimation in the evaluation of symptomatic pediatric hips. *Clin Radiol* 1994; 49: 820 – 823.
48. Stabin M, Gelfand M. Dosimetry of pediatric nuclear medicine procedures. *Q J Nucl Med* 1998; 42: 93 – 112.
49. Stauss J, Hahn K, Mann M, et al. Guidelines for paediatric bone scanning with ^{99m}Tc-labelled radiopharmaceuticals and ¹⁸F-fluoride. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010; 37(8): 1621 – 8.
50. Sty J, Starshak R. The role of bone scintigraphy in the evaluation of the suspected child abuse. *Radiology* 1983; 146: 369 – 375.
51. Theissen P, Rutt J, Linden A, et al. The early diagnosis of Perthes disease: The value of bone scintigraphy and magnetic resonance imaging in comparison with x-ray findings. *Nuklearmedizin* 1991; 30: 265 – 271.
52. Thomas S, Gelfrand M, Kereiakes F, et al. Dose to the metaphyseal growth complexes in children undergoing Tc-99m-EHDP bone scan. *Radiology* 1978; 126: 193.
53. Wilcox J, Moniot A, Green J. Bone scanning in the evaluation of exercise related stress injuries. *Radiology* 1977; 123: 669 – 673.

