

DGN-Handlungsempfehlung (S1-Leitlinie)

## **Skelettszintigraphie**

Stand: 4/2013 – AWMF-Registernummer: 031-022

### **Autoren**

R. Bares

Abteilung Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Tübingen

W. Brenner

Klinik für Nuklearmedizin, Charité – Universitätsmedizin Berlin

C.-M. Kirsch

Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum des Saarlands, Homburg/Saar

### **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](mailto:office@nuklearmedizin.de)

## I. Zielsetzung

Ziel dieser Leitlinie ist die Unterstützung medizinischen Fachpersonals, insbes. des Nuklearmediziners bei der Indikationsstellung, Durchführung, Beurteilung und Befunderstellung der Skelettszintigraphie

## II. Hintergrundinformation und Definitionen

Die **Skelettszintigraphie** ist ein funktionelles bildgebendes Verfahren zur Beurteilung des regionalen Knochenstoffwechsels. Es basiert auf der planaren und ggf. auch tomographischen Darstellung der Verteilung eines mit  $^{99m}\text{Tc}$  markierten osteotropen Radiopharmazeutikums.

Bei der **Ganzkörperskelettszintigraphie** werden planare Aufnahmen des gesamten Skeletts von Schädel, Körperstamm und den proximalen Extremitätenabschnitten in anteriorer und posteriorer Sicht erstellt, die nach Bedarf und spezieller Fragestellung durch Aufnahmen der distalen Extremitätenabschnitte bzw. weitere Projektionen (lateral/schräg) komplettiert werden können. Die **Teilkörperskelettszintigraphie** bildet demgegenüber nur ausgewählte Abschnitte des Skeletts ab. Die **Knochen-SPECT** erzeugt Tomogramme einzelner oder zusammenhängender Skelettabschnitte (Ganzkörper-SPECT), die bei Anwendung von Hybrid-Systemen (**SPECT/CT**) mit einer CT des untersuchten Skelettabschnitts verglichen, fusioniert und gemeinsam beurteilt werden können.

Die **Mehrphasen-Skelettszintigraphie** bezieht durch frühe Messungen die Radioaktivitätsverteilung in der arteriellen und venösen Blutbahn in die Untersuchung ein. In der ersten Untersuchungsphase (Perfusionsphase) wird durch eine rasche Folge planarer Szintigramme, die unmittelbar nach der Tracerinjektion aufgezeichnet werden, der arterielle Blutfluss im interessierenden Körperabschnitt dargestellt. Das venöse Blutvolumen dieses Bereichs wird durch ein oder mehrere planare Szintigramme erfasst, die 2-5 Minuten nach Injektion aufgezeichnet werden (Blutpoolphase). Alternativ oder ergänzend kann durch einen schnellen Ganzkörper-Scan auch die Verteilung des regionalen Blutvolumens im gesamten Körper erfasst werden. Durch Vergleich der Frühaufnahmen mit den Spätaufnahmen, die die relative Intensität des Knochenstoffwechsels wiedergeben (s. o.), kann die Interpretation pathologischer Befunde verbessert und oft bereits ohne Einbeziehung morphologischer Befunde die Ursache eines gesteigerten Knochenstoffwechsels korrekt erkannt werden. Die Durchführung einer Mehrphasen-Skelettszintigraphie ist somit immer dann sinnvoll, wenn Hinweise auf einen lokalen ossären Prozess vorliegen, auf den dann die Frühphase der Untersuchung fokussiert wird.

## III. Indikationen

Die Skelettszintigraphie hat sich seit vielen Jahren als einfaches und sensitives Verfahren zum Nachweis bzw. Ausschluss krankhafter Veränderungen am Skelettsystem bewährt (1). Sie ermöglicht einerseits eine schnelle Beurteilung des gesamten Skeletts, andererseits kann sie als metabolische Untersuchung pathologische Befunde bereits zu einem Zeitpunkt entdecken, an dem sie noch zu keiner radiologisch fassbaren morphologischen Veränderung geführt haben. Die Skelettszintigraphie kann bei verschiedenen Patientengruppen (Kinder, Erwachsene, symptomatische oder asymptomatische Patienten) und unterschiedlichen klinischen Situationen indiziert sein. Vor Durchführung sollte grundsätzlich geprüft werden, wie wahrscheinlich ein pathologischer Befund unter Berücksichtigung des klinischen Bildes ist, ob die Skelettszintigraphie zu diesem Zeitpunkt die günstigste Untersuchungsmethode ist und welche Relevanz ihre Ergebnisse für die weitere Behandlung haben.

Nachfolgend werden klinische Situationen aufgelistet, bei denen die Durchführung einer Skelettszintigraphie indiziert ist. Der Reihenfolge liegt keine Wertung zugrunde, auch erhebt die Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit und drückt auch nicht aus, dass die Skelettszintigraphie in diesen Fällen das primäre bildgebende Verfahren ist oder sein sollte.

- Nachweis oder Ausschluss einer Skelettmetastasierung bei gesichertem malignen Tumor (insbesondere primäre Knochentumoren und Tumoren mit häufiger ossärer Metastasierung, auch CUP-Syndrom)
- Osteomyelitis, Spondylodiscitis
- Nachweis oder Ausschluss einer knöchernen Beteiligung bei Weichteiltumoren bzw. Weichteilentzündungen

- Arthropathien, insbesondere Arthritiden
- Unklare Knochenschmerzen
- Unklare Knochenbefunde in der morphologischen Diagnostik
- Beschwerden bei Gelenkprothesen (Lockerung, Entzündung)
- Frakturverdacht (z. B. bei Battered Child Syndrome oder unklaren Befunden in der morphologischen Diagnostik) bzw. unklares Frakturalter
- Avaskuläre Nekrosen und Knocheninfarkte
- Algodystrophie (M. Sudeck)
- Vitalität von Knochentransplantaten
- Ektope Osifikationen
- lokale oder generalisierte Störungen des Knochenstoffwechsels (z. B. M. Paget, Hyperparathyreoidismus, Osteomalazie)
- Beurteilung des regionalen Knochenstoffwechsels vor Schmerztherapie mit osteotropen Radiopharmaka

#### **IV. Durchführung der Untersuchung**

##### **A. Patientenvorbereitung**

Prinzip und technische Durchführung der Untersuchung sollten dem Patienten vor Untersuchungsbeginn erklärt werden. Sofern nicht kontraindiziert, sollten die Patienten gut hydriert sein und aufgefordert werden, mindestens 1 Liter Flüssigkeit zwischen Injektion und Spätaufnahmen zu sich zu nehmen. Der Patient sollte vor Aufnahmebeginn seine Blase entleeren und nach der Untersuchung noch für mindestens 24 Stunden reichlich trinken. Bezüglich der Besonderheiten bei der Untersuchung von Kindern siehe „Empfehlungen zur Knochenszintigraphie bei Kindern“ (2).

##### **B. Notwendige Vorabinformationen**

Voraussetzung für eine korrekte Indikationsstellung und Festlegung der optimalen Untersuchungsmethodik ist eine präzise Fragestellung. Auch eine ausführliche Anamneseerhebung in Bezug auf frühere Tumorerkrankungen (Histologie, Tumorstadium, bisherige Therapie und Verlauf), Frakturen/Traumata, entzündliche Erkrankungen (insbes. Osteomyelitis, Arthritis, Weichteilinfekte), Ödeme, metabolische Knochenerkrankungen und Funktionsstörungen von Körperteilen ist unerlässlich. Diese sollte auch aktuelle Symptome und körperliche Untersuchungsbefunde einschließen. Kurz zurückliegende nuklearmedizinische Untersuchungen oder Behandlungen (insbesondere mit  $^{131}\text{I}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{111}\text{In}$ ) und deren Ergebnisse sind ebenso zu erfassen wie Befunde anderer bildgebender Verfahren (z. B. konventionelles Röntgen, CT, MRT). Auch frühere Therapiemaßnahmen, die den szintigraphischen Befund beeinflussen können (z. B. Antibiotika, Steroide, Chemotherapie, Radiotherapie, Bisphosphonate, Eisentherapie) oder frühere orthopädische (z. B. Implantation von Endoprothesen) oder nicht-orthopädische Operationen (z. B. Ileum Conduit), die das Ergebnis der Skelettszintigraphie beeinflussen können, sind zu erfragen. Auch wichtige Laborergebnisse (z. B. PSA-Spiegel bei Prostatakarzinomen) oder anatomische bzw. funktionelle Auffälligkeiten der Nieren (Dialysepflichtigkeit) und ableitenden Harnwege (Nephrostoma, Ileum Conduit o. ä.) sollten bekannt sein.

##### **C. Vorsichtsmaßnahmen / Kontraindikationen**

Im Falle einer Schwangerschaft ist die Durchführung einer Skelettszintigraphie nicht grundsätzlich kontraindiziert, die Indikationsstellung muss jedoch sehr streng erfolgen und auf einer individuellen Abwägung zwischen dem erwarteten Nutzen und dem theoretischen Strahlenrisiko durch die Untersuchung basieren. Bei Frauen in der Stillphase sollte für 48 Stunden eine Brustfütterung des Kindes unterbleiben.

## D. Radiopharmaka

Verschiedene Markierungskits für  $^{99m}\text{Tc}$  stehen kommerziell zur Verfügung, z. B. Methylendiphosphonat (MDP), Pyrophosphat (PYP), Diphosphono-Propandicarbonsäure (DPD), Oxydronat / Hydroxyethylendiphosphonat (HDP). Unverträglichkeitsreaktionen sind bislang nicht bekannt geworden. Bei der Präparation des Radiopharmakons muss ein Luftzutritt in das Reaktionsgefäß sorgfältig vermieden werden, da der Luftsauerstoff das im Kit vorhandene Reduktionsmittel Sn(II) oxidiert und damit eine Markierung unmöglich wird. In fraglichen Fällen sollte eine Qualitätskontrolle vor Injektion erfolgen. Eine aktuelle Alternative stellt die PET bzw. PET/CT mit  $^{18}\text{F}$ -Natriumfluorid dar (3).

Der derzeit gültige Referenzwert des Bundesamtes für Strahlenschutz für die zu applizierende Radioaktivitätsmenge liegt für die Untersuchung benigner Erkrankungen bei 550 MBq und für die Untersuchung maligner Erkrankungen bei 700 MBq (4). Im Falle ausgesprochen adipöser Patienten kann die Aktivitätsmenge mit kurzer schriftlicher Begründung auf bis zu 11-13 MBq/kg Körpergewicht gesteigert werden (Kinder siehe unter (2)).

**Tabelle 1**

Strahlenexposition bei normaler Knochenspeicherung und Nierenfunktion (5, 6)

Radiopharmakon	Applizierte Aktivität (MBq)	Kritisches Organ (mGy/MBq)	Effektive Dosis (mSv/MBq)
$^{99m}\text{Tc}$ -Phosphonate und -Phosphate	550-700	Knochen (0,063)	0,0057

Effektive Dosis bei benignen Erkrankungen (550 MBq): 3,13 mSv.

Effektive Dosis bei malignen Erkrankungen (700 MBq): 3,99 mSv.

## E. Datenakquisition

Das Untersuchungsprotokoll richtet sich nach der zu beantwortenden Fragestellung und den vorliegenden Zusatzinformationen (siehe oben). Bei einem vermuteten entzündlichen Geschehen (Arthritis/Osteomyelitis) oder einem unklaren Knochenbefund/Knochentumor ist eine Drei-Phasen Skelettszintigraphie indiziert.

Zur Erfassung des arteriellen Blutflusses (Perfusion) muss die Gamma-Kamera vor Tracerinjektion über der interessierenden Körperregion positioniert werden. Die Akquisition sollte unmittelbar mit der Injektion beginnen und für 30-60 Sekunden fortgesetzt werden. Blutpoolaufnahmen können 2-10 Minuten p. i. aufgezeichnet werden. Danach ist mit einer relevanten Traceraufnahme im Skelett zu rechnen. In der Perfusionsphase ist eine 64 x 64-Matrix (oder feiner) bei einer Akquisitionszeit von 0,5-3 Sekunden/Frame zu empfehlen. Für Blutpoolaufnahmen sollte eine 128 x 128-Bildmatrix (oder feiner) gewählt werden. Die Gesamtzählrate sollte mindestens 300 kCts/Bild (Extremitäten: 150-200 kCts/Bild) betragen. Die verwendete Gammakamera sollte mit einem geeigneten Niedrigenergiekollimator mit normaler (all purpose) oder hoher Auflösung (high resolution) ausgestattet sein.

Spätaufnahmen werden üblicherweise 2-5 Stunden nach Injektion aufgezeichnet. Noch spätere Aufnahmen (6-24 Stunden p. i.) können zu einem höheren Bildkontrast führen und eine bessere Beurteilung des Beckens erlauben, falls dieses auf den Routineaufnahmen durch Blasenaktivität überlagert ist. Aufnahmen nach 6-24 Stunden können insbesondere bei Patienten mit einer Niereninsuffizienz bzw. Harnausscheidungsstörungen hilfreich sein.

Die Ganzkörperszintigraphie erfolgt i. d. R. als kontinuierlich aufgezeichneter Ganzkörper-Scan in anteriorer und posteriorer Sicht, alternativ sind auch überlappende Einzelaufnahmen möglich. Ist die Wahrscheinlichkeit einer disseminierten Erkrankung gering, kann bei entsprechender Fragestellung eine fokussierte Teilkörper-Untersuchung (nur einzelne Sichten interessierender Regionen) vertretbar sein. Generell ist auf eine exakt symmetrische Lagerung des Patienten zu achten, um eine zuverlässige Beurteilung korrespondierender

Skelettabschnitte zu ermöglichen (z. B. Iliosacralfugen). Zusätzliche Sichten (lateral, schräg, tangential) oder besondere Lagerungen (Froschstellung der Hüften, Sitz auf dem Detektor etc.) können für bestimmte Fragestellungen hilfreich sein.

Ganzkörper-Scans werden üblicherweise in einer 256 x 1 024-Matrix (oder feiner) aufgezeichnet. Die Scan-Geschwindigkeit sollte vor Aufnahmebeginn so gewählt werden, dass in anteriorer und posteriorer Sicht jeweils mindestens 1 500 kCts akquiriert werden (10-15 cm/min). Bei Aufzeichnung von Einzelaufnahmen sollte mit dem Brustkorb begonnen werden und die Aufnahmezeit für 500-1 000 kCts für die folgenden Einzelaufnahmen benutzt werden. Als Bildmatrix ist 256 x 256 zu empfehlen.

Durch Anwendung der SPECT ist es in Einzelfällen möglich, in planarer Technik nicht abgrenzbare Herde zu erkennen. Überdies erlaubt die SPECT eine exakte Herdlokalisation und bessere Darstellung der Herdausdehnung. Die Durchführung sollte gemäß den Angaben des Geräteherstellers erfolgen, wobei sich ggf. eine Optimierung des Rekonstruktionsalgorithmus als zweckmäßig erweisen kann. Typische Aufnahmeparameter sind: 360 ° Rotation, 120 Winkelschritte zu 10-40 Sekunden (oder entsprechende kontinuierliche Akquisition), Aufnahmematrix 128 x 128 (siehe DGN-Handlungsempfehlung „Nuklearmedizinische Bildgebung“ (AWMF-Registernr. 031-030) (7)). Hinsichtlich der Fluorid-PET wird auf die entsprechende Handlungsempfehlung verwiesen (3). Bei Anwendung der SPECT/CT sind die für die jeweilige Fragestellung und den jeweiligen Gerätetyp (CT) empfohlenen radiologischen Aufnahmeprotokolle zu berücksichtigen (8).

Die Verwendung eines Pinhole-Kollimators kann zur Erzielung von Szintigrammen mit besonders hoher Auflösung sinnvoll sein. Ca. 75-100 kCts sollten pro Sicht akquiriert werden. Zoom oder konvergierende Kollimatoren können ebenfalls zur Verbesserung der Bildauflösung verwendet werden, wenn kleine Körperstrukturen oder Kinder untersucht werden. Bei der Bildinterpretation sollten jedoch etwaige Verzerrungseffekte der verwendeten Kollimatoren berücksichtigt werden.

Bei Patienten mit Schmerzen ist zur Reduzierung von Bewegungsartefakten auf eine bequeme Lagerung sowie ausreichende und rechtzeitige Analgesie vor der Untersuchung zu achten.

## **F. Interventionen**

Falls durch überlagernde Blasenaktivität die Beurteilung des Beckens erschwert ist, sollte eine oder mehrere der folgenden Aufnahmen zusätzlich aufgezeichnet werden: Wiederholungsaufnahme unmittelbar nach Blasenentleerung, Aufnahme sitzend auf dem Detektor oder schräge Projektion, seitliche Projektion, Spätaufnahme nach 6-24 Stunden. Als Alternative bietet sich eine Becken-SPECT, idealerweise mit mehreren schnellen Akquisitionen (5-10 Minuten pro Akquisition) an, um Rekonstruktionsartefakte aufgrund von Änderungen der Blasenfüllung während der Untersuchung zu vermeiden. Eine Blasenkateterisierung unmittelbar vor der Aufnahme liefert durch vollständige Entleerung der Harnblase zwar optimale Bedingungen, sollte als invasiver Eingriff jedoch nur nach strenger Indikationsstellung erwogen werden, d. h. wenn eine exakte Beurteilung des Beckens von hoher klinischer Relevanz ist. Urinbeutel bei Blasenkathetern bzw. sonstige Ableitungen (z. B. postoperative Drainagesysteme) sollten wenn möglich vor der Untersuchung entleert werden.

Bei Paravasaten sollte die betroffene Extremität zur Verbesserung der Bildskalierung aus dem Gesichtsfeld herausgenommen bzw. das Paravasat per Nachbearbeitung aus dem Bild „ausgeschnitten“ werden.

## **G. Datenauswertung**

Eine Rechner-gestützte Bildverarbeitung und -analyse ist grundsätzlich anzustreben, um eine optimale Beurteilung regional unterschiedlicher Speicherverhältnisse erzielen zu können. Seit kurzem stehen Software-Pakete zur Verfügung, die durch Nachbearbeitung der Originaldaten eine Auflösungsverbesserung der SPECT oder der planaren Szintigramme ermöglichen sollen. Sie können bei verkürzter Akquisitionszeit zu einer verbesserten Herderkennbarkeit führen (9, 10). Aufgrund des veränderten Gesamteindrucks der Bilder sollten sie jedoch nur in Zusammenschau mit den Originalaufnahmen verwendet werden.

Bei Verwendung von SPECT/CT-Systemen ist auf die korrekte Fusion der Datensätze zu achten. Zur Befundung sollten die schwächungskorrigierten SPECT-Daten verwendet werden (8).

## H. Befundung

Zur Interpretation der aufgezeichneten Szintigramme sollten folgende Kriterien herangezogen werden:

- Wie ist die technische Qualität der Untersuchung (ungenügend, genügend - jedoch suboptimal, optimal)? Wird die Untersuchung nicht als technisch optimal angesehen, sollten die Gründe analysiert und bei der Befundung ggf. berücksichtigt werden.
- Besteht eine gegenüber der normalen Radioaktivitätsverteilung vermehrte oder verminderte ossäre Speicherung? Ist diese fokal oder diffus?

Obwohl die Differentialdiagnose skelettszintigraphischer Herdbefunde umfangreich ist, kann unter Berücksichtigung von Lage, Anzahl und Konfiguration der Herde eine Eingrenzung erreicht werden, aus der sich eine rationale Empfehlung für etwaige weitere diagnostische Maßnahmen ableiten lässt. Fokale Speicherdefekte ohne Mehranreicherung in den umgebenden Knochenabschnitten sind verdächtig auf Schwächungsartefakte, knöcherne Defekte (nach chirurgischer Resektion) oder Defekte des Messgeräts.

- Besteht ein verändertes Speichermuster im Vergleich zu Voruntersuchungen?

Eine Abnahme von Anzahl und Intensität der Herde spricht oft für eine Befundbesserung und kann u. a. nach lokal wirksamen Behandlungen auftreten (z. B. Radiotherapie). Eine Zunahme von Anzahl und Intensität der Herde spricht für eine Progression der Erkrankung, kann jedoch auch Initialeffekt einer wirksamen Therapie sein (sog. Flare Effekt).

Bei der Interpretation von Herdbefunden sollten alle zur Verfügung stehenden Zusatzinformationen genutzt werden, insbesondere Anamnese, körperlicher Untersuchungsbefund, Ergebnisse anderer bildgebender Verfahren, speziell szintigraphischer Voruntersuchungen und Laboruntersuchungen.

- Besteht eine physiologische Darstellung der Weichteile (Nieren, Harnblase, sonstige Weichteilanreicherungen)? Eine diffus vermehrte Weichteilspeicherung ist bei Niereninsuffizienz, Dehydratation und verkürztem Intervall zwischen Injektion und Bildgebung zu erwarten. Eine diffus verminderte Weichteilspeicherung und (nahezu) fehlende Nierendarstellung finden sich bei einem „Superscan“ oder verlängertem Intervall zwischen Injektion und Bildgebung.

Bei der Befundung sollten vorhandene morphologische Datensätze vergleichend und/oder nach Bildfusion (dediziertes SPECT/CT-System oder Software-gestützte Fusion von SPECT-Daten mit CT und/oder MRT-Daten) herangezogen werden, um eine optimale diagnostische Zuverlässigkeit zu erreichen (11, 12).

## I. Berichterstellung und Dokumentation

Folgende Aspekte sollten bei der Berichterstellung berücksichtigt werden:

- Die angewendete Untersuchungstechnik sollte vollständig beschrieben werden (Ein-, Zwei- oder Drei-Phasen Skelettszintigraphie, Teilkörperszintigraphie der ersten Phase, dann Teilkörper- bzw. Ganzkörperszintigraphie der weiteren Phasen, ggf. SPECT oder SPECT/CT, Art und Zeitpunkt von Spätaufnahmen, Radiopharmakon und injizierte Aktivität, Ort der Injektion).
- Beschreibung unphysiologischer oder untypischer Radioaktivitätsverteilungen (Mehr- oder Minderspeicherungen? Speichermuster? Ossäre oder Weichteilanreicherungen?).
- Vergleich mit anderen bildgebenden Verfahren bzw. szintigraphischen Voruntersuchungen.

- Bei der Interpretation ist eine weitestgehende Einengung der Differentialdiagnosen anzustreben, dazu eine Empfehlung weiterer diagnostischer Maßnahmen soweit erforderlich.

## J. Qualitätssicherung

Siehe DGN-Handlungsempfehlung „Nuklearmedizinische Bildgebung (AWMF-Registernr. 031-030) (7).

## K. Fehlerquellen

### 1. Falsch positive Befunde

können u. a.

- durch Urinkontamination oder externe Urinableitungen,
- Fehlinjektion/Radioaktivität an Tupfern, Verbandmaterial etc.,
- Radioaktivität außerhalb des Patienten (Kontaminationen der Untersuchungsliege, Kleidung etc.) und
- Bewegungen des Patienten während der Akquisition

entstehen.

### 2. Falsch negative Befunde

können u. a.

- bei homogen erhöhter Knochenspeicherung (sog. Superscan),
- zu früher Anfertigung der Szintigraphie,
- Beschränkung auf Teilkörper-Szintigramme (unerwartete Herde werden nicht erfasst),
- lytischen Läsionen (deutlich niedrigere Sensitivität für Defekte im Vergleich zu Mehranreicherungen) oder
- Beckenherden (durch Blasenaktivität überlagert)

auftreten.

### 3. Eingeschränkte Beurteilbarkeit der Szintigramme

entsteht

- durch zu großen Abstand zwischen Kollimator und Patient,
- bei Artefakten durch Lagerungshilfen (Weichteilkompression),
- Bewegung des Patienten,
- früherer Applikation von höher energetischen Radionukliden ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{111}\text{In}$ ) oder einer  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  markierten Substanz mit einer intensiven Organanreicherung, die die Skelettbeurteilung behindert,
- bei chemischer Instabilität des Radiopharmazeutikums,
- Änderung der Blasenaktivität während einer SPECT des Beckens und
- durch Implantate, Kontrastmittel oder andere schwächende Materialien, die die Darstellung normaler Strukturen verändern.

## V. Offene Fragen

Als Hybridsystem steht seit mehreren Jahren die SPECT/CT zur Verfügung. Die bislang vorliegenden Studien deuten an, dass insbes. die Anzahl unklarer Herde durch Erkennung und Differenzierung benignen Veränderungen (entzündlich, degenerativ oder posttraumatisch)

verbessert werden kann (12, 13, 14). Auch eine Steigerung der Sensitivität für Metastasen (z. B. durch Nachweis lytischer Herde in der CT, die sich in der Szintigraphie nicht darstellten) wurde beschrieben (13), die zukünftig durch die Anwendung als Ganzkörper-SPECT/CT noch weiter verbessert werden könnte. Praktisch umgesetzt ist dies in der  $^{18}\text{F}$ -Fluorid PET und PET/CT, wobei prospektive Vergleichsstudien zwischen Ganzkörper-SPECT/CT und  $^{18}\text{F}$ -Fluorid PET/CT bislang fehlen.

## VI. 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.

## VII. Literaturverzeichnis

1. Schümichen C, Dunkelmann S. Pathophysiologische Grundlagen und diagnostische Grenzen der konventionellen Skelettszintigraphie. *Nuklearmediziner* 2006; 29: 227-236.
2. Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin (Hrsg.). Empfehlungen zur Knochenszintigraphie bei Kindern. AWMF-Registernr. 031-038.
3. Hellwig D, Krause BJ, Schirrmeister H, Freesmeyer M. Skelettdiagnostik mittels  $^{18}\text{F}$ -Natriumfluorid-PET und -PET/CT. AWMF-Registernr. 031/047.
4. Bundesamt für Strahlenschutz. Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen, 25. September 2012. URL: [http://www.bfs.de/de/ion/medizin/diagnostik/drw\\_nuklearmedizin.pdf](http://www.bfs.de/de/ion/medizin/diagnostik/drw_nuklearmedizin.pdf)
5. ICRP Publication 80: Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. *Annals of ICRP* 1998, 28: 3.
6. MIRD Dose Estimate Report No. 13: Radiation Absorbed Dose from Technetium-99m-Labeled Bone Imaging Agents. *J Nucl Med* 1989; 30: 1117-1122.
7. Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin (Hrsg.). Nuklearmedizinische Bildgebung. AWMF-Registernr. 031/030.
8. Ritt P, Hornegger J, Kuwert T. Technik und physikalische Aspekte der SPECT/CT. *Der Nuklearmediziner* 2011; 34: 9-20.
9. Stansfield EC, Sheehy N, Zurakowski D, Vija AH, Fahey FH, Treves ST. Pediatric  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone SPECT with ordered subset expectation maximization iterative reconstruction with isotropic 3D resolution recovery. *Radiology* 2010; 257: 793-801.
10. Livieratos L, Mohan H, Gnanasegaran G, Fogelman I. Comparison of 10 versus 20 min SPECT  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone scans: use of 3D-OSEM image reconstruction with distance-dependent resolution modelling. *Nucl Med Commun* 2010; 31: 1045-1053.
11. Even-Sapir E: Imaging of malignant bone involvement by morphologic, scintigraphic, and hybrid modalities. *J Nucl Med* 2005; 46: 1356-1367.
12. Horger M, Bares R. The role of SPECT/CT in benign and malignant bone disease. *Semin Nucl Med* 2006; 31: 1045-1053.
13. Römer W. Knochenszintigraphie und SPECT/CT zum Staging. *Der Nuklearmediziner* 2011; 34: 21-27.

14. Linke R, Kuwert T, Uder M, Forst R, Wuest W. Skeletal SPECT/CT of the peripheral extremities. AJR 2010; 194: 329-335.

