

SPECT-CT – Chancen in der Gelenkdiagnostik und Beurteilung von Patienten nach Endoprothetik

SPECT-CT – Prospects in Joint Imaging and Diagnostic Follow up after Arthroplasty

Autoren

H. Rasch¹, M. T. Hirschmann², R. Huegli¹

Institute

¹ Institut für Radiologie und Nuklearmedizin, Kantonsspital Baselland, Standort Bruderholz, Schweiz

² Klinik für Orthopädische Chirurgie und Traumatologie des Bewegungsapparates, Kantonsspital Baselland, Standort Bruderholz, Schweiz

Schlüsselwörter

- SPECT-CT
- Endoprothetik
- Prothesenposition
- Knochenszintigrafie
- Prothesenlockerung
- Infekt

Key words

- SPECT-CT
- arthroplasty
- prosthesis alignment
- bone scan
- prosthesis loosening
- infection

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1321822>
 Der Nuklearmediziner 2012;
 35: 154–160
 © Georg Thieme Verlag KG
 Stuttgart · New York
 ISSN 0723-7065

Korrespondenzadresse

H. Rasch
 Institut für Radiologie und
 Nuklearmedizin
 Kantonsspital Baselland Standort
 Bruderholz
 4101 Bruderholz/Schweiz
 helmut.rasch@ksbh.ch

Zusammenfassung



Die Einführung der SPECT-CT hat die orthopädische Bildgebung wesentlich erweitert. Die Auflösung moderner Hybridgeräte erlaubt die Untersuchung aller Gelenkregionen bis zu kleinen Fuß- und Handgelenken. Bei bestehenden Kontraindikationen für eine MRT stellt die SPECT-CT in vielen Fällen eine gleichwertige Alternative zur Bildgebung dar. In der Abklärung nach Endoprothetik ist sie aufgrund der Metallartefaktproblematik dem MRT überlegen. Die Kombination von metabolischen, strukturellen und biomechanischen 3D-Informationen in einer Untersuchung verbessert die Einordnung szintigrafischer Befunde entscheidend und erhöht damit signifikant die Diagnosesicherheit, verbunden mit einem verbesserten Therapiemanagement. Abschließend bleibt anzumerken, dass diese multimodale Bildgebung viel fachübergreifendes Wissen vom Nuklearmediziner verlangt, welches aus eigener Erfahrung nur im Rahmen einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit mit dem zuweisenden Kliniker erreicht werden kann.

Einleitung



Gelenkerkrankungen spielen in der orthopädischen Praxis eine dominierende Rolle. Die Osteoarthritis stellt weltweit die häufigste orthopädische Erkrankung des Erwachsenenalters dar [7]. Die Prävalenz etwa der Gonarthrose wird in der Literatur in der Gruppe über 70 Jahren mit über 90% angegeben [33]. Aufgrund der demografischen Entwicklung ist in den nächsten Jahren mit einer deutlich steigenden Patientenzahl zu rechnen, die zunehmend auch in jüngerem und höherem Alter einer endoprothetischen Versorgung bedürfen [3, 19]. Zunehmend wird der Anteil Patienten, die nach Endoprothetik unzufrieden bzw. nicht schmerzfrei sind, zunehmen. Aktuell werden bereits 20–40% aller Patienten

Abstract



In the last few years SPECT-CT has expanded the application of bone scanning in orthopedic imaging. The high resolution of modern Hybrid scanners facilitates imaging of every joint inclusively small joints in foot and ankle. In case of contraindications for MRI and the presence of metall artefacts SPECT CT mostly provides an equivalent or superior imaging procedure. The combination of metabolism, morphology and 3D biomechanics in one examination improves diagnostic accuracy and thereby therapeutic decision and management. The multimodality approach is challenging and needs close collaboration between nuclear physician and orthopedic specialist.

nach Knie totalprothese dieser Gruppe zugeordnet. Die konventionelle Röntgendiagnostik ist als Basisuntersuchung häufig allein nicht in der Lage, die Ursache der teils komplexen Beschwerdebilder zu klären. Bis auf wenige Indikationen, wie periprothetische Pseudotumoren, verhindern ausgeprägte Metallartefakte einen breiten Einsatz der MRT bei diesen Patienten. Die SPECT-CT bietet derzeit als einziges bildgebendes Verfahren die Möglichkeit, dieses Problem zu überwinden. In einer „one shop“ Strategie ist es möglich metabolische, strukturelle und biomechanische Daten zu kombinieren, die Diagnostik zu verbessern und die Therapieplanung zu optimieren. Die folgende Arbeit soll einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von SPECT-CT der wichtigsten Gelenke geben.



Abb. 1 Schulterprotheselockerung. Im CT Nachweis eindeutiger, lockerungstypischer undulierender Lysesäume (weiße Pfeile) glenoidal mit Reduktion des Knochenstockes. Szintigrafisch nur minimal erhöhter Uptake bei fortgeschrittener Lyse.

Untersuchungstechnik

Alle Gelenkuntersuchungen führen wir als klassische 3-Phasen-Skelettszintigrafie durch, wobei die Einstrom- und Bloodpoolphase jeweils über dem pathologischen Gelenk akquiriert werden. Auch bei negativem Uptake in der Untersuchungsregion folgt der Ganzkörperuntersuchung eine kombinierte SPECT-Akquisition und eine diagnostische CT, da sich diskrete Befunde aufgrund geringer Countzahl im planaren Ganzkörperscan maskieren oder wie im Fall einer Prothesenlockerung auch vollständig negativ sein können. In gleicher Sitzung erlauben komplexere Untersuchungsprotokolle zusätzliche Akquisitionen auch der Nachbargelenke/ -regionen (z. B. Facettenarthrose der unteren LWS bei Coxarthrose) oder zur biomechanischen Auswertung z. B. der Beinachsen in 3D [11, 17]. Die CT sollte am pathologischen Gelenk in Dünnschichttechnik < 1 mm Schichtdicke durchgeführt werden, um eine optimale Rekonstruktionsqualität in 3D zu gewährleisten und die Knochenstruktur gut beurteilen zu können.

Schultergelenk

Eine Vielzahl von Erkrankungen können zu Funktionseinschränkungen des Schultergelenks führen, die als ultima ratio mit einem Gelenkersatz therapiert werden. Fester Bestandteil der primären Diagnostik ist neben Projektionsradiografien in 2 Ebenen die (Arthro-)MRT. Der hohe Weichteilkontrast ermöglicht eine Beurteilung aller Gelenkabschnitte einschl. der Intaktheit der Rotatorenmanschette. Nach Schulterprothetik ist aufgrund der Metallartefakte eine MRT-Bildgebung nahezu unmöglich. Daten aus Großbritannien [26], Australien [34] oder den USA [34] belegen die stetig wachsende Zahl von Patienten mit Schulterprothese. Die große Zahl diverser Prothesentypen reicht vom einfachen Resurfacing des Humeruskopfes, über Teilprothesen ohne Glenoidkomponente bis zur inversen Schulterprothese [34, 35]. Für eine adäquate Indikationsstellung und Prothesenwahl ist eine präoperative Diagnostik der Knochenverhältnisse speziell des glenoidalen Knochenstockes notwendig. Trotz Metallartefakten erlaubt die SPECT-CT in aller Regel eine ausreichende Knochenbeurteilung. Bis auf Kasuistiken [16] liegen derzeit keine systematischen Literaturdaten für das Schultergelenk vor. Die publizierten Fälle zeigen jedoch, dass mittels SPECT-CT therapierelevante Informationen wie die Ausdehnung von Osteolysen bei aseptischer Lockerung (Abb. 1), die Qualität des Knochenstocks vor Revision und andere mögliche Begleiterkrankungen

oder Schmerzursachen wie subacromiales Impingement erfasst werden können. Zusätzlich ergeben sich aus der 3D-Positionsbestimmung der Prothesenkomponenten wichtige Hinweise auf das weitere Lockerungsrisiko wie Daten von Farron et al. [6] zeigten. Mit der hochspezifischen Antigranulocytenzintigrafie lassen sich Infekte ausschließen oder ihre Ausdehnung sowohl im Knochen als auch den Weichteilen präzise erfassen. Systematische Daten zum Einsatz dieser Methode bei Gelenkinfekten liegen jedoch derzeit nur von Graute et al. [9] für das Hüft- und Kniegelenk vor, deren Übertragbarkeit jedoch anzunehmen ist.

Hüftgelenk

Die primäre Bildgebung bei schmerzhaftem Hüftgelenk ist eine Dömane der konventionellen Röntgendiagnostik und der MRT. Bei Kontraindikationen wie z. B. Herzschrittmacher kann alternativ die SPECT-CT Hüftpathologien sehr gut visualisieren. Bei unspezifischer Schmerzlokalisierung mit breiter Differenzialdiagnose kann einfacher als im MRT das Untersuchungsfeld auf Nachbarregionen wie z. B. die untere LWS ausgedehnt werden, um aktivierte Facettengelenksarthrosen als Ursache auszuschließen oder auch einer gezielten bildgestützten Probeinfiltration zuzuführen. Der Hüftgelenkersatz ist neben dem Kniegelenkersatz eine der am häufigsten durchgeführte Arthroplastien. Allein in der Schweiz werden jährlich rund 15 000 Eingriffe durchgeführt, deren Zahl nicht zuletzt aufgrund der demografischen Entwicklung weiter ansteigen wird [5]. In der präoperativen Situation ergeben sich derzeit außer bei Infekt, komplexen posttraumatischen Befunden oder im Rahmen von Studien keine gesicherten Indikationen für die Durchführung einer SPECT-CT. Die Nachkontrollen erfolgen üblicherweise mit konventionellen Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen, die nach Lockerungszeichen wie Saum- und Granulombildung, Periostreaktionen, ektope Ossifikationen und Komponentenposition analysiert werden. Eine gute Übersicht der möglichen radiologischen Befunde findet sich bei Pluot et al. [31, 32]. Bei 15–25% der Patienten persistieren oder entwickeln sich kurz nach der Operation Beschwerden, die den behandelnden Orthopäden häufig vor große differenzialdiagnostische Probleme stellen. Diese Patienten werden zunehmend einer SPECT-CT Untersuchung zugeführt. Die Frühphasen geben Hinweise auf Infekte, eine entzündliche Aktivierung ektope Ossifikationen (Abb. 2) oder pathologische Weichteilprozesse. Die SPECT-CT detektiert auch subtile ossäre Befunde, die der Projektionsradiografie in frühen Stadien entgehen können. Entscheidend für eine korrekte Interpretation der

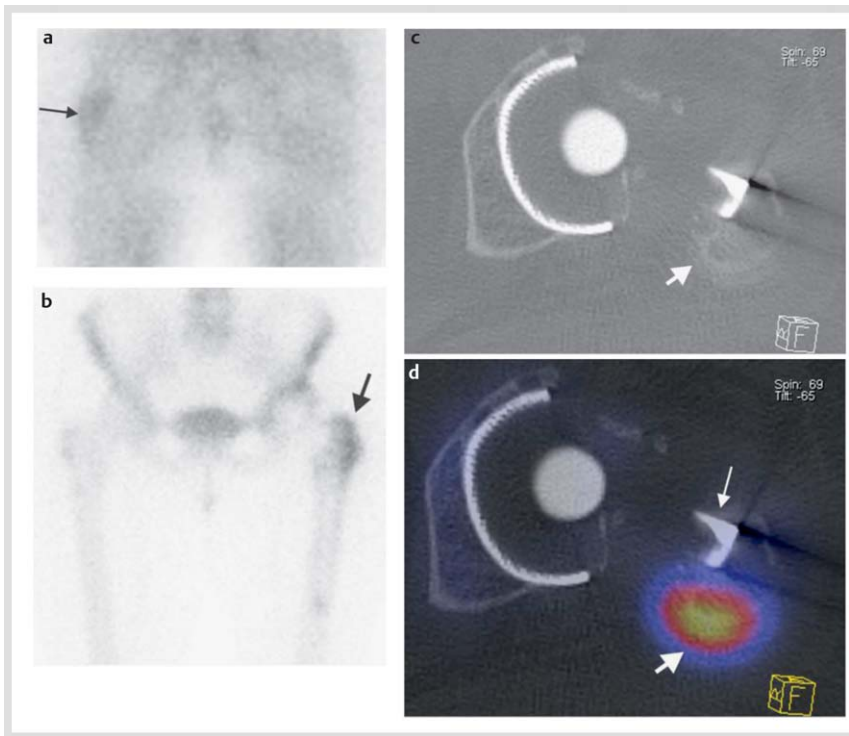


Abb. 2 Postoperativer Hüftschmerz bei ektope Ossifikationen. Im CT ausgeprägte ektope Ossifikationen am dorso-kranialen Rand des Trochanter major links (c und d kurzer weißer Pfeil, dünner Pfeil Prothesenschulter). Szintigrafisch schon in der Bloodpoolphase mäßiger Uptake als Hinweis auf floride metabolische Prozesse (a Pfeil schwarz). In der Mineralisationsphase verstärkte Nukidspeicherung (b). Nach Lokalinfiltration Abklingen der Beschwerden.

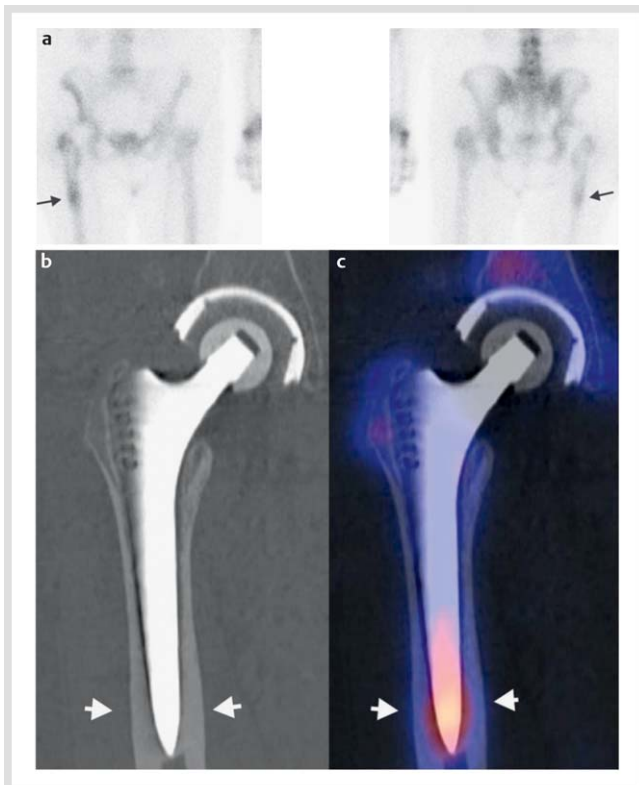


Abb. 3 Distal verblockende nicht zementierte Hüftprothese. Planar a umschriebener Uptake am distalen Prothesenschaft. In der SPECT CT b u. c eindeutige Zuordnung zum distalen Prothesenschaftsdrittel ohne radiologische Lockerungszeichen, jedoch deutlicher enostaler Kortikalverdickung als Stressreaktion bei distal fixierter Prothese.

SPECT-CT und des Verteilungsmusters der Traceraufnahme ist eine genaue Kenntnis der Biomechanik des jeweiligen Prothesentyps, um rein biomechanisch induzierte Uptakemuster, z. B. im Fall einer distal verblockenden Prothese (Abb. 3) oder bei varisch eingebrachter Prothese, nicht fälschlich als Lockerung zu interpretieren. Auch führt nicht jede Lockerung zwangsläufig zu einem erhöhten Uptake. Unsere eigenen, operativ bestätigten Fälle legen nahe, dass die Breite des mit Granulationsgewebe aufgefüllten Prothesen-Knochen- bzw. Zement-Knocheninterfaces einen Einfluss auf die Osteoblastenstimulation und damit direkt auf die Traceraufnahme zu haben scheint. Somit können sich „inverse“ Befundmuster mit szintigrafisch negativer Lockerszone und „heißer“ intakter Prothesenfixationszone ergeben (Abb. 4). In diesen szintigrafisch negativen Fällen ist die CT dem Röntgen überlegen, da gerade das Protheseninterface konventionell am Acetabulum nur eingeschränkt einzusehen ist, wodurch die prognostisch wichtige Frühdiagnostik erschwert ist. Eine wichtige Komplikation nach Gelenkersatz sind Infektionen, die in 1–2% primär und in 3–5% nach Revisionen auftreten. Da mit der 3-Phasen-Knochenszintigrafie eine therapieentscheidende Differenzierung zwischen aseptischer Lockerung und einem septischen Geschehen nicht möglich ist, ist hier eine Infekt spezifische Diagnostik als Antigranulozytenszintigrafie indiziert. Aktuelle Übersichten mit Diskussion verschiedener Tracer und den Einsatz der PET-CT wurde von C. Love 2009 [25] und Gemmel et al. 2011 [8] publiziert. Generell erhöht die genaue anatomische Zuordnung eines „hotspots“ die Spezifität, da falsch positive Befunde z. B. durch Knochmarkinseln in den periprothetischen Weichteilen vermieden werden können. In einer Metaanalyse von Emilius et al. [30] werden für die Antigranulozytenszintigrafie eine Sensitivität von 90% und eine Spezifität von 81% angegeben. Abschließend bleibt anzumerken, dass „low-grade“-Infekte ein großes diagnostisches Problem darstellen. So fand Moojen et al. [28] an bioptischen Daten eine Infektrate von 4–13% bei präoperativ als aseptische Lockerung diagnostizierten Patienten. Inwieweit hier neue Tracer wie z. B.

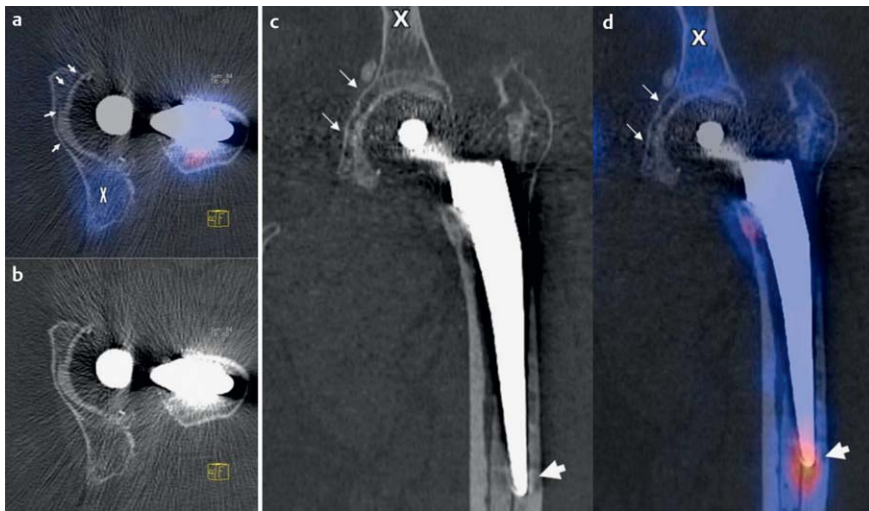


Abb.4 Pfannenlockerung szintigrafisch negativ. Radiologisch klare Lockerung der Pfanne mit bis zu 6 mm breiten Lysesäumen an ventralem und kaudalem Acetabulum (dünne weiße Pfeile in a, c, d). Diese Zone wirkt im Vergleich zur Fixationszone (X in c und d) photopen. Migration der Schaftspitze nach lateral mit fokalem erhöhtem Uptake (dicker Pfeil). Diskreter Uptake am proximalen Schaftdrittel medial bei lockerungsbedingtem Varusstress.

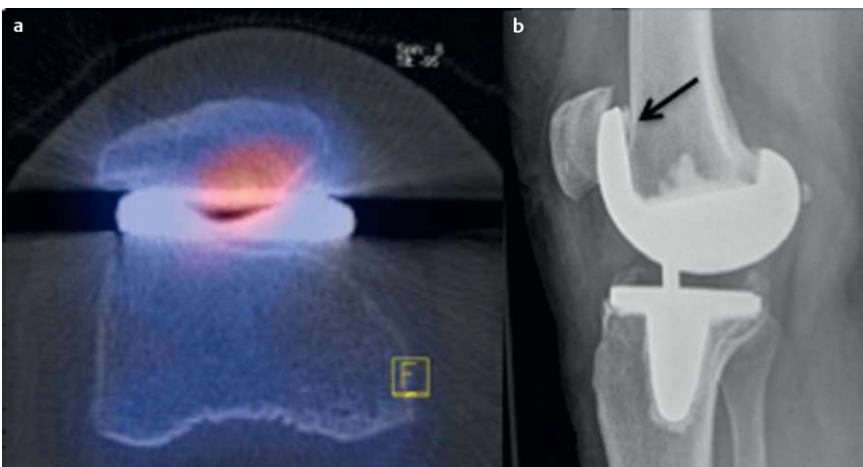


Abb. 5 Anteriorer Knieschmerz: Patello-femorale Stressreaktion. Im axialen Fusonsbild intensiver fokaler Uptake der Patella. Die Analyse der Prothesenposition zeigt eine leichte Extension der femoralen Komponente (Pfeil schwarz) mit daraus resultierender Druckbelastung der Patella. Therapie: Retropatellarersatz der Patellarrückfläche.

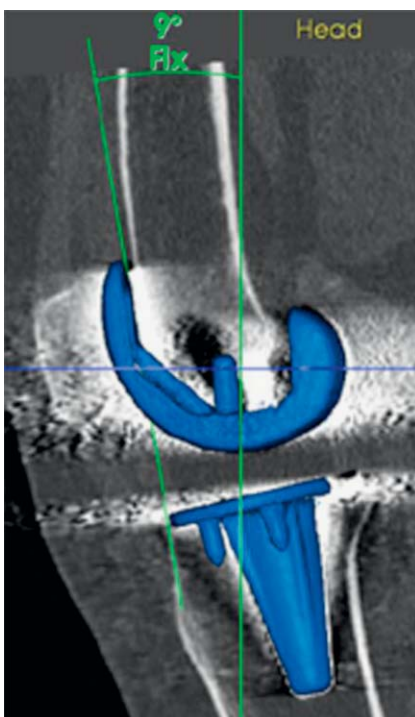


Abb. 6 Biomechanische Analyse in 3D. Moderne Softwaretools erlauben genaue reproduzierbare Messung der gesamten Prothesengeometrie in Bezug zu den mechanischen Achsen.

^{99m}Tc-recombinant human annexin V [24] oder auch die PET-CT [8] die Diagnostik verbessern können, bleibt abzuwarten und bedarf weiterer Forschung.

Kniesgelenk

Die konventionelle Knochenszintigrafie wurde in den letzten 20 Jahren für die Diagnostik verschiedenster Kniepathologien eingesetzt. So korrelierte Hogervorst et al. an 95 Patienten verschiedene Uptake-Muster bei Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes (VKB) mit den intraoperativen Knorpel- und Meniskusbefunden. Eine weitere Arbeit derselben Arbeitsgruppe korrelierte Szintigrafiebefunde 2 Jahre nach VKB-Rekonstruktion mit der Graftlänge und dem Ausmaß einer Tunnelerweiterung. Siegel et al. [36] zeigten eine Korrelation zwischen Uptake-Intensität und Schweregrad der Arthroskopiebefunde, um damit zwischen arthroskopischem Zugang vs. offene Arthrotomie zu entscheiden. Buck et al. [4] verglichen die Knochenszintigrafie und die MRT bei Patienten mit chronischen medialen Knieschmerzen. Es fanden sich höhere Sensitivitäten für die Szintigrafie bei erhöhtem Uptake verglichen mit dem Bone bruise in der MRT. Bei der Interpretation des Bone bruise sollte berücksichtigt werden, dass dieser MRT-Terminus nur beschreibend ist und sehr unterschiedliche histologische Befunde subsummiert [23,40]. Dies könnte die teils deutlichen Unterschiede in der Ausdehnung

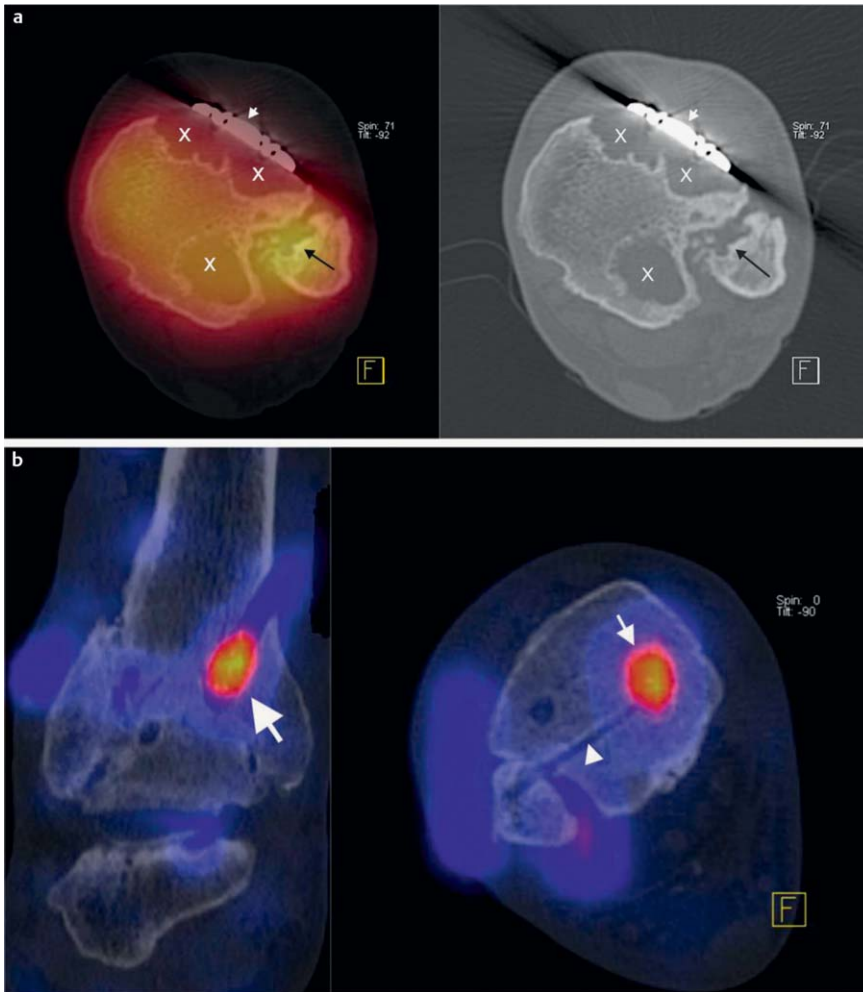


Abb. 7 **a** Lockerung einer OSG-Prothese (HINTEGRA®) Klare Darstellung der ausgedehnten Lysezonen tibial (x) insbesondere dorsal des ventralen Prothesenschildes (kurzer Pfeil weiß). Intensive Stoffwechselaktivierung an der destruierten distalen Fibula (Pfeil schwarz). **b** Infiziertes Granulationsgewebe nach Arthrodese im OSG. Sichere Lokalisation des Uptakes im Antigranulozytenszintigramm in einem residuellen Schraubenkanal (Pfeil weiß) ohne Übergriff auf den angrenzenden Knochen. Therapie: minimalinvasives Ausbohren und anschließende Antibiose.

zwischen Bone bruise und szintigrafischem Uptake erklären. Ebenso besteht eine Korrelation zwischen Intensität des Traceruptake mit dem VAS-Score, WOMAC-Score und klinischen Untersuchungsbefunden (Kim et al. [20]). Arbeiten mit kleineren Fallzahlen berichten über den Einsatz der SPECT-CT bei osteochondralen Läsionen [21], bei patellofemorale Beschwerden [13], (• **Abb. 5**), bei sportmedizinischen Fragestellungen [14] sowie bisher zu wenig beachtet bei Fremdkörperreaktionen auf Prothesen- und Schraubenmaterial [12]. Einen ersten Ansatz, die komplexen SPECT-CT-Befunde quantitativ in 3D zu analysieren, bietet der Algorithmus von Hirschmann et al. [15], welcher die Verwendung eines 3D-Lokalisationsschemas in Kombination mit einer 10-stufigen Intensitätsskala vorschlägt. Eine Vielzahl von Publikationen beschreibt den engen Zusammenhang zwischen Prothesenalignment (Varus-Valgus, Flexion-Extension, interne und externe Rotation), Komplikationsraten und Langzeitoutcome [1, 2, 10, 27, 37]. Andererseits belegt die Arbeit von Holme [18] die Überlegenheit der 3D-CT gegenüber dem konventionellen Röntgenbild. So kann eine Abweichung des Zentralstrahls einer AP-Aufnahme von 3° einen pathologischen Lysesaum von 2 mm maskieren bzw. bei einer Verlaufskontrolle einen neuen Befund und damit eine Lockerung suggerieren. Diese Daten sprechen eindeutig für einen breiteren und ggf. auch frühen Einsatz der SPECT-CT zur Evaluation von Patienten nach Knieprothetik, um, wie kürzlich von Hirschmann et al. [17] publiziert, (• **Abb. 6** durch Kombination von metabolischen, morphologischen und biomechanischen Daten in einer Untersuchung die diagnostische Aussagekraft zu erhöhen. Der Vorteil für

den Patienten für das Therapiemanagement sowie auch die im DRG Zeitalter wichtige Frage der Kosteneffizienz muss durch weitere Studien erst noch belegt werden. Die hohen Kosten durch Revisionschirurgie allein lassen eine positive Kostenbilanz erwarten. Für die Infektdiagnostik gelten die schon beim Hüftgelenk ausgeführten Überlegungen. Einzelne von uns schon durchgeführte Anwendungen wie Monitorisierung von metabolisch aktiven Belastungszonen nach Umstellungsosteotomien oder Einheilung von Grafts nach Knorpelersatzverfahren bedürfen noch der Validierung durch laufende Studien.

Sprungelenk und Fuß

▼ Aufgrund der Komplexität dieser anatomischen Region, kam hier die SPECT-CT nach ihrer Verfügbarkeit früh zum Einsatz. Die Vorteile der 3D Knochendarstellung mit perfekter Koregistrierung der metabolischen Daten wurde von der Gruppe am Universitätsspital Basel für vielfältige klinische Fragestellungen wie uni-/polyartikuläre Befallstopik bei Arthrose, osteochondralen Läsionen, Knochenheilung nach Mosaikplastik, Koalition, Osteosynthesen, nach OSG Prothetik (• **Abb. 7**), Arthrodesekonsolidation mit Frage nach Anschlussarthrosen sowie Guiding bei Schmerzinzifikationen genutzt [29, 38, 39]. Hervorzuheben ist, dass insbesondere die Infektdiagnostik mit der SPECT-CT ohne Spezialequipment wie Pinhole-Kollimatoren (Lewis et al. [22]) pathologische Befunde lokalisiert und eine präzise Therapieplanung erlaubt (• **Abb. 7**). Die Vorteile bei Metallartefakten gelten

analog den anderen Gelenken. Somit hat die SPECT-CT das Methodenspektrum bei dieser zunehmend jüngeren Patientengruppe mit oft komplexen Fragestellungen entscheidend erweitert.

Zusammenfassung

Die Einführung der SPECT-CT hat die orthopädische Bildgebung wesentlich erweitert. Die Auflösung moderner Hybridgeräte erlaubt die Untersuchung aller Gelenkregionen bis zu kleinen Fuß- und Handgelenken. Bei bestehenden Kontraindikationen für eine MRT stellt die SPECT-CT in vielen Fällen eine gleichwertige Alternative zur Bildgebung dar. In der Abklärung nach Endoprothetik ist sie aufgrund der Metallartefaktproblematik dem MRT überlegen. Die Kombination von metabolischen, strukturellen und biomechanischen 3D-Informationen in einer Untersuchung verbessert die Einordnung szintigrafischer Befunde entscheidend und erhöht damit signifikant die Diagnosesicherheit, verbunden mit einem verbesserten Therapiemanagement. Abschließend bleibt anzumerken, dass diese multimodale Bildgebung viel fachübergreifendes Wissen vom Nuklearmediziner verlangt, welches aus eigener Erfahrung nur im Rahmen einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit mit dem zuweisenden Kliniker erreicht werden kann.

Literatur

- Barrack RL, Schrader T, Bertot AJ *et al.* Component rotation and anterior knee pain after total knee arthroplasty. *Clinical orthopaedics and related research* 2001; (392): 46–55 (Epub 2001/11/22)
- Berger RA, Crossett LS, Jacobs JJ *et al.* Malrotation causing patellofemoral complications after total knee arthroplasty. *Clinical orthopaedics and related research* 1998; (356): 144–153 (Epub 1999/01/26)
- Bozic KJ, Kurtz SM, Lau E *et al.* The epidemiology of revision total hip arthroplasty in the United States. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 2009; 91 (1): 128–133. (Epub 2009/01/06)
- Buck FM, Hoffmann A, Hofer B *et al.* Chronic medial knee pain without history of prior trauma: correlation of pain at rest and during exercise using bone scintigraphy and MR imaging. *Skeletal radiology* 2009; 38 (4): 339–347 (Epub 2008/12/04)
- Christoph Röder MD, EL-Kerdi A, Frigg A *et al.* The Swiss Orthopaedic Registry. *Bulletin of the Hospital for Joint Diseases* 2005; 63(1&2): 15–19
- Farron A, Terrier A, Buchler P. Risks of loosening of a prosthetic glenoid implanted in retroversion. *Journal of shoulder and elbow surgery/ American Shoulder and Elbow Surgeons et al.* 2006; 15 (4): 521–526 (Epub 2006/07/13)
- Felson DT. Osteoarthritis. *Rheumatic diseases clinics of North America* 1990; 16 (3): 499–512 (Epub 1990/08/01)
- Gemmel F, Van den Wyngaert H, Love C *et al.* Prosthetic joint infections: radionuclide state-of-the-art imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2012; 39 (5): 892–909 (Epub 2012/03/01)
- Graute V, Feist M, Lehner S *et al.* Detection of low-grade prosthetic joint infections using 99mTc-antigranulocyte SPECT/CT: initial clinical results. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010; 37 (9): 1751–1759 (Epub 2010/03/24)
- Heegaard JH, Leyvraz PF, Hovey CB. A computer model to simulate patellar biomechanics following total knee replacement: the effects of femoral component alignment. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001; 16 (5): 415–423 (Epub 2001/06/08)
- Henckel J, Richards R, Lozhkin K *et al.* Very low-dose computed tomography for planning and outcome measurement in knee replacement. The imperial knee protocol. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 2006; 88 (11): 1513–1518
- Hirschmann MT, Adler T, Rasch H *et al.* Painful knee joint after ACL reconstruction using biodegradable interference screws- SPECT/CT a valuable diagnostic tool? A case report. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* 2010; 2: 24 (Epub 2010/09/18)
- Hirschmann MT, Davda K, Iranpour F *et al.* Combined single photon emission computerized tomography and conventional computerized tomography (SPECT/CT) in patellofemoral disorders: a clinical review. *Int Orthop* 2011; 35 (5): 675–680 (Epub 2010/06/01)
- Hirschmann MT, Davda K, Rasch H *et al.* Clinical value of combined single photon emission computerized tomography and conventional computer tomography (SPECT/CT) in sports medicine. *Sports Med Arthrosc* 2011; 19 (2): 174–181 (Epub 2011/05/05)
- Hirschmann MT, Iranpour F, Konala P *et al.* A novel standardized algorithm for evaluating patients with painful total knee arthroplasty using combined single photon emission tomography and conventional computerized tomography. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18 (7): 939–944 (Epub 2010/02/12)
- Hirschmann MT, Schmid R, Dhawan R *et al.* Combined single photon emission computerized tomography and conventional computerized tomography: Clinical value for the shoulder surgeons? *International journal of shoulder surgery* 2011; 5 (3): 72–76 (Epub 2011/11/08)
- Hirschmann MT, Wagner CR, Rasch H *et al.* Standardized volumetric 3D-analysis of SPECT/CT imaging in orthopaedics: overcoming the limitations of qualitative 2D analysis. *BMC medical imaging* 2012; 12 (1): 5 (Epub 2012/03/31)
- Holme TJ, Henckel J, Cobb J *et al.* Quantification of the difference between 3D CT and plain radiograph for measurement of the position of medial unicompartmental knee replacements. *The Knee* 2011; 18 (5): 300–305 (Epub 2010/10/12)
- Jain NB, Higgins LD, Guller U *et al.* Trends in the epidemiology of total shoulder arthroplasty in the United States from 1990–2000. *Arthritis and rheumatism* 2006; 55 (4): 591–597 (Epub 2006/07/29)
- Kim HR, So Y, Moon SG *et al.* Clinical value of (99m)Tc-methylene diphosphonate (MDP) bone single photon emission computed tomography (SPECT) in patients with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and cartilage/OARS, Osteoarthritis Research Society* 2008; 16 (2): 212–218 (Epub 2007/07/31)
- Konala P, Iranpour F, Kerner A *et al.* Clinical benefit of SPECT/CT for follow-up of surgical treatment of osteochondritis dissecans. *Ann Nucl Med* 2010; 24 (8): 621–624 (Epub 2010/06/15)
- Lewis P. Scintigraphy in the foot and ankle. *Foot and ankle clinics* 2000; 5 (1): 1–27 (Epub 2001/03/10)
- Link TM, Li X. Bone marrow changes in osteoarthritis. *Semin Musculoskeletal Radiol* 2011; 15 (3): 238–246
- Lorberboym M, Feldbrin Z, Hendel D *et al.* The use of 99mTc-recombinant human annexin V imaging for differential diagnosis of aseptic loosening and low-grade infection in hip and knee prostheses. *J Nucl Med* 2009; 50 (4): 534–537 (Epub 2009/03/18)
- Love C, Marwin SE, Palestro CJ. Nuclear medicine and the infected joint replacement. *Semin Nucl Med* 2009; 39 (1): 66–78 (Epub 2008/11/29)
- Mackay DC, Hudson B, Williams JR. Which primary shoulder and elbow replacement? A review of the results of prostheses available in the UK. *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 2001; 83 (4): 258–265 (Epub 2001/08/24)
- Matsuda S, Miura H, Nagamine R *et al.* Effect of femoral and tibial component position on patellar tracking following total knee arthroplasty: 10-year follow-up of Miller-Galante I knees. *The American journal of knee surgery* 2001; 14 (3): 152–156 (Epub 2001/08/09)
- Moojen DJ, van Hellemond G, Vogely HC *et al.* Incidence of low-grade infection in aseptic loosening of total hip arthroplasty. *Acta orthopaedica* 2010; 81 (6): 667–673 (Epub 2010/10/06)
- Pagenstert GI, Barg A, Leumann AG *et al.* SPECT-CT imaging in degenerative joint disease of the foot and ankle. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 2009; 91 (9): 1191–1196 (Epub 2009/09/02)
- Pakos EE, Trikalinos TA, Fotopoulos AD *et al.* Prosthesis infection: diagnosis after total joint arthroplasty with antigranulocyte scintigraphy with 99mTc-labeled monoclonal antibodies – a meta-analysis. *Radiology* 2007; 242 (1): 101–108 (Epub 2006/11/09)
- Pluot E, Davis ET, Revell M *et al.* Hip arthroplasty. Part 1: prosthesis terminology and classification. *Clinical radiology* 2009; 64 (10): 954–960 (Epub 2009/09/15)
- Pluot E, Davis ET, Revell M *et al.* Hip arthroplasty. Part 2: normal and abnormal radiographic findings. *Clinical radiology* 2009; 64 (10): 961–971 (Epub 2009/09/15)
- Räuchle M, Cemerka M, Eibenberger B *et al.* Arthrosis – update 2012. *Radiologe* 2012; 52 (2): 149–55
- Sheridan BD, Ahearn N, Tasker A *et al.* Shoulder arthroplasty. Part 1: Prosthesis terminology and classification. *Clinical radiology* 2012; 67 (7): 709–715 (Epub 2012/02/04)

- 35 Sheridan BD, Ahearn N, Tasker A *et al.* Shoulder arthroplasty. Part 2: Normal and abnormal radiographic findings. *Clinical radiology* 2012; 67 (7): 716–721 (Epub 2012/02/09)
- 36 Siegel Y, Golan H, Thein R. ^{99m}Tc-methylene diphosphonate single photon emission tomography of the knees: intensity of uptake and its correlation with arthroscopic findings. *Nuclear medicine communications* 2006; 27 (9): 689–693
- 37 Takatsu T, Itokazu M, Shimizu K *et al.* The function of posterior tilt of the tibial component following posterior cruciate ligament-retaining total knee arthroplasty. *Bull Hosp Jt Dis* 1998; 57 (4): 195–201 (Epub 1999/02/02)
- 38 Valderrabano V, Leumann A, Rasch H *et al.* Knee-to-ankle mosaicplasty for the treatment of osteochondral lesions of the ankle joint. *Am J Sports Med* 2009; 37 (Suppl 1): 105S–111S (Epub 2009/10/21)
- 39 Wiewiorski M, Valderrabano V, Kretzschmar M *et al.* CT-guided robotically-assisted infiltration of foot and ankle joints. *Minimally invasive therapy & allied technologies: MITAT: official journal of the Society for Minimally Invasive Therapy* 2009; 18 (5): 291–296 (Epub 2009/06/23)
- 40 Zanetti M, Bruder E, Romero J *et al.* Bone marrow edema pattern in osteoarthritic knees: correlation between MR imaging and histologic findings. *Radiology* 2000; 215 (3): 835–840 (Epub 2000/06/01)