

**Der Informationsgewinn in der Skelettszintigraphie
durch die Einzelphotonen-Emissions-
Computertomographie (SPECT) im Vergleich zur
planaren Szintigraphie unter besonderer
Berücksichtigung verschiedener Kamerasysteme**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von Stefan Thorsten Hoffmann-Biehl, geb. Hoffmann
aus Braunschweig

Gießen 1998

Aus dem Medizinischen Zentrum für Radiologie

Klinik für Nuklearmedizin

Leiter: Prof. Dr. Dr. Richard Bauer

des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Giessen

Gutachter: Prof. Dr. Dr. Bauer

Prof. Dr. Kießling

Prof. Dr. Dr. Duncker

Prof. Dr. Schill

Tag der Disputation: 16.12.1998

1 Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Inhaltsverzeichnis	3
2 Einleitung	5
3 Ziel der Untersuchung	10
4 Material und Methoden	11
4.1 Patientengut	11
4.2 Verwendetes Kamerasystem für die Untersuchung in SPECT-Technik	12
4.3 Technische Ausstattung der Untersuchungseinheiten	12
4.4 Dokumentation	13
4.5 Verlaufsuntersuchung zur Richtigkeit der Befunde durch die Untersuchung in SPECT-Technik	15
4.6 Statistische Auswertung	16
4.7 Beispielhafte Befunde	17
5 Ergebnisse	28
5.1 Anzahl, Geschlechts- und Altersverteilung der Patienten im Kollektiv	28
5.2 In SPECT-Technik untersuchte Regionen	29
5.3 Fragestellungen	30
5.4 Ergebnisse insgesamt	31
5.4.1 Schädel und Halswirbelsäule (HWS)	33
5.4.2 Thorax und Brustwirbelsäule (BWS)	34
5.4.3 Lendenwirbelsäule (LWS)	35
5.4.4 Becken und Extremitäten	36

5.5 Ein-Kopf- und Drei-Kopf-Kamerasystem im Vergleich	37
5.5.1 Ergebnisse insgesamt	37
5.5.2 Die unterschiedlichen Qualitäten des durch SPECT erzielten Informationsgewinnes	38
5.5.3 Schädel und Halswirbelsäule (HWS)	39
5.5.4 Thorax und Brustwirbelsäule (BWS)	40
5.5.5 Lendenwirbelsäule (LWS)	41
5.5.6 Becken und Extremitäten	42
5.6 Einfluß der zusätzlich gewonnenen Informationen auf die weitere Diagnostik bzw. auf die weitere Therapie	44
6 Diskussion	46
7 Zusammenfassung	55
8 Literaturverzeichnis	57
9 Danksagung	63
10 Lebenslauf	64

2 Einleitung

Die erste Beschreibung des Transversalschichtscanning in der Nuklearmedizin durch KUHLE 1963 eröffnete der szintigraphischen Diagnostik neue Möglichkeiten. War die Szintigraphie als eine Methode, die ohne Eingriff von außen biologische Funktionen im menschlichen Organismus widerspiegelt, ohnehin schon von großem Wert, so wurde sie durch die Möglichkeit, mit Hilfe der Einzelphotonen-Emissions-Computertomographie (Single Photon Emission Computed Tomography, im Folgenden SPECT genannt) überlagerungsfreie Schnittbilder zu erzeugen, auch als bildgebendes Verfahren für topographische Fragestellungen konkurrenzfähig.

In der heutigen Skelettszintigraphie findet die SPECT-Technik Anwendung, um die räumliche Verteilung von Nuklidanreicherungen, die sich in der planaren Skelettszintigraphie überlagern, darzustellen und so dem Kliniker zusätzliche Informationen an die Hand zu geben, die ihm manchmal eine sinnvolle Entscheidung für ein weiteres differentialdiagnostisches oder auch therapeutisches Vorgehen erst ermöglichen.

Die heute in der Skelettszintigraphie verwendeten Radiodiagnostika, Technetium-99m-markierte Phosphonatverbindungen, wurden 1975 von SUBRAMANIAN und MCAFEE in die Skelettszintigraphie eingeführt (SUBRAMANIAN und MCAFEE 1975).

BROWN, COLLIER und FOGELMAN stellten dar, welche Möglichkeiten die planare Skelettszintigraphie in der klinischen Praxis zur Zeit bietet. Für die Bereiche „Onkologie und Infektion“, „Orthopädie“ und „Stoffwechselerkrankungen des Knochens“ trugen sie zusammen, welche Ergebnisse von der Skelettszintigraphie erwartet werden dürfen. In diese drei Gruppen läßt sich der allergrößte Teil der Routineuntersuchungen aus dem Gebiet der Skelettszintigraphie einordnen (BROWN 1993, COLLIER 1993 und FOGELMAN 1993).

Die onkologischen Erkrankungen der Knochen lassen sich grob unterscheiden in die primären und die sekundären Knochentumoren. Bei den primären Knochentumoren werden nach der WHO-Klassifikation benigne und maligne Tumoren in den Hauptgruppen der knochen- und knorpelbildenden Tumoren, der Riesenzelltumoren, der Knochenmark- und der Gefäßtumoren unterschieden. Zusätzlich werden Bindegewebetumoren und „andere“ abgegrenzt. Dazu kommen die tumorähnlichen Läsionen (vergl. Tabelle 1, SCHAJOWICZ 1981):

Tabelle 1 tumorähnliche Läsionen (nach SCHAJOWICZ 1981)

- solitäre Knochenzyste	- Histiocytosis X
- aneurysmatische Knochenzyste	- fibröse Dysplasie
- juxtaartikuläre Knochenzyste	- „Myositis ossificans“
- nichtossifizierendes Fibrom	- intraossäre Epidermoidzyste
- Brauner Tumor bei Hyperparathyreoidismus	

In der Routinediagnostik spielen die Untersuchung und die Detektion dieser primären Knochentumoren nicht die bedeutendste Rolle, deshalb sollen sie an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden. Eine gute Darstellung der Indikationen und der Ergebnisse der Skelettszintigraphie bei primären Knochentumoren ist nachzulesen bei SCHAUB und HAHN 1990.

Einen weitaus größeren Raum in der nuklearmedizinischen Routinediagnostik nimmt die Suche nach Metastasen ein, also das Sichtbarmachen von sekundären Knochentumoren, die Absiedlungen von meist nichtossären Tumoren darstellen und zu osteosklerotischen, lytischen oder gemischten Knochenveränderungen führen (MURRAY 1977). Die wichtigsten Tumoren, die sehr häufig bzw. häufig zu ossärer Metastasierung neigen und im Skelettszintigramm entsprechend zu Nuklidmehr- oder minderbelegungen führen, sind in Tabelle 2 zusammengestellt:

Tabelle 2 Knochenmetastasen (nach SCHAUB und HAHN 1990)

PRIMÄRTUMOR	KNOCHENVERÄNDERUNG
sehr häufige ossäre Metastasierung	
- Mammakarzinom	lytisch und gemischt
- Bronchialkarzinom	lytisch
- Hypernephrom	lytisch
- Prostatakarzinom	meist sklerotisch
- Neuroblastom	lytisch, sklerotisch und gemischt
- Ewing-Sarkom	lytisch
häufige ossäre Metastasierung	
- Karzinoid	sklerotisch
- Schilddrüsenkarzinom	lytisch
- Kolonkarzinom	lytisch, selten sklerotisch

Die Überlegenheit der Skelettszintigraphie im Vergleich beispielsweise zum Röntgenskelettstatus wurde in verschiedenen Übersichtsarbeiten gezeigt (BELLIVEAU und SPENCER 1975; CITRIN et al. 1977; GOLD und BASSETT 1986; JONES und SALMON 1976; KAMPMANN und BUCHELT 1983; MALL et al. 1976; MCNEIL 1984; ROBILLARD 1977; STY et al. 1985; TOFE et al. 1975).

Eine in diesem Zusammenhang interessante Beobachtung ist das sogenannte „flare phenomenon“. Dieses Phänomen des Aufflackerns beschreibt, daß bei Patienten, die an einem bereits metastasierten Malignom leiden, wenige Wochen nach Beginn einer oder Wechsel zu nun effektiver Chemotherapie die schon vorhandenen Läsionen deutlicher hervortreten oder neue Nuklidanreicherungen im Knochen-Scan nachzuweisen sind, obwohl sich die klinische Situation des Patienten verbessert (LEVENSON et al. 1983; POLLEN et al. 1984; ROSSLEIGH et al. 1984; ROSSLEIGH et al. 1982). Diese Beobachtung läßt sich auch bei Patienten nach Orchiektomie im Rahmen der Therapie des metastasierten Prostatakarzinoms machen (SUNDKVIST et al. 1990).

Bei der Diagnose und Differenzierung muskuloskelettaler Infektionen und entzündlicher Prozesse wie z.B. einer Myositis, Ostitis oder einer Osteomyelitis

unterschiedlichster Genesen steht durch die Knochenszintigraphie ein hilfreiches Instrument zur Verfügung.

Erkrankungen, die im nuklearmedizinischen Alltag die Durchführung einer szintigraphischen Untersuchung des Skelettes aus orthopädischer Sicht notwendig machen, sind neben den schon erwähnten ossär metastasierenden Malignomen Traumata mit vermuteten okkulten Frakturen, wie sie z.B. bei Oberschenkelhalsfrakturen, intertrochantären Frakturen oder Kahnbeinfrakturen vorkommen. Auch der Diagnose von vermuteten, im Röntgenbild aber nicht feststellbaren Streißfrakturen kommt in unserer immer fitnessbewußteren Gesellschaft eine wachsende Bedeutung zu.

Ein für den Orthopäden recht häufig auftauchendes Problem sind Patienten, die über anhaltende postoperative Schmerzen nach Implantation einer Totalendoprothese, meist des Hüftgelenkes, klagen. Für den Behandler stellt sich die Frage, ob das Implantat infiziert oder gelockert ist. Hierbei ist zu bedenken, daß der operative Eingriff zu verstärkten Knochenumbauvorgängen führt. Diese Umbauvorgänge können eine direkt postoperativ eingetretene Infektion oder Lockerung des Implantates verschleiern oder maskieren. Abhängig von der Region normalisieren sich die Umbauvorgänge nach 6 - 12 Monaten. Somit ist nach diesem Zeitraum die Diagnosestellung einer vorhandenen Prothesenlockerung zuverlässig möglich. Skelettszintigraphische Lockerungszeichen sind fokale Aktivitätsmehrbelegungen an den zwei statisch besonders beanspruchten Prothesenabschnitten, nämlich apikal und intertrochantär. Ein normaler knochenszintigraphischer Befund schließt eine schwerwiegende Komplikation weitestgehend aus (CREUTZIG 1976).

Der Verdacht auf eine septische Prothesenlockerung ergibt sich bei einer den gesamten Implantatbereich umgebenden Aktivitätsmehrbelegung, die für eine Hyperämie spricht, mit verstärkten Knochenumbauvorgängen an beiden Prothesenabschnitten. Da sich die Stabilisierung der Pfanne in der Regel später einstellt als die des Schaftes, kann der szintigraphische Lockerungsnachweis schwierig sein.

Die Skelettszintigraphie ist der Röntgendiagnostik beim Nachweis einer Implantatlockerung überlegen (GELMAN et al. 1978; WEISS et al. 1979; WILLIAMSON et al. 1979).

Aus der Gruppe der orthopädischen Indikationen für eine Skelettszintigraphie und in der Literatur sehr häufig untersucht stellt die Abklärung von chronischen Lumbalgien unklarer Genese einen verhältnismäßig großen Anteil dar. Schließt man aus der Gruppe der Lumbalgiepatienten diejenigen aus, die eine spezifische Ursache ihres Leidens erkennen lassen, so z.B. im Rahmen eines metastasierenden Malignoms, einer Infektion oder einer Arthritis, so verbleibt eine Vielzahl von Erkrankten, bei denen der Grund ihrer Schmerzen zunächst nicht erklärbar ist. Die Skelettszintigraphie, und hier gerade die Untersuchung in SPECT-Technik, kann oftmals die benignen pathologischen Befunde der Knochen oder Gelenke identifizieren, die für die bestehende Schmerzsymptomatik verantwortlich ist. Dazu zählen beispielsweise

1. okkulte Frakturen,
2. Spondylolyse und Spondylolisthese,
3. Osteoarthritis der Gelenkfacetten,
4. sakrale Läsionen inklusive der Sakroiliitis,
5. das Osteoidosteom und andere benigne Tumoren.

Eine weitere, in der täglichen Routine jedoch eine eher untergeordnete Rolle spielende Erkrankung, bei deren Diagnose die Knochenszintigraphie einen wertvollen Beitrag leisten kann, ist das Sudeck-Syndrom (DEMANGEAT et al. 1988).

3 Ziel der Untersuchung

Das Ziel dieser Arbeit war es, anhand der retrospektiven Analyse von 474 Knochenszintigraphien in SPECT-Technik und der zugehörigen planaren Knochenszintigramme von 408 Patienten zu überprüfen, in welchem Ausmaß Zusatzinformationen durch die Knochenszintigraphie in SPECT-Technik gewonnen werden können, welcher Art diese Zusatzinformationen sind und ob es unter diesem Gesichtspunkt qualitative Unterschiede bei der Benutzung unterschiedlicher Kamerasysteme (hier: Ein-Kopf- gegenüber Drei-Kopf-Kamerasystem) gibt.

Es soll und braucht an dieser Stelle nicht der Nachweis erbracht werden, daß die Skelettszintigraphie in SPECT-Technik der planaren Skelettszintigraphie hinsichtlich der Sensitivität überlegen ist. Dies ist von anderen Autoren meist für ganz spezielle Fragestellungen bereits hinreichend dargestellt worden (z.B. HOLDER et al. 1995; KANMAZ et al. 1992; SCOTT et al. 1992; KRASNOW, COLLIER, KNEELAND et al. 1987; COLLIER, CARRERA, JOHNSON et al. 1985).

Vielmehr soll gezeigt werden, ob ein quantitativer oder qualitativer Informationsgewinn durch die Szintigraphie der Knochen in SPECT-Technik in der täglichen Routinediagnostik erzielt werden kann und welches Ergebnis der klinisch Tätige erwarten darf, wenn er das Skelett seiner Patienten nuklearmedizinisch zu untersuchen hat.

Außerdem soll nachgeprüft werden, ob ein Vorteil eines Drei-Kopf-Kamerasystems gegenüber einem Ein-Kopf-Kamerasystem, wie von VOLLET et al. am modifizierten Jaszczak-Phantom nachgewiesen, auch unter Routinebedingungen bei der Patientenuntersuchung existiert (VOLLET et al. 1993).

4 Material und Methoden

4.1 Patientengut

Die Grundlage der retrospektiven Untersuchung bildet ein Kollektiv von 408 Patienten, die sich in einem Zeitraum von 24 Monaten zwischen Juni 1994 und Mai 1996 in der Klinik für Nuklearmedizin der Justus-Liebig-Universität in Gießen einer Szintigraphie der Knochen sowohl in planarer Technik als auch in SPECT-Technik unterzogen haben. Bei allen Patienten wurde eine planare Szintigraphie des Skelettes und in der gleichen Sitzung die szintigraphische Untersuchung mindestens einer interessierenden Skelettregion in SPECT-Technik durchgeführt. Alle aufeinanderfolgenden Patienten, die in dem Zeitraum von Juni 1994 bis Mai 1996 skelettszintigraphisch sowohl in planarer als auch in SPECT-Technik untersucht worden sind, wurden in die Studie aufgenommen.

Die Untersuchung in planarer Technik wurden in einem Zeitraum von 3 bis 4 Stunden nach intravenöser Verabreichung des Radiodiagnostikums durchgeführt. Bis zum Beginn der Untersuchung in SPECT-Technik sollte eine Zeitspanne von 1,5 bis 2 Stunden nach der planaren Szintigraphie, also maximal die Hälfte des zeitlichen Abstandes „Verabreichung der Aktivität - planare Szintigraphie“, nicht überschritten werden.

4.2 Verwendete Kamerasysteme für die Untersuchung in SPECT-Technik

Bis zum Mai 1995 wurden alle Untersuchungen in SPECT Technik ausnahmslos an der Ein-Kopf-Kamera (im Folgenden EKK genannt) durchgeführt. Vom Mai 1995 an wurden die Patienten wenn möglich an der Drei-Kopf-Kamera (im Folgenden DKK genannt) untersucht, nur in Ausnahmefällen, z.B. bei zeitgleicher Untersuchung von zwei Patienten oder bei technischen Defekten des Drei-Kopf-Systems, kam die EKK zum Einsatz. Dies war bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes in 6% der Fälle notwendig. An der EKK wurden insgesamt 216 Untersuchungen, an der DKK 258 Untersuchungen durchgeführt.

4.3 Technische Ausstattung der Untersuchungseinheiten

Die planaren Szintigramme wurden in Ganzkörpertechnik in anteriorer und posteriorer Sicht mit einer Scan-Geschwindigkeit von 10 cm/Minute aufgenommen, 3-4 Stunden nachdem 650-750 MBq Technetium-99m Hydroxymethylen-Diphosphonat (kurz: HDP bzw. Tc-99m-HDP) intravenös verabreicht worden waren. Die Dokumentation erfolgte sowohl in Analogtechnik auf Röntgenfilm mit einem Micro Dot-Imager und zusätzlich unter Verwendung der Computersoftware Siemens Icon (Version 7.0 und höher) digital. In gleicher Weise wurden planare Bilder des Schädels in links- und rechtslateraler Sicht aufgenommen.

Für die Untersuchung in SPECT-Technik standen zwei Kamerasysteme zur Verfügung: die Ein-Kopf-Kamera (DIACAM, SGI) war ausgestattet mit einem HIRES-Kollimator. Die Daten wurden in 60 Projektionen mit einem zirkulären Orbit über einen Vollkreis von 360° aufgenommen. In anterior-posteriorer Projektion wurden mindestens 50000 counts aufgenommen. Die Matrixgröße betrug 64×64 Bildpunkte. Aus den Originaldaten wurden transversale

Schichten mit einer Schichtdicke von 8,6 mm rekonstruiert. Aus diesem Tomogrammpacket konnten frontale und sagittale Schichten reformatiert dargestellt werden.

Die Drei-Kopf-Kamera (Siemens, MULTISPECT 3) war mit einem Satz von drei HIREs-Kollimatoren ausgerüstet. Über einen Vollkreis wurden Daten aus 120 Projektionen aufgenommen mit mindestens 50000 counts pro Projektion in anteriorer und posteriorer Sicht. Die Matrixgröße betrug 64×64 Bildpunkte. Die Schichtdicke der Originale in den transversalen Schichten betrug 7,2 mm. Aus diesem Tomogrammpacket konnten frontale und sagittale Schichten reformatiert dargestellt werden. Für die Rekonstruktion der Tomogramme wurde ein Butterworth Filter (cutoff: 0,9; Order: 10) benutzt.

4.4 Dokumentation

Die relevanten Daten wurden der Akte entnommen, die für jeden untersuchten Patienten in der Klinik für Nuklearmedizin der Justus-Liebig-Universität in Gießen angelegt wird. Diese Akte enthält alle von einem Patienten in dieser Abteilung angefertigten Bilder sowie den dazugehörenden Befund. Die Daten, die auf die oben beschriebene Weise erhoben wurden, waren die folgenden:

1. Kameratyp
2. Fragestellung (onkologisch, infektiös/entzündlich, orthopädisch, sonstige)
3. in SPECT-Technik untersuchte Region (Schädel und Halswirbelsäule, Thorax und Brustwirbelsäule, Lendenwirbelsäule, Becken und Extremitäten)
4. Befunde der planaren Szintigraphie

5. Befunde der Skelettszintigraphie in SPECT- Technik

Die Befunde der planaren Szintigraphie und der Szintigraphie in SPECT-Technik wurden verglichen und es wurde vermerkt, ob durch die Emissions-Computertomographie ein Informationsgewinn zu verzeichnen war oder nicht. Im Falle eines Informationszuwachses wurde dieser einer der folgenden vier Kategorien zugeordnet:

- Lokalisation:* wenn eine veränderte Nuklidanreicherung nur durch die SPECT exakt einer anatomischen Struktur zuzuordnen war;
- Ausdehnung:* wenn nur durch die SPECT die exakte Mitbeteiligung benachbarter Strukturen beurteilt werden konnte;
- Mehrbelegung neu:* wenn in der SPECT Nuklidmehranreicherungen zu sehen waren, die an gleicher Lokalisation in der planaren Szintigraphie nicht zu sehen waren;
- Minderbelegung neu:* wenn in der SPECT Nuklidaussparungen zu sehen waren, die an gleicher Lokalisation in der planaren Szintigraphie nicht zu sehen waren.

Wenn die Untersuchung in SPECT-Technik die Befunde der planaren Szintigraphie als nicht richtig erscheinen ließ, wurde dies ebenfalls vermerkt. Abschließend wurde, unter Berücksichtigung der Empfehlung des Untersuchers zu weiteren diagnostischen oder therapeutischen Maßnahmen, festgelegt, ob der durch die Untersuchung in SPECT-Technik erzielte Informationsgewinn geeignet war, die weitere Diagnostik oder die weitere Therapie des einzelnen Patienten zu beeinflussen. Dabei wurde eine Empfehlung zu weiterer radiologischer Abklärung von szintigraphisch verdächtigen Arealen ebenso

therapiebeeinflussend eingeschätzt wie eine durch SPECT gestellte neue Differentialdiagnose, z. B. hochgradig metastasenverdächtige Aktivitätsmehrbelegungen im Skelett bei Schmerzen klinisch unklarer Genese.

Die Verwaltung der so gewonnenen Rohdaten wurde mit dem Computerprogramm MS EXCEL, Version 5.0, vorgenommen.

4.5 Verlaufsuntersuchung zur Richtigkeit der Befunde durch die Untersuchung in SPECT-Technik

Um im Vorfeld zu klären, ob die durch SPECT erhobenen Befunde und die möglicherweise daraus resultierenden zusätzlichen Informationen zur planaren Szintigraphie die tatsächliche Nuklidverteilung im Skelett zeigen, wurde bei 16 Patienten, die im Untersuchungszeitraum mehr als einmal untersucht wurden, die Übereinstimmung der durch SPECT erhobenen Befunde kontrolliert. Bei diesen Patienten wurden im Untersuchungszeitraum 50 Untersuchungen in SPECT-Technik durchgeführt, es wurden dabei insgesamt 34 Befunde durch SPECT erhoben. Im Rahmen der Kontrolluntersuchungen bestätigten sich 31 dieser Befunde (91%).

2 der 3 Befunde, die sich nur in der Erstuntersuchung und nicht mehr in späteren Untersuchungen zeigten, waren Nuklidmehrbelegungen in Ober- und Unterkiefer eines 7jährigen Jungen. Diese später nicht mehr nachweisbaren Mehrbelegungen sind durch einen erhöhten Knochenstoffwechsel während des Zahnwechsels hinreichend erklärbar.

Der dritte später nicht mehr darzustellende Befund war eine Mehrbelegung im Bereich der Bogenwurzel des 6. Brustwirbelkörpers bei einer an Mammacarcinom (pT1 N0 M0) erkrankten 52jährigen Patientin. In drei weiteren Kontrolluntersuchungen, die letzte 2 Jahre nach der Erstuntersuchung, konnten keine ossären Metastasen nachgewiesen werden.

Somit bestätigten sich die durch SPECT erhobenen Befunde in 31 von 32 Fällen (97%). Es ist davon auszugehen, daß durch die Untersuchung in SPECT-Technik die tatsächliche Nuklidverteilung zur Darstellung kommt.

4.6 Statistische Auswertung

Da sämtliches erhobenes Datenmaterial nominal skaliert war, mußte zur Untersuchung auf das Vorliegen und ggf. die Stärke eines Zusammenhanges zwischen Variablen und seine statistische Signifikanz ein Test gewählt werden, der für diese Voraussetzungen akzeptable Ergebnisse liefert. Es wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet. Dieser Test basiert auf der Betrachtung von erwarteten und beobachteten Häufigkeiten innerhalb einer Kreuztabelle. Zur Messung der Abweichungen wurde das Prüfmaß Chi-Quadrat mit folgender Berechnungsweise verwendet:

$$\chi^2 = \sum_{\text{Zeile}} \sum_{\text{Spalte}} \frac{(n_b - n_e)^2}{n_e}$$

mit n_b = beobachtete und n_e = erwartete Häufigkeiten innerhalb der erstellten Kreuztabellen.

Mit Hilfe der in dieser Untersuchung verwendeten Kreuztabellen mit 2×2 Feldern (ein Freiheitsgrad) und des Wertes χ^2 läßt sich die Wahrscheinlichkeit ermitteln, mit der sich die vorliegende Abweichung für unabhängige Variable ergibt. Diese Wahrscheinlichkeit wird automatisch vom Computerprogramm SPSS FÜR WINDOWS, Version 6.1, mit dem die statistische Auswertung auf einem handelsüblichen Personal Computer vorgenommen wurde, angegeben.

4.7 Beispielhafte Befunde

Fall 1

Abbildung 1 zeigt die Ganzkörperaufnahme in dorsaler und ventraler Sicht, die Abbildungen 2 und 3 zusätzliche rechts- und linkslaterale Sichten des Schädels eines 12jährigen Mädchens, das mit der klinischen Diagnose „Schmincke Tumor (Nasopharynxkarzinom)“ zur skelettszintigraphischen Untersuchung vorgestellt wurde.

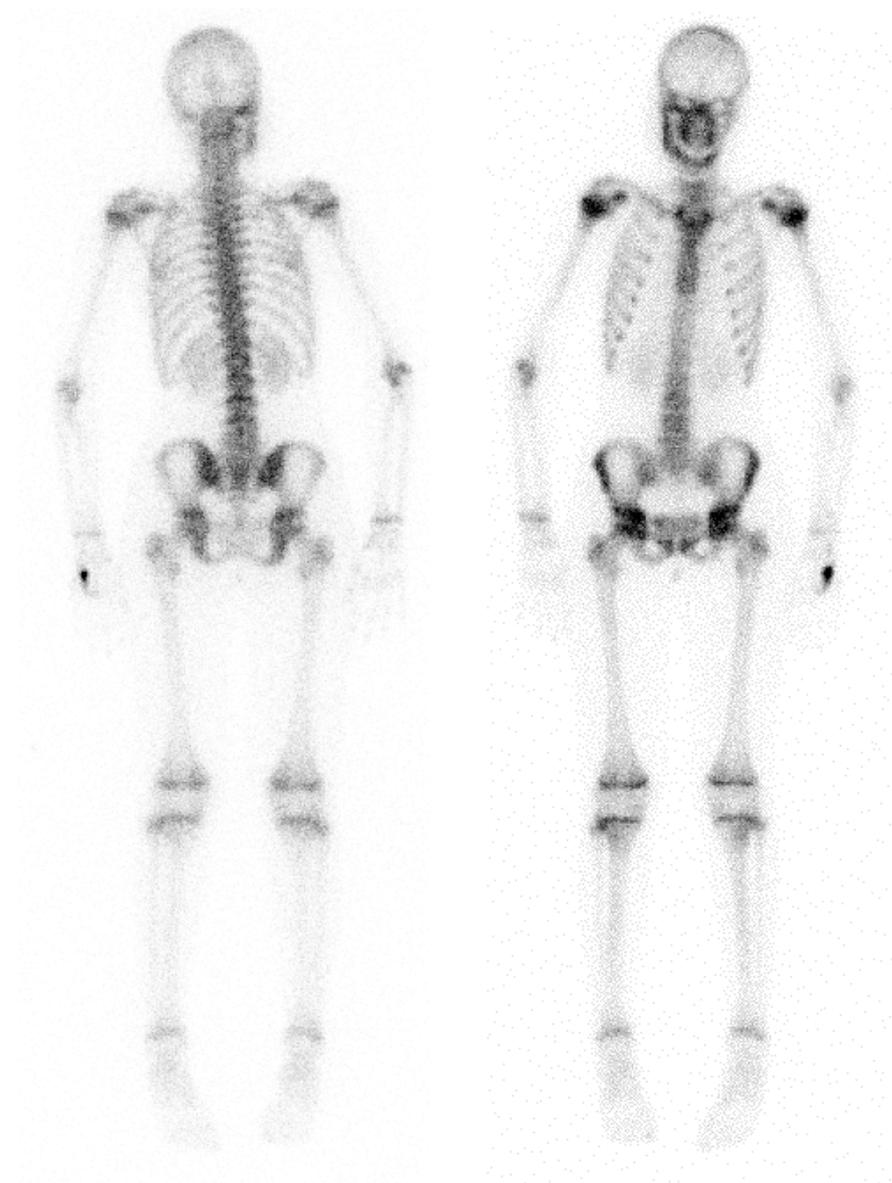


Abb. 1 Ganzkörperszintigramme eines 12jährigen Mädchens in dorsaler und ventraler Sicht

Die Aufnahmen des Schädels in den 4 Standardsichten zeigten eine deutliche Mehrbelegung im aufsteigenden Ast der rechten Mandibula. Das übrige Skelett stellte sich unauffällig und altersentsprechend dar.



Abb. 2 Rechtslaterale Sicht des Schädels der 12jährigen Patientin



Abb. 3 Linkslaterale Sicht des Schädels der 12jährigen Patientin

Zusätzlich zu den planaren Aufnahmen wurden SPECT-Aufnahmen des Schädels und der Halswirbelsäule angefertigt.

Abbildung 4 zeigt die SPECT-Aufnahmen, die 3,5 Stunden nach Gabe von 430 MBq Tc99m-HDP i. v. aufgenommen wurden. Diese Schnittbilder sind mit der Ein-Kopf-Kamera angefertigt worden. Zusätzlich zur planaren Szintigraphie kann man erkennen, daß die beschriebene Mehrbelegung im Ramus und Korpus der rechten Mandibula lokalisiert ist. Außerdem zeigt sich eine diskrete Mehrbelegung im Bereich des Processus alveolaris der Maxilla rechts sowie eine weitere fokale Mehrbelegung, die am ehesten auf den rechten Flügel des Keilbeines lokalisieren läßt.

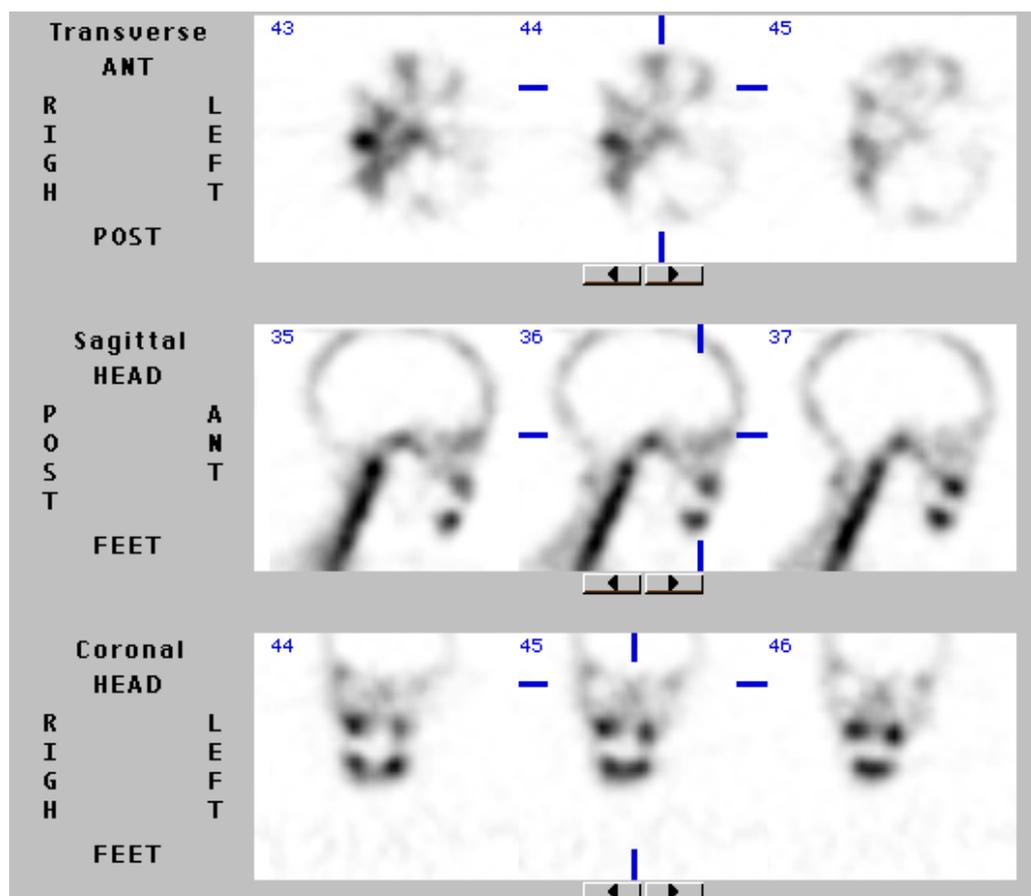


Abb. 4 SPECT Aufnahmen derselben Patientin, angefertigt mit der Ein-Kopf-Kamera (DIACAM, SGI)

Abbildung 5 zeigt die SPECT-Aufnahmen derselben Region derselben Patientin, aufgenommen mit der Drei-Kopf-Kamera exakt 11 Monate später (verabreichte Aktivität: 480 MBq Tc99m-HDP). Seit der ersten Untersuchung erhielt die Patientin eine Chemotherapie, Radiatio und abschließend eine Betaferon/Cortison Therapie.

Der zuvor beschriebene Tumor war fast vollständig rückgebildet, auffällig war jedoch eine im Vergleich zur Voruntersuchung neu aufgetretene Mehrbelegung im Bereich der Schädelgrube rechts. Im Vergleich zu den Aufnahmen, die mit der Ein-Kopf-Kamera angefertigt wurden, erkennt man eine verbesserte Auflösung der knöchernen Strukturen, besonders in den transversalen (axialen) Schnittbildern. Bereiche der Schädelbasis, die sich im Ein-Kopf-Kamerabild als eine Graustufe zeigen, sind im Drei-Kopf-Kamerabild als voneinander abgrenzbare anatomische Strukturen identifizierbar.

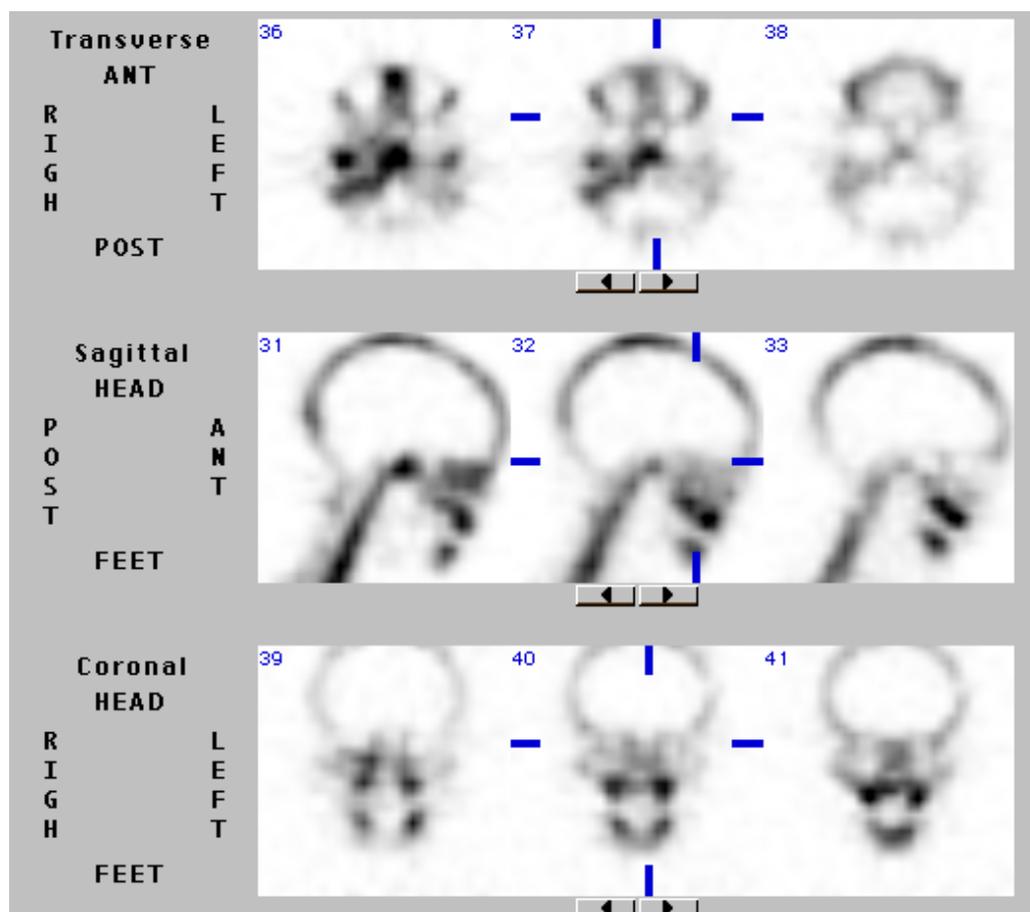


Abb. 5 SPECT Aufnahmen derselben Patientin wie in Abb. 4, 11 Monate später, angefertigt mit der Drei-Kopf-Kamera (Siemens, MULTISPECT 3)

Fall 2

Abbildung 6 zeigt das Ganzkörperszintigramm einer 76 Jahre alten Patientin in dorsaler und ventraler Sicht, die unter dem Verdacht auf einen malignen Tumor bei bestehender Hyperkalzämie und Niereninsuffizienz zur skelettszintigraphischen Untersuchung vorgestellt wurde.



Abbildung 6 Ganzkörperszintigramme in dorsaler und ventraler Sicht einer 76jährigen Patientin mit Malignomverdacht

Man erkennt Aktivitätsmehrbelegungen am linken Sakroiliakalgelenk zentral und kaudal-ventral, an LWK 5/SWK 1 zentral. An den Extremitäten zeigen sich Aktivitätsmehrbelegungen an den Schultergelenken, am linken Handgelenk radial. Flächige Aktivitätsmehrbelegungen finden sich an den Hüftgelenken, der Femurkopf ist beidseits deformiert und steht kranial-lateral der Pfanne.

Zusätzlich erkennt man eine Weichteilanreicherung, die offenbar retrosternal gelegen ist.

Die in Abbildung 7 dargestellte zusätzlich durchgeführte Untersuchung in SPECT-Technik zeigt, daß sich die retrosternal gelegene Weichteilanreicherung dem Myokard bzw. dem Epikard zuordnen läßt.

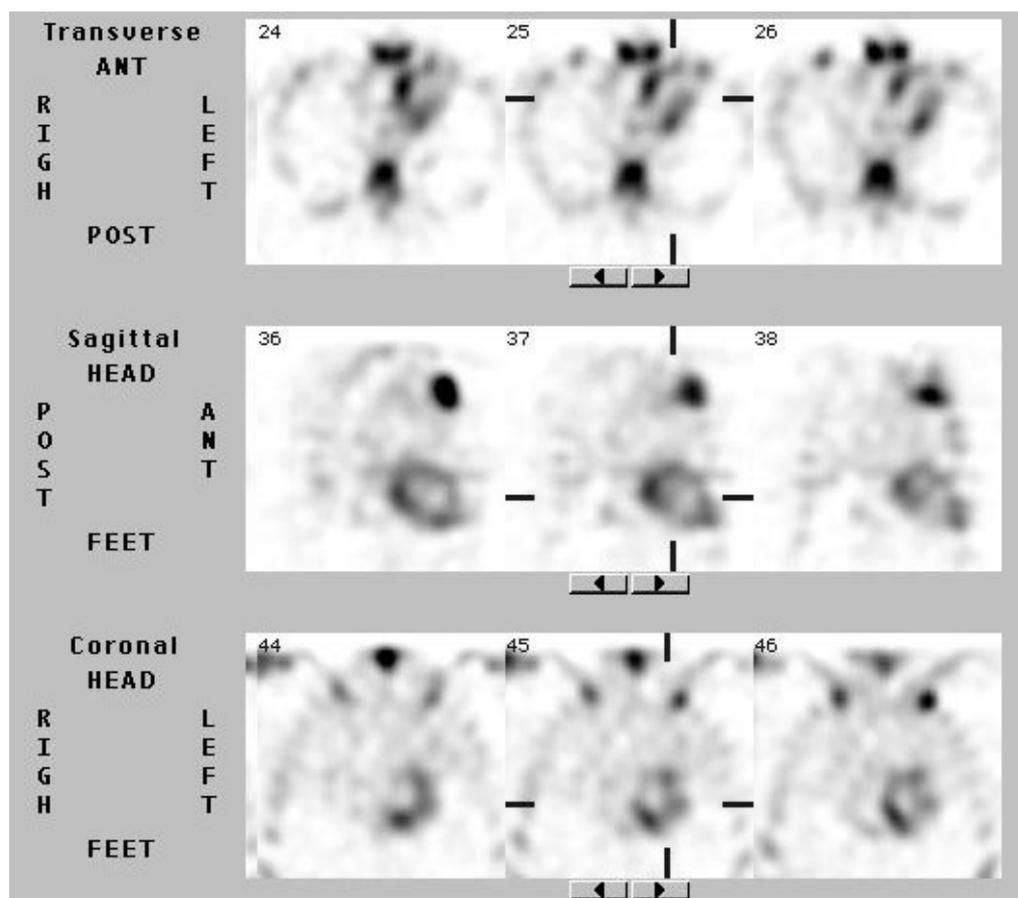


Abbildung 7 SPECT-Aufnahmen derselben Patientin wie in Abbildung 6, aufgenommen mit der Drei-Kopf-Kamera (Siemens, MULTISPECT 3)

Fall 3

Das in Abbildung 8 dargestellte Ganzkörperszintigramm in dorsaler und ventraler Sicht zeigt die Aktivitätsverteilung bei einer 73jährigen Patientin bei Z. n. Quadrantenresektion und Axillendisektion 2 Wochen vor der Untersuchung wegen eines Mammakarzinoms. Weiterhin war bekannt, daß sich die Patientin bei einem Sturz ca. 5 Monate zuvor eine Rippenverletzung zugezogen hat.



Abbildung 8 Ganzkörperszintigramme in dorsaler und ventraler Sicht einer 73jährigen Patientin mit Mammakarzinom

Der Schädel stellt sich 3 Stunden p.i. unauffällig dar. Mehrbelegungen finden sich an der BWS im lateralen Bereich bevorzugt rechts, an den Sternoklavikulargelenken sowie AC-Gelenken beidseits, an der LWS an LWK 3 /4 rechts ventrolateral sowie LWK 4 /5 links ventrolateral, am Kniegelenk rechts mehr als links sowie im Fußwurzelbereich rechts mehr als links. Weitere Mehrbelegungen erkennt man an der 10. und 11. Rippe dorsolateral rechts.

Die ergänzend durchgeführte SPECT-Untersuchung der BWS bestätigt die beschriebenen bevorzugt rechtslateral an der BWS (Wirbelbogengelenke, Kostotransversalgelenke) gelegenen Mehrbelegungen. Zusätzlich erkennt man jedoch eine metastasenverdächtige Aktivitätsmehrbelegung am zervikothorakalen Übergang (vgl. Abbildung 9).

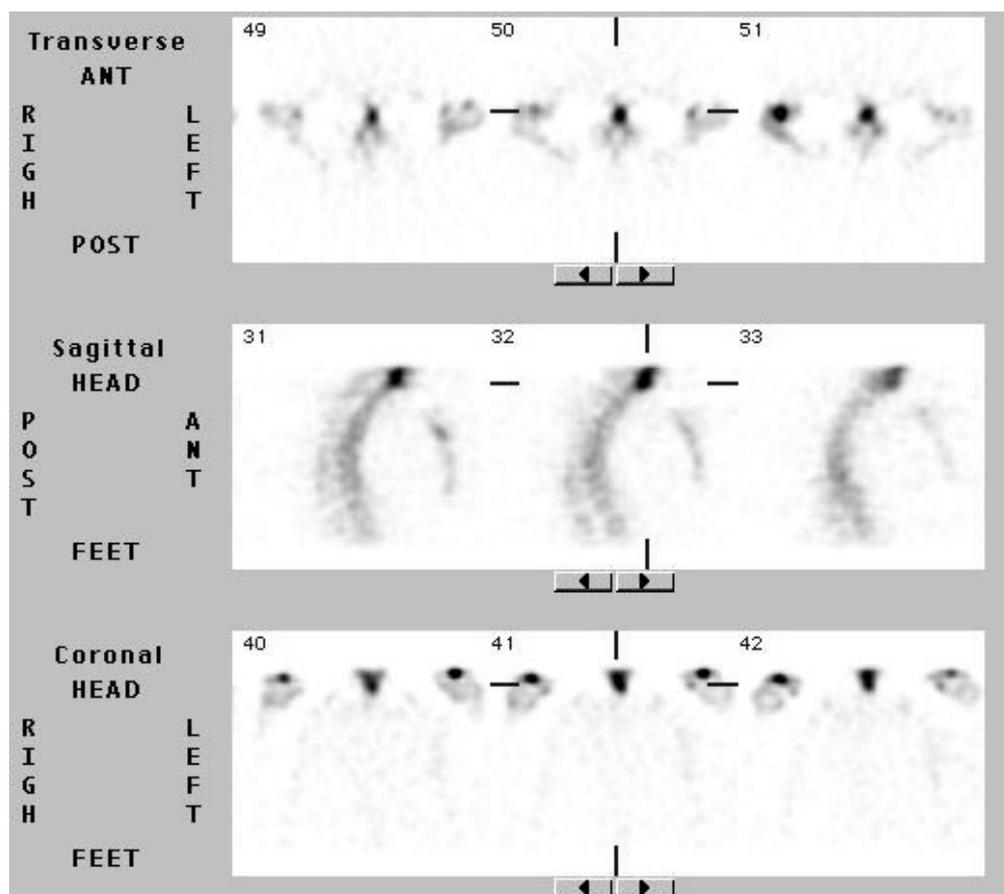


Abbildung 9 SPECT-Aufnahmen derselben Patientin wie in Abbildung 8, aufgenommen mit der Drei-Kopf-Kamera (Siemens, MULTISPECT 3)

Fall 4

Der 65jährige Patient, dessen skelettszintigraphische Aufnahmen des Schädels in links- und rechtslateraler Sicht in den Abbildungen 10 und 11 dargestellt sind, war an einem Kieferhöhlenkarzinom links erkrankt. Es sollte die Frage nach einer Infiltration der Alveolarfortsatzes oder des Jochbeines geklärt werden.



Abbildung 10 *Skelettszintigramm des Schädels in linkslateraler Sicht eines 65jährigen Patienten mit Kieferhöhlenkarzinom links*



Abbildung 11 *Skelettszintigramm des Schädels in rechtslateraler Sicht eines 65jährigen Patienten mit Kieferhöhlenkarzinom links*

Die skelettszintigraphischen Aufnahmen in planarer Aufnahmetechnik zeigen eine Mehrbelegung im Bereich des linken Mittelgesichtes.

Die ergänzend durchgeführte Untersuchung in SPECT-Technik (vgl. Abbildung 12) zeigt weitgehend überlagerungsfrei eine Mehrbelegung an der Innenberandung der linken Kieferhöhle mit grenzwertiger Beteiligung des Alveolarfortsatzes, des Os maxillare, des Jochbeins medial sowie der Ethmoidalzellen bis an die Frontobasis heranreichend. Eine Mehrbelegung läßt sich bis zur Schädelkalotte (Os frontale links) verfolgen. All diese Mehrbelegungen sind als ossäre Infiltrationen des bekannten Primärtumors zu werten.

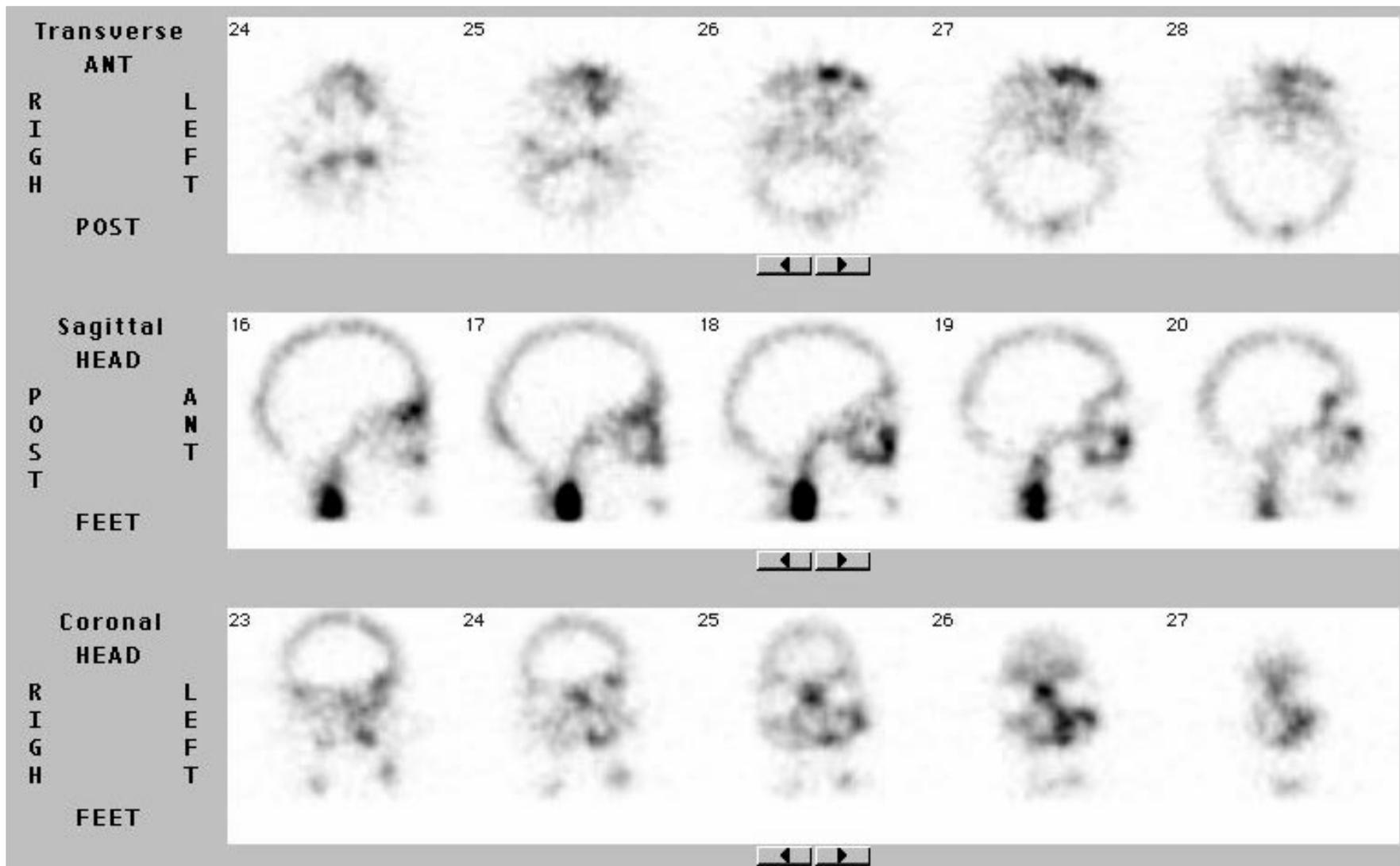


Abbildung 12 SPECT-Aufnahmen desselben Patienten wie in den Abbildungen 10 und 11, aufgenommen mit der Drei-Kopf-Kamera (Siemens, MULTISPECT 3)

5 Ergebnisse

5.1 Anzahl, Geschlechts- und Altersverteilung der Patienten im Kollektiv

In einem Zeitraum von 24 Monaten zwischen Juni 1994 und Mai 1996 wurden in der Klinik für Nuklearmedizin der Gießener Universitätsklinik 408 Patienten, den Auswahlkriterien entsprechend, einer planaren Szintigraphie der Knochen unterzogen. Bei diesen Patienten wurden insgesamt 474 zusätzliche Untersuchungen in SPECT-Technik durchgeführt.

Bei einer Verteilung von 227 Patientinnen zu 181 Patienten ergibt sich ein Verhältnis von 1,25:1 bei leichter Bevorzugung des weiblichen Geschlechtes. Die Altersspanne der untersuchten Frauen liegt zwischen 6 Monaten und 85 Jahren, im Durchschnitt waren die Frauen zum Zeitpunkt der Untersuchung 56 Jahre alt. Die untersuchten Männer waren im Durchschnitt 54 Jahre alt, die Altersspanne lag zwischen 6 Monaten und 86 Jahren. Die Altersverteilung im Patientengut ist Abbildung 13 zu entnehmen:

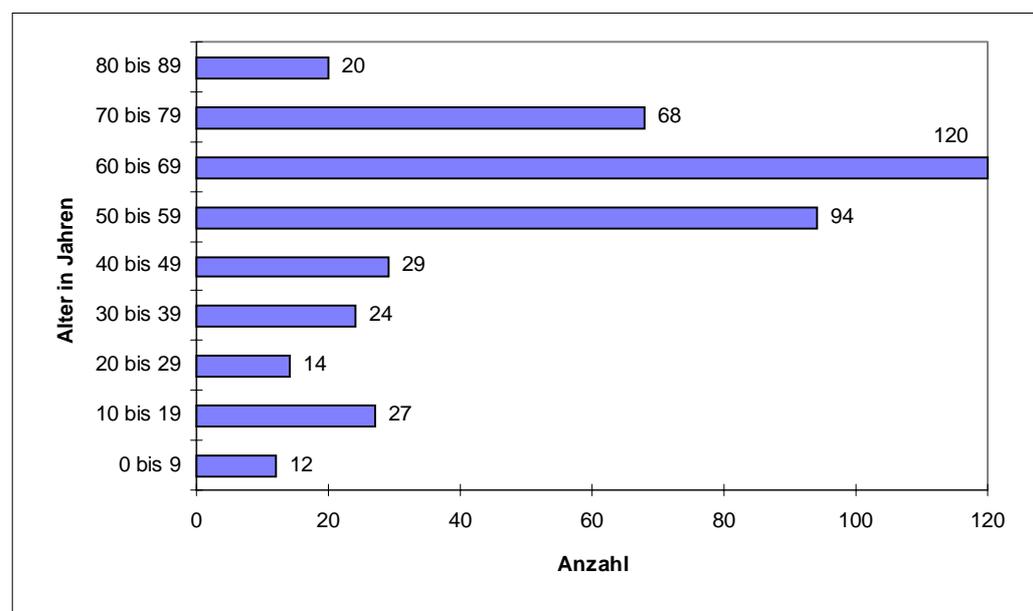


Abbildung 13 Altersverteilung der Patienten im Kollektiv, $n = 408$

5.2 In SPECT-Technik untersuchte Regionen

Bei 408 Patienten wurden insgesamt 474 Untersuchungen in SPECT-Technik durchgeführt. Bei 50 Patienten wurden zwei Regionen, bei drei Patienten wurden drei Regionen, bei einem Patienten wurden vier Regionen und bei einem Patienten wurden insgesamt acht Untersuchungen in SPECT-Technik durchgeführt.

Wenn zwei bzw. drei Regionen untersucht wurden, geschah dies meist in einer Sitzung, bei vier oder mehr untersuchten Regionen handelt es sich um Verlaufskontrollen innerhalb des Untersuchungszeitraumes.

Von den 474 durchgeführten Untersuchungen in SPECT-Technik entfielen auf den Schädel 48 (10%), auf die HWS 49 (10%), auf die BWS 81 (17%), auf den Thorax 23 (5%), auf die LWS 121 (26%), auf das Becken 93 (20%) und auf die Extremitäten 59 (12%).

Einen Überblick über die Verteilung der in SPECT-Technik untersuchten Regionen gibt Abbildung 14:

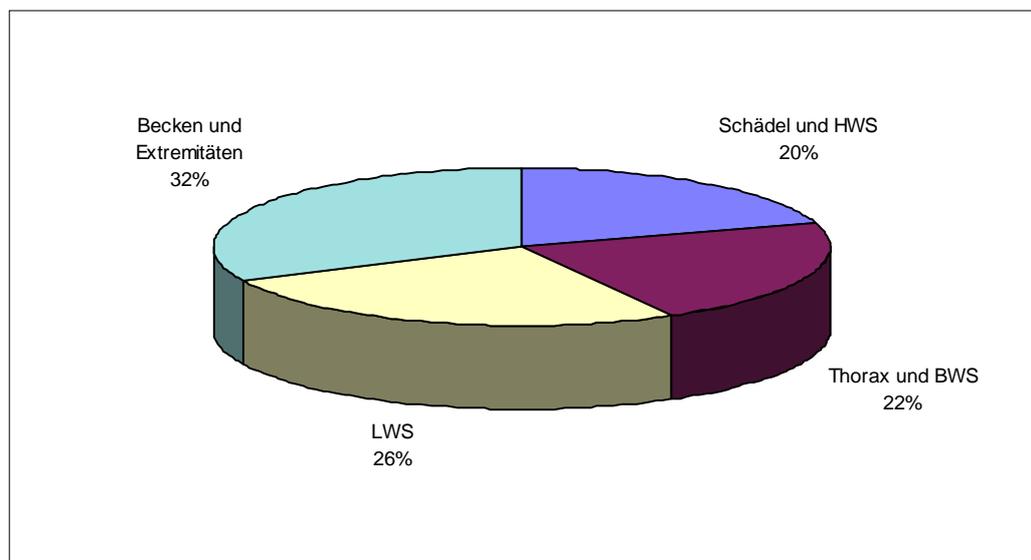


Abbildung 14 Verteilung der in SPECT-Technik untersuchten Regionen (n=474)

5.3 Fragestellungen

In Anlehnung an BROWN et al. (1993) lassen sich die Fragestellungen, unter denen szintigraphische Untersuchungen der Knochen angefordert und durchgeführt werden, auf einige wenige reduzieren, nämlich auf 1. onkologische und infektiöse, 2. orthopädische und 3. auf systemische Knochenerkrankungen bezogene.

Da die in die dritte Kategorie nach BROWN gehörenden Erkrankungen wie die renale Osteodystrophie, die Osteomalazie, der primäre Hyperparathyreoidismus und der M. Paget in unserem Krankengut nur sehr selten der Grund für eine gewünschte knochenszintigraphische Untersuchung waren, wurde diese Kategorie zusammen mit anderen selten vorkommenden Fragestellungen durch die Rubrik „sonstige Fragestellungen“ ersetzt. Von den 474 angeforderten Untersuchungen wurden 319 (67%) unter einer onkologischen, 76 (16%) unter einer infektiösen, 19 (4%) unter einer orthopädischen und 72 (15%) unter sonstigen Fragestellungen angefordert und durchgeführt (vergl. Abb. 15). Die Summe von 486 Fragestellungen ergibt sich daraus, daß aus differentialdiagnostischen Gründen manche Untersuchung unter mehr als einer Fragestellung angefordert wurde.

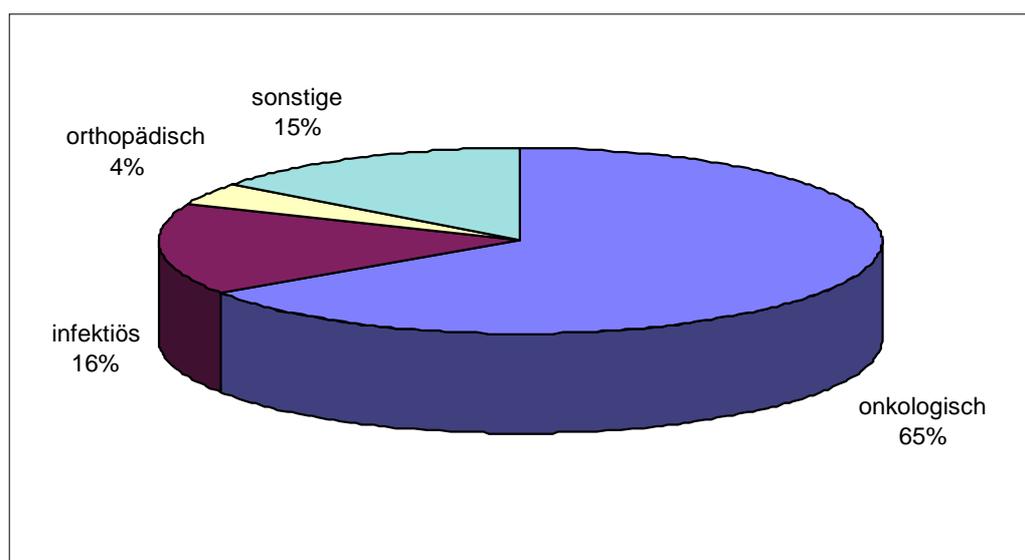


Abbildung 15 Verteilung der Fragestellungen (n=486)

5.4 Ergebnisse insgesamt

Aufgrund der in 474 durchgeführten Untersuchungen in SPECT-Technik gewonnenen Erkenntnisse konnten die Ergebnisse der planaren Szintigraphie in 456 Fällen (96%) bestätigt werden, in 20 Fällen (4%) war es notwendig, die durch die planare Szintigraphie erhaltenen Befunde zu korrigieren. In 223 Fällen (47%) konnten die Ergebnisse der planaren Szintigraphie erweitert werden.

Einen Überblick über die Ergebnisse insgesamt verschafft Abbildung 16:

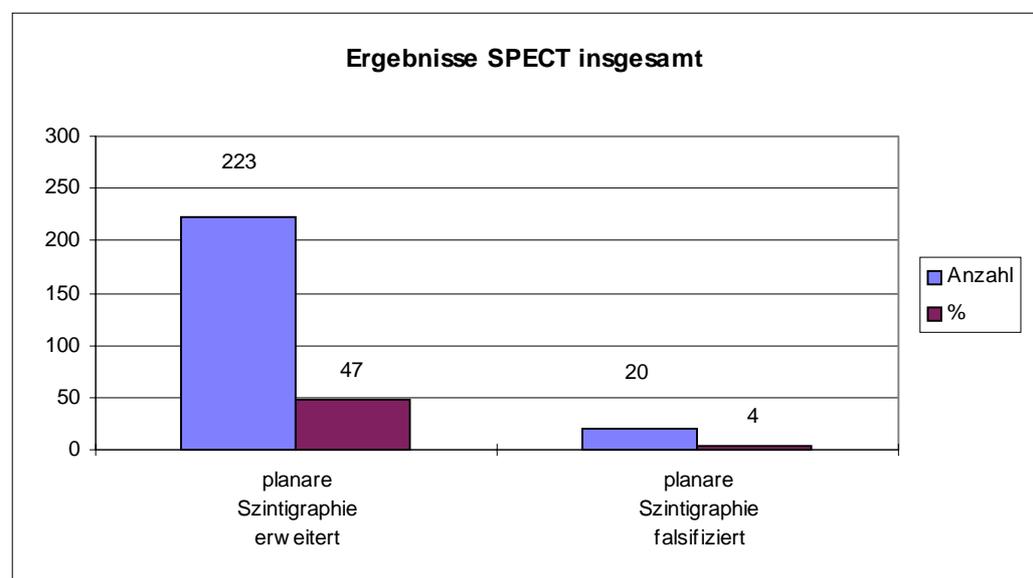


Abbildung 16 Die Ergebnisse der Untersuchungen in SPECT-Technik im Vergleich zur planaren Szintigraphie absolut und prozentual

Unterteilt man die zusätzlichen Informationen, die durch die Erkenntnisse der Untersuchung in SPECT-Technik gewonnen wurden, in die Bereiche 1. bessere Beurteilbarkeit der *Lokalisation* einer veränderten Nuklidaufnahme als in der planaren Szintigraphie, 2. bessere Beurteilbarkeit der *Ausdehnung* einer veränderten Nuklidaufnahme als in der planaren Szintigraphie, 3. durch SPECT *neu* nachgewiesene *Mehrbelegung* und 4. durch SPECT *neu* nachgewiesene *Minderbelegung*, ergibt sich das folgende Bild:

Tabelle 3 *Erweiterungen der Befunde der planaren Szintigraphie durch SPECT*

	Anzahl	% (SPECT-Untersuchungen [474]=100%)
Lokalisation	95	20
Ausdehnung	88	19
Mehrbelegung neu	72	15
Minderbelegung neu	11	2

Aus den Skelettszintigrammen in SPECT-Technik von 223 Patienten wurden insgesamt 266 zusätzliche Informationen gewonnen, d. h. die Befunde der planaren Szintigraphie sind teilweise in mehrfacher Hinsicht präzisiert worden.

5.4.1 Schädel und HWS

Im Untersuchungszeitraum wurde eine Szintigraphie des Schädels oder der HWS in 97 Fällen durchgeführt, und zwar 82 mal unter einer onkologischen, 11 mal unter einer infektiös/entzündlichen und 7 mal unter einer sonstigen Fragestellung.

In 52% der Fälle (50 Patienten) konnte durch die Untersuchung in SPECT-Technik ein Informationsgewinn erzielt werden. So konnte bei 21 Patienten (22%) die Nuklidanreicherung besser lokalisiert werden, bei 18 Patienten (19%) Zusatzinformationen über die Ausdehnung der Läsion gewonnen werden. Bei 21 Patienten (22%) wurde eine Mehranreicherung entdeckt, die in der planaren Szintigraphie nicht auszumachen war. Eine im Vergleich zur planaren Untersuchung neu aufgetretene Minderbelegung konnte in keinem der 97 Fälle nachgewiesen werden. Bei manchen Patienten konnte beispielsweise sowohl eine neue Mehrbelegung beschrieben als auch eine schon beschriebene Mehrbelegung besser lokalisiert werden, daher werden bei Addition 52% bzw. 97 Patientenfälle übertroffen. In 4% der Fälle (4 Patienten) stellten sich die aufgrund der planaren Szintigraphie erhobenen Befunde als falsch dar.

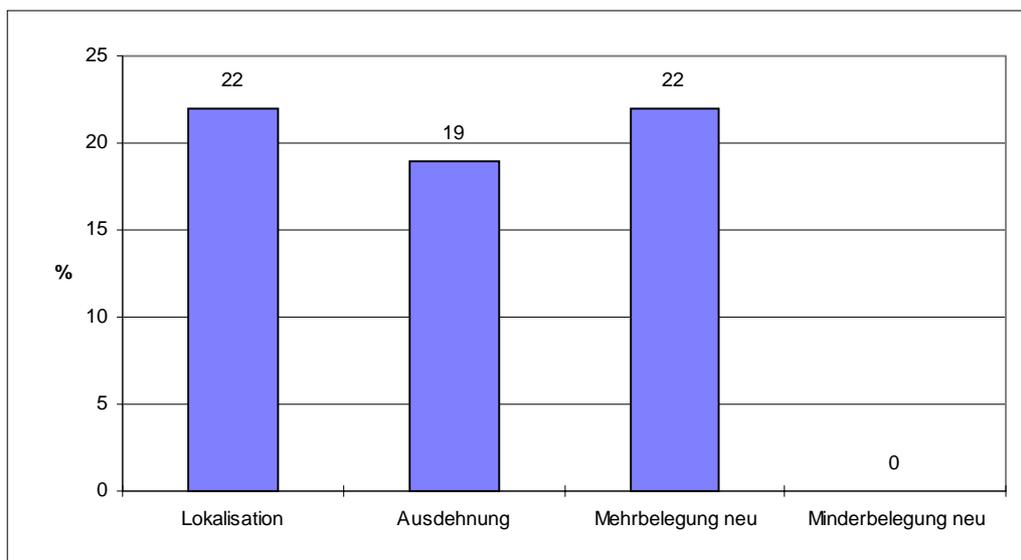


Abbildung 17 Informationszuwachs durch SPECT im Bereich des Schädels und der HWS (n=97)

5.4.2 Thorax und Brustwirbelsäule (BWS)

Eine szintigraphische Untersuchung der Brustwirbelsäule und des Thorax wurde bei 104 Patienten durchgeführt. Bei 92 Patienten stand eine onkologische, bei 6 Patienten eine entzündliche und bei 13 Patienten sonstige Fragestellungen im Vordergrund. Wiederum kamen mehrere Fragestellungen pro Patient vor.

Bei 57 Patienten oder 55% konnte ein Informationsgewinn durch die Untersuchung in SPECT-Technik erzielt werden. Eine bessere Lokalisation bzw. eine genauere Aussage über die Ausdehnung einer in der planaren Szintigraphie beschriebenen Veränderung war bei 25 bzw. 21 Patienten (24 bzw. 20%) möglich, eine vorher nicht beschriebene Mehrbelegung fand sich in 16% der Fälle (17 Patienten). Bei drei Patienten (3%) tauchte eine neue Nuklidminderbelegung im Bereich der BWS auf.

Aufgrund der Ergebnisse der SPECT-Untersuchung erwiesen sich die bei 7 Patienten (7%) erhobenen Befunde der planaren Szintigraphie als nicht zutreffend.

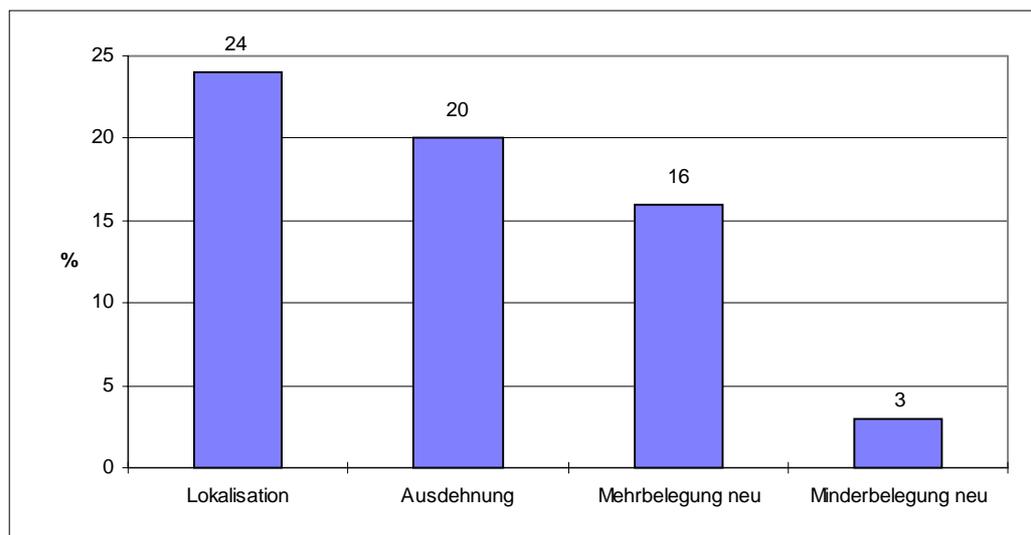


Abbildung 18 Informationszuwachs durch SPECT im Bereich des Thorax und der BWS (n=104)

5.4.3 Lendenwirbelsäule (LWS)

Die Untersuchung der Lendenwirbelsäule wurde bei 121 Patienten durchgeführt. Bei 80 Patienten war die Fragestellung eine onkologische, bei 23 Patienten war die Vermutung einer entzündlichen Ursache der Grund für die Untersuchung. Bei 18 Patienten wurden andere Ursachen für deren Beschwerdesymptomatik angenommen.

Bei 64 Patienten (53%) zeigte sich, daß die Untersuchung der LWS in SPECT-Technik zusätzliche Informationen zur planaren Technik lieferte. So war in 24% (29 Patienten) der Fälle eine verbesserte Aussage über die Lokalisation einer Läsion möglich, in ebenfalls 24% (29 Patienten) konnte die Ausdehnung eines Defektes genauer beschrieben werden. Bei 13 Patienten (11%) wurde durch die SPECT eine Mehrbelegung erst sichtbar gemacht, zusätzlich nachgewiesen wurde eine Minderbelegung bei drei Patienten (3%).

Nach der Durchführung der Untersuchung in SPECT-Technik stellten sich die mit planarer Technik erhobenen Befunde bei sechs Patienten (5%) als unrichtig heraus.

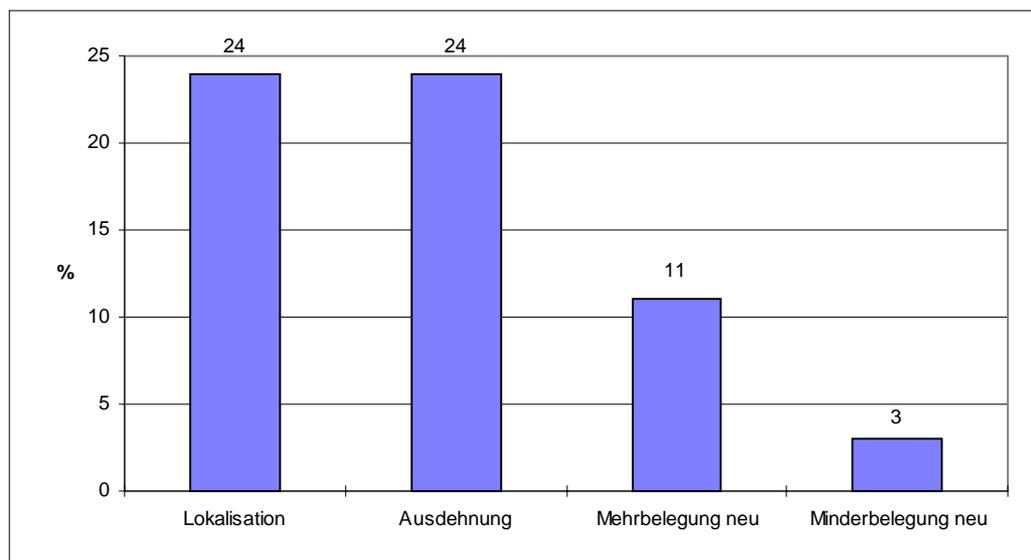


Abbildung 19 Informationszuwachs durch SPECT im Bereich der LWS ($n=121$)

5.4.4 Becken und Extremitäten

Es wurde das Becken bzw. die Extremitäten von 152 Patienten skelettszintigraphisch untersucht. 66 Untersuchungen wurden unter einer onkologischen, 36 unter einer entzündlichen, 35 unter einer sonstigen Fragestellung durchgeführt. Bei 16 Patienten sollte die Untersuchung über eine vermutete Lockerung einer implantierten Hüftendoprothese Aufschluß geben.

In 34% der Fälle (52 Patienten) konnte die SPECT neue Erkenntnisse erbringen. Dabei war in 13% der Fälle (20 Patienten) eine verbesserte Aussage über die Lokalisation einer Mehrspeicherung des Radionuklids möglich, in ebenfalls 13% (20 Patienten) konnte die Ausdehnung der Veränderung detaillierter erfaßt werden. Bei 21 der 152 Patienten (14%) konnte eine Nuklidmehrbelegung detektiert werden, die mit planarer Technik nicht dargestellt werden konnte. Bei 5 Patienten (3%) fiel eine vorher nicht sichtbare Minderbelegung auf. Bei 3 Patienten (2%) mußten die aufgrund der planaren Szintigraphie erhobenen Befunde revidiert werden, nachdem eine Untersuchung in SPECT-Technik durchgeführt wurde.

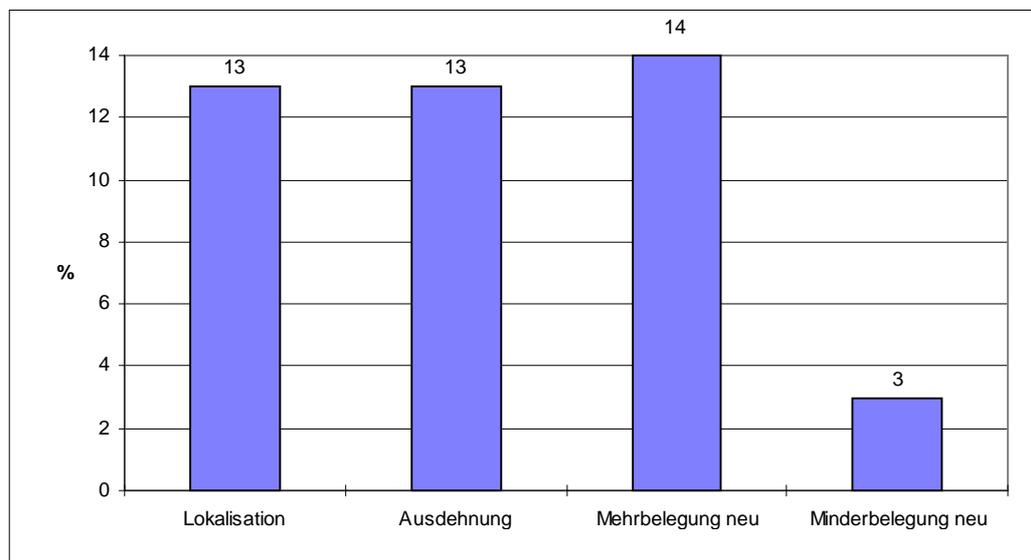


Abbildung 20 Informationszuwachs durch SPECT im Bereich des Beckens und der Extremitäten (n=152)

5.5 Ein-Kopf- und Drei-Kopf-Kamerasystem im Vergleich

5.5.1 Ergebnisse insgesamt

Von den im Untersuchungszeitraum durchgeführten 474 Skelettszintigraphien in SPECT-Technik wurden 216 Untersuchungen (46%) mit dem Ein-Kopf-Kamerasystem (EKK) und 258 Untersuchungen (54%) mit dem Drei-Kopf-Kamerasystem (DKK) durchgeführt.

Bei 223 Untersuchungen (47%) konnte durch SPECT ein Informationsgewinn erzielt werden. Im direkten Vergleich schnitt hierbei das Drei-Kopf-Kamerasystem statistisch signifikant ($p < 0,01$) mit 136 positiven Ergebnissen (53%) besser ab als das Ein-Kopf-System mit einem Informationszuwachs in 40% der Fälle (87 Untersuchungen). Abbildung 21 spiegelt diesen Sachverhalt wider.

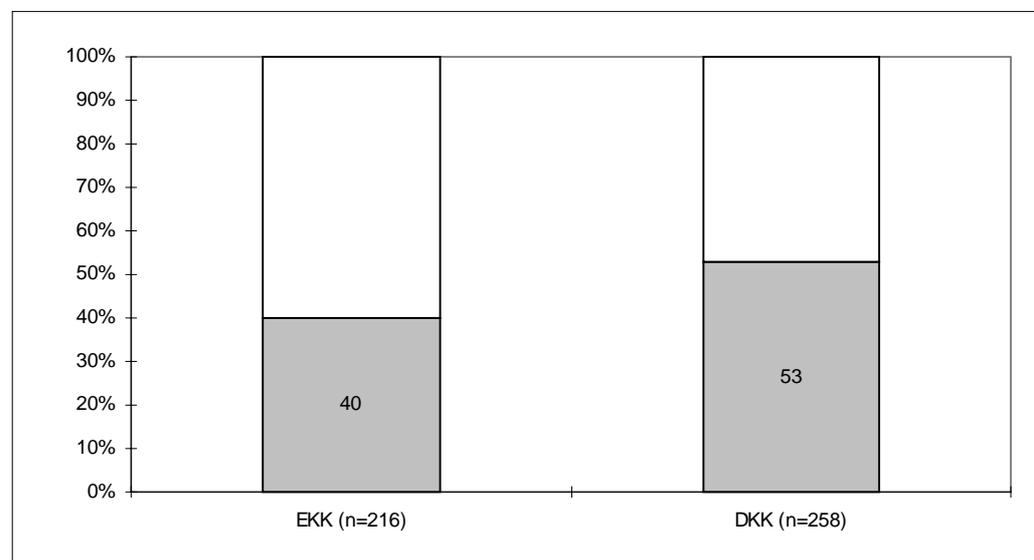


Abbildung 21 Informationsgewinne (in der Grafik dunkel dargestellt) unterschiedlicher Kamerasysteme), Angaben in Prozent

5.5.2 Die unterschiedlichen Qualitäten des durch SPECT erzielten Informationsgewinnes

Eine detailliertere Aussage über die Lokalisation einer vermehrten oder verminderten Aufnahme des Radionuklids in den Knochen war aufgrund der in SPECT-Technik durchgeführten Untersuchung in 20% der Fälle (95 Untersuchungen) möglich. Das Drei-Kopf-System mit einem Informationsgewinn in 17% der Untersuchungen (45 Fälle) scheint dem Ein-Kopf-Kamerasystem mit verbesserter Aussage in 23% der Fälle (50 Untersuchungen) leicht unterlegen zu sein. Das Ergebnis ist jedoch nicht signifikant.

Umgekehrt und statistisch signifikant ($p < 0,01$) ist das Verhältnis für eine genauere Beschreibung der Ausdehnung einer Mehr- bzw. Minderaufnahme der Aktivität in das Skelett. Bei insgesamt 88 Patienten (19%) war solch eine Aussageverbesserung möglich. Die Vorteile liegen auf Seiten des Drei-Kopf-Kamerasystems mit 26% (67 Fälle) gegenüber dem Ein-Kopf System, das solch einen Gewinn an Informationen nur in 10% (21 Fälle) zu liefern vermag.

Bei im Vergleich zur planaren Szintigraphie der Knochen zusätzlich detektierten Mehr- oder Minderbelegungen liefert das Drei-Kopf-System tendenziell bessere Ergebnisse. Neue Mehrbelegungen werden mit dem Drei-Kopf-System in 17% der Fälle Gefunden (Ein-Kopf-System: 13%), bis dato unbekannte Minderbelegungen nachzuweisen ist das Drei-Kopf-System in 4% der Fälle (Ein-Kopf-System: 1%) imstande.

Die Befunde der planaren Szintigraphie als unrichtig zu klassifizieren war bei beiden Systemen in 10 Fällen möglich (Ein-Kopf-System: 5%, Drei-Kopf-System: 4%).

5.5.3 Schädel und Halswirbelsäule (HWS)

Von insgesamt 97 Untersuchungen des Schädels und der HWS in SPECT-Technik wurden 55 mit der EKK, 42 mit der DKK durchgeführt. Ein Informationszuwachs konnte mit der EKK in 25 von 55 Fällen (46%), mit der DKK in 25 von 42 Fällen (60%) verzeichnet werden.

In statistisch signifikanter Weise ($p < 0,05$) lagen die Vorteile der DKK hier eindeutig im Sichtbarmachen der genauen anatomischen Ausdehnung einer Mehr- oder Minderbelegung: 12 von 42 Untersuchungen (29%) lieferten zusätzliche Informationen, während die EKK nur in 6 von 55 Fällen (11%) den gleichen Erfolg verzeichnen konnte.

Sowohl bei dem Sichtbarmachen von mit planarer Technik nicht nachweisbarer Mehrbelegungen als auch bei der genaueren Beschreibbarkeit der Lokalisation einer Läsion liefert in dieser Untersuchung die EKK die besseren Ergebnisse. Neue Mehrbelegungen werden von der EKK in 14 von 55 Fällen (26%) gefunden, die genauere Beschreibung der Lokalisation einer Läsion gelingt in 13 von 55 Fällen (24%). Von der DKK wurden neue Mehrbelegungen in 7 von 42 Fällen detektiert, die Lokalisation eines Defektes konnte in 8 der 42 Untersuchungen verbessert sichtbar gemacht werden.

Minderbelegungen wurden in dieser Untersuchung im Bereich des Schädels in keiner Szintigraphie ausgemacht, unabhängig von der Technik und vom verwendeten Kamerasystem.

Die Unrichtigkeit eines mit planarer Szintigraphie erhobenen Befundes wurde mit der EKK in 3 von 55 Fällen, mit der DKK in 1 von 42 Fällen dargestellt.

5.5.4 Thorax und Brustwirbelsäule (BWS)

Der Thorax und die Brustwirbelsäule wurden bei 104 Patienten in SPECT-Technik untersucht. 56 Untersuchungen wurden mit der EKK und 48 mit der DKK durchgeführt. Über detailliertere Informationen war nach 26 von 56 Untersuchungen (46%) mit der EKK und nach 31 von 48 Untersuchungen (65%) mit der DKK zu verfügen.

Die Ausdehnung einer Mehr- oder Minderbelegung war mit der DKK besser zu beurteilen als mit der EKK (DKK: 27%, EKK: 14%). Die genauere Zuordnung zu einer anatomischen Struktur gelang hingegen mit der EKK häufiger (EKK 27%, DKK 21%).

Neue Mehrbelegungen konnten mit Hilfe der DKK in 11 von 48 Fällen (23%), mit Hilfe der EKK in 6 von 56 Fällen (11%) beschrieben werden.

Bei 104 Untersuchungen wurde in drei Fällen eine Minderbelegung mit Hilfe der SPECT nachgewiesen, die sich dem Sichtbarmachen mit planarer Technik entzogen hatte. Diese Untersuchungen wurde mit dem Drei-Kopf-Kamerasystem durchgeführt.

Annähernd gleich waren die Ergebnisse beider Kamerasysteme beim Herausfiltern von Befunden, die nach alleiniger Untersuchung mit planarer Technik falsch erhoben worden wären. In 6% der Fälle (3 von 48) ermöglichte die SPECT, angefertigt mit der DKK, eine solche Korrektur. Die EKK erreichte dieses Ergebnis in vier von 56 Fällen (7%).

5.5.5 Lendenwirbelsäule (LWS)

Bei 121 Patienten wurde eine Skelettszintigraphie der LWS sowohl mit planarer Technik als auch in SPECT-Technik durchgeführt. Mit der EKK wurde ein Schichtscanning in 46 Fällen, mit der DKK in 75 Fällen angefertigt. Ein Informationsgewinn wurde mit der EKK in 39% (18 von 46 Fällen), mit der DKK in 61% (46 von 75 Fällen) erreicht. Dieses Ergebnis ist statistisch signifikant.

Bei der Beurteilung der Ausdehnung einer Läsion lieferte das DKK die statistisch hochsignifikant besseren Ergebnisse: 3 von 42 Untersuchungen (7%) sind nach SPECT mit der EKK, aber 26 von 75 Untersuchungen (35%) sind nach SPECT mit der DKK eindeutiger beurteilbar.

Die treffendere Beschreibung der Lokalisation einer Veränderung gelingt mit der EKK in 28% der Fälle (13 von 46 Fällen), die DKK liefert dieses Ergebnis in 21% der Fälle (16 von 75 Fällen).

Der Nachweis einer neuen Mehrbelegung ist mit der EKK in 2 der 46 Untersuchungen (4%) zu erbringen, mit der DKK gelingt dies in 11 von 75 Fällen (15%). Eine Minderbelegung neu nachgewiesen werden konnte in drei der 104 Untersuchungen, der Nachweis gelang mit der DKK.

Die Befunde der planaren Szintigraphie wurden in 6 Fällen falsifiziert, 2 mal mit der EKK (4%), 4 mal mit der DKK (5%).

5.5.6 Becken und Extremitäten

Vom Becken und von den Extremitäten wurden im Untersuchungszeitraum 152 Szintigraphien sowohl in planarer Technik als auch in SPECT-Technik durchgeführt, und zwar in 59 Fällen mit der EKK und in 93 Fällen mit der DKK. Die Anzahl der Untersuchungen, die durch die SPECT einen Informationsgewinn aufwiesen, war im Falle der EKK 18 (31%) und im Falle der DKK 34 (37%).

Die Ausdehnung einer Läsion war mit der EKK in 4 Fällen (7%), mit der DKK in 16 Fällen (17%) besser zu beurteilen als in der mit planarer Technik hergestellten Aufnahme. Die exaktere Lokalisation eines Defektes gelang mit der EKK in 9 Fällen (15%), mit der DKK in 11 Fällen (12%). In 16% der Fälle (15 Untersuchungen) konnte von der DKK eine neue Mehrbelegung nachgewiesen werden, mit der EKK gelang dies in 10% der Fälle (6 Untersuchungen).

Vorher nicht bekannte Minderbelegungen fielen durch die SPECT mit der EKK in 3% der Fälle auf (2 Untersuchungen), mit der DKK in ebenfalls 3% (3 Fälle). Nach SPECT stellten sich die Befunde der planaren Szintigraphie in 3 Fällen als falsch heraus, ein Fall wurde mit der EKK und zwei mit der DKK untersucht.

Der besseren Übersichtlichkeit wegen sind die Ergebnisse des direkten Vergleiches der beiden untersuchten Kamerasysteme zu Tabelle 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4 Informationsgewinne durch SPECT im Vergleich verschiedener Kamerasysteme in Prozent (wegen Mehrfachnennung ist die Gesamtprozentzahl kleiner als die Summe der Einzelprozentzahlen der jeweiligen Kategorien)

Schädel und HWS		EKK (n=55)	DKK (n=42)
	Lokalisation	24%	19%
	Ausdehnung	11%	29%
	Mehrbelegung neu	26%	17%
	Minderbelegung neu	0%	0%
	gesamt	46%	60%
Thorax und BWS		EKK (n=56)	DKK (n=48)
	Lokalisation	27%	21%
	Ausdehnung	14%	27%
	Mehrbelegung neu	11%	23%
	Minderbelegung neu	0%	6%
	gesamt	46%	65%
LWS		EKK (n=46)	DKK (n=75)
	Lokalisation	28%	21%
	Ausdehnung	7%	35%
	Mehrbelegung neu	4%	15%
	Minderbelegung neu	0%	4%
	gesamt	39%	61%
Becken und Extremitäten		EKK (n=59)	DKK (n=93)
	Lokalisation	15%	12%
	Ausdehnung	7%	17%
	Mehrbelegung neu	10%	16%
	Minderbelegung neu	3%	3%
	gesamt	31%	37%
alle Regionen		EKK (n=216)	DKK (n=258)
	Lokalisation	23%	17%
	Ausdehnung	10%	26%
	Mehrbelegung neu	13%	17%
	Minderbelegung neu	1%	4%
	gesamt	40%	53%

5.6 Einfluß der zusätzlich gewonnenen Informationen auf die weitere Diagnostik bzw. auf die weitere Therapie

Der Wert von durch die Untersuchung in SPECT-Technik gewonnenen Informationen wird entscheidend davon geprägt, ob diese zusätzlichen Informationen geeignet sind, weitere diagnostische oder therapeutische Maßnahmen zu initiieren bzw. geplante Maßnahmen überflüssig erscheinen zu lassen. Die entscheidende Frage ist also, ob der Verlauf der weiterführenden Diagnostik oder Therapie ein anderer gewesen wäre, hätten nur die Befunde der planaren Skelettszintigraphie und nicht die der Untersuchung in SPECT-Technik zur Verfügung gestanden.

Bei 87 von 216 durchgeführten Untersuchungen in SPECT-Technik mit der EKK konnte ein Zuwachs an Information verzeichnet werden. In 47 dieser 87 Fälle (54%) waren diese zusätzlichen Informationen geeignet, die weitere Patientenbehandlung zu beeinflussen, von allen in dieser Studie mit der EKK durchgeführten Untersuchungen waren dies 22% (47 / 216).

Bei 136 der 258 mit der DKK durchgeführten Untersuchungen in SPECT-Technik konnten zusätzliche Informationen zur planaren Skelettszintigraphie gewonnen werden. Von diesen 136 Informationsgewinnen waren 97 (71%) geeignet, das weitere Prozedere zu beeinflussen. Von der Gesamtheit aller mit der DKK durchgeführten Untersuchungen waren das 38% (97 / 258).

Differenziert man die durchgeführten Untersuchungen nach den Fragestellungen, so ergibt sich ein fast identisches Bild. Da aber die Anzahl der Untersuchungen unter den Fragestellungen „entzündlich/infektiös“, „orthopädisch“ und „sonstige“ zahlenmäßig relativ gering sind und somit die aus diesen Untersuchungen abgeleiteten Erkenntnisse von begrenzter Aussagekraft wären, erscheint es nur sinnvoll, die Werte für die unter onkologischer Fragestellung durchgeführten Untersuchungen anzugeben. Der

Vollständigkeit halber seien sie aber, zusammengefaßt unter „andere“, den onkologischen Fragestellungen graphisch gegenübergestellt.

Von 319 unter onkologischer Fragestellung durchgeführten Untersuchungen wurde bei 155 Untersuchungen in SPECT-Technik ein Informationsgewinn verzeichnet. 70 dieser Untersuchungen wurden mit der Ein-Kopf-Kamera, 85 mit der Drei-Kopf-Kamera durchgeführt. Von den 85 mit der DKK erzielten Informationsgewinnen waren 60 geeignet, die nachfolgende Diagnostik oder Therapie zu beeinflussen, dies entspricht 71%. Von den 70 mit der EKK zusätzlich gewonnenen Informationen waren lediglich 15 geeignet, das weitere Behandlungsmanagement zu beeinflussen, dies entspricht 21%. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 22 dargestellt.

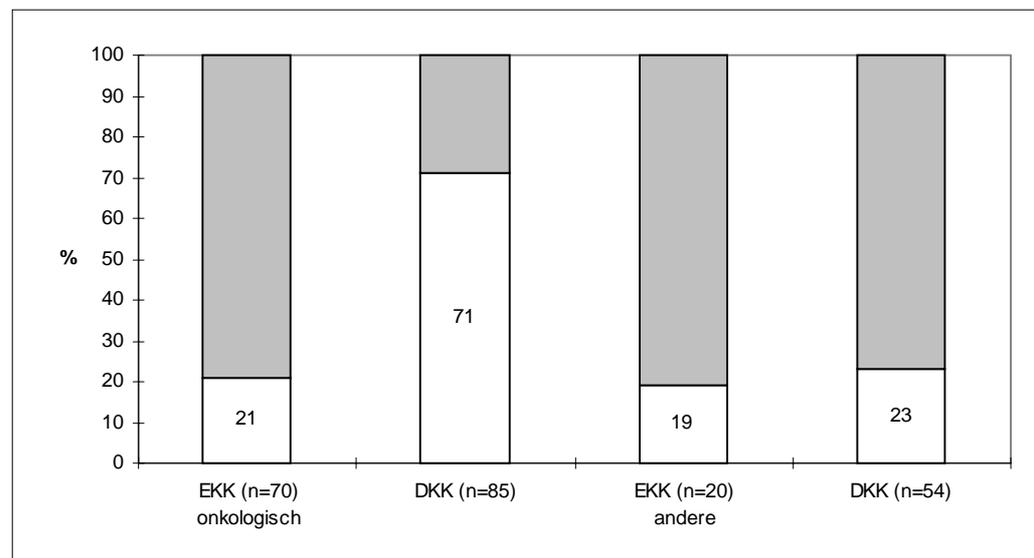


Abbildung 22 Diagnostik- oder therapiebeeinflussende Informationsgewinne durch SPECT bei onkologischer Fragestellung im Vergleich zu anderen Fragestellungen, Angaben in Prozent

6 Diskussion

Verschiedene Arbeiten der letzten Jahre konnten zeigen, daß die Single-Photonen-Emissions-Computertomographie des Skelettes bzw. einzelner Skelettabschnitte der Skelettszintigraphie in planarer Technik bezüglich der Sensitivität überlegen ist (z.B. HOLDER et al. 1995; KANMAZ et al. 1992; SCOTT et al. 1992; KRASNOW, COLLIER, KNEELAND et al. 1987; COLLIER, CARRERA, JOHNSON et al. 1985). Die Spezifität wird minimal geringer angegeben (SPECT: 0.71, planar: 0.76; HOLDER et al. 1995). Die falsch-negativen Skelettszintigramme liegen bei der Suche nach Metastasen unter 3% (BELLIVEAU und SPENCER 1975; BRADY und CROLL 1979; MALL et al. 1976; O'MARA 1976).

In einer Literaturübersicht stellen SCHAUB und HAHN dar, daß Minderanreicherungen im Sinne von sogenannten „Cold lesions“ beim Bronchial-, Schilddrüsen-, Mammakarzinom, multiplen Myelom, Wilms-Tumor, Neuroblastom, Melanom, Nasopharynxkarzinom, M. Hodgkin, Osteosarkom und dem Ewing-Sarkom vorkommen (SCHAUB und HAHN 1990). Die Häufigkeit beträgt 2,3% der Metastasen (KOBBER et al. 1979).

Bei Kindern mit bekanntem Malignom entspricht eine solitäre Läsion im Knochenscan in 39% einer Metastase (BROWN 1983).

Einer Studie von COCORAN et al. von 1976 ist zu entnehmen, daß bei Patienten mit bekanntem Malignom einzelne Läsionen des Rumpfskelettes im Knochenscan in 64% einer Metastase entsprechen; bei 1229 Fällen waren in 15% solitäre Anreicherungen nachweisbar. In den 90 histologisch untersuchten Kasuistiken ergab sich obiges Ergebnis (COCORAN et al. 1976).

Eine isolierte Nuklidanreicherung im Sternum einer Patientin mit bekanntem Mammakarzinom entspricht mit fast 80%iger Wahrscheinlichkeit einer Metastase (KWAI et al. 1988), eine einzelne Läsion im Bereich der Rippen bei

Patienten mit extraskelettalem Malignom korrespondiert jedoch nur in etwa 10% der Fälle mit einer Metastase (TUMEH et al 1985).

SCHAUWECKER zeigte, daß sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen, die bei bestehendem Verdacht auf eine Osteomyelitis einen unauffälligen Röntgenbefund hatten, eine Osteomyelitis mit einer Spezifität von 95% und einer Sensitivität von 94% nachgewiesen werden konnte (SCHAUWECKER 1992).

In demselben Artikel weist er allerdings auch darauf hin, daß bei Patienten, die durch eine andere Erkrankung einen erhöhten Knochenumsatz haben, die Sensitivität auf dem gleichen hohen Niveau bleibt, die Spezifität jedoch signifikant auf 33% abfällt. In solchen Fällen ist die Durchführung einer Szintigraphie mit Indium-111- oder Technetium-99m-HMPAO markierten Leukozyten indiziert. Auf diese Weise wird eine Sensitivität von 88% bzw. eine Spezifität von 85% erreicht (SCHAUWECKER 1992).

Die Sensitivität und Spezifität der Skelettszintigraphie zum Nachweis einer Prothesenlockerung hat EISSNER 1990 in einer kurzen Literaturübersicht zusammengestellt. Demnach erreicht die Skelettszintigraphie bei einer bestehenden Lockerung der Pfanne ebenso wie bei einem gelockerten Schaft eine Spezifität von 94%. Die Sensitivität wird von diesem Autor für die Pfanne mit 64%, für den Schaft mit 91% angegeben (EISSNER 1990).

WEISS et al. geben die Sensitivität im Bereich des Schaftes mit 100% an (WEISS et al. 1979).

Einen differenzierten Überblick über das Ausmaß des Informationsgewinnes, den man durch die SPECT im Vergleich zur planaren Skelettszintigraphie in der Routinediagnostik erhält, sucht man in der Literatur vergeblich. Nur für ganz spezielle Krankheitsbilder oder begrenzte Skelettabschnitte sind Daten zu erfahren, die meist nur über die Anzahl, nicht aber über die Qualität der zusätzlichen Informationen Auskunft geben.

So ist im Bereich des Schädels in etwa 44% der Fälle (15/34) mit zusätzlichen Informationen durch die SPECT im Vergleich zur planaren Skelettszintigraphie zu rechnen, in etwa 9% (3/34) erbringt die SPECT Befunde, die ausschließlich im Schichtscanning zu finden sind. Der Informationsgewinn bezieht sich vornehmlich auf die exakte anatomische Lokalisation und die genaue Ausdehnung der knöchernen Läsion. Besonders offensichtlich ist der Zuwachs an Information bei Läsionen, die in Strukturen wie dem Os sphenoidale, dem Os zygomaticum, dem Clivus oder der Maxilla zu finden sind, also in Strukturen, die ganz oder teilweise durch andere Knochenpartien überlagert sind (ISRAEL et al. 1988).

Bei der szintigraphischen Untersuchung der Lendenwirbelsäule von Patienten, die an einer chronischen Lumbalgie leiden, ist in etwa 55% der in SPECT-Technik untersuchten Fälle eine im Vergleich zur planaren Skelettszintigraphie verbesserte Aussage zu erwarten, 31% der Läsionen sind nur durch die SPECT zu entdecken (KANMAZ et al. 1992).

YUEH et al. geben die Zahl der knöchernen Läsionen der Lendenwirbelsäule, die nur durch die SPECT und nicht durch die planare Skelettszintigraphie zu diagnostizieren sind, mit knapp 5% an (YUEH et al. 1996).

Den einzigen Hinweis auf den Umfang eines zu erzielenden Informationsgewinnes durch den Einsatz der SPECT-Technik in der täglichen Routine der Skelettszintigraphie ergibt sich aus einer Studie aus dem Jahre 1989: in einem Zeitraum von 18 Monaten wurden 105 Patienten mit posttraumatischen, entzündlichen, degenerativen und malignen Veränderungen der Wirbelsäule sowohl mit konventioneller (planarer) Skelettszintigraphie als auch in SPECT-Technik untersucht. Es zeigte sich, daß bei 29 Patienten, also knapp 28%, die SPECT der planaren Skelettszintigraphie überlegen war und zusätzliche Informationen erbringen konnte. Diese zusätzlichen Informationen bestanden hauptsächlich im Nachweis von osteolytischen Herden und von diskreten Veränderungen, die im Wirbelkörper oder im Wirbelbogen lokalisiert waren (NÄGELE-WÖHRLE et al. 1989).

Angaben über den Umfang des zu erwartenden Informationsgewinnes in der täglichen Routinediagnostik sowohl qualitativer als auch quantitativer Art fehlen in der einschlägigen Literatur fast vollständig. Es ist jedoch wichtig, maximale Informationen über die Ausdehnung und die Lokalisation einer veränderten Nuklidaufnahme in den Knochen zu haben, da aufgrund der exakten Zuordnung einer Aktivitätsmehrbelegung zu einer anatomischen Struktur eine Aussage über die wahrscheinliche Dignität der Läsion möglich ist. Dies gilt zumindest für die untere Brust- und die Lendenwirbelsäule (EVEN-SAPIR et al. 1993).

Ein Informationsgewinn konnte in dieser Untersuchung, unabhängig vom verwendeten Kamerasystem, in 47% aller Untersuchungen erzielt werden. Der einzige Vergleichswert wird von NÄGELE-WÖHRLE et al. mit knapp 28 % angegeben (NÄGELE-WÖHRLE et al. 1989).

Im Bereich des Schädels und der Halswirbelsäule konnte in diesem Patientengut ein Zuwachs an Informationen in 52% der Fälle verzeichnet werden. Diese Zahl ist vergleichbar mit den Ergebnissen von ISRAEL et al., die die Beurteilbarkeit einer Skelettszintigraphie des Schädels in SPECT-Technik in 44% der Fälle verbessert sahen (ISRAEL et al. 1988).

Die von KANMAZ et al. angegebenen Werte über den zu erwartenden Informationsgewinn bei der SPECT der Lendenwirbelsäule von etwa 55% konnte in dieser Untersuchung nicht nachgewiesen werden, auch nicht die nur durch die Untersuchung in SPECT-Technik zu detektierenden Läsionen, die diese Arbeitsgruppe mit 31% beziffert (KANMAZ et al. 1992).

Zwar konnte bei 53% aller in SPECT-Technik untersuchten Lendenwirbelsäulen ein detaillierterer Befund erhoben werden als mit der planaren Szintigraphie allein, Mehr- oder Minderbelegungen, die auf den planaren Szintigrammen der LWS nicht zu sehen waren, fanden sich jedoch nur in 13% der Fälle. Diese Zahl korreliert eher mit den 5%, die von YUEH et al. für

Läsionen der Lendenwirbelsäule angegeben wird, welche nur durch die Untersuchung in SPECT-Technik auffindig zu machen sind (YUEH et al. 1996). Es hat sich ein größerer Informationsgewinn an Regionen gezeigt, die eine komplexere Anatomie der knöchernen Strukturen aufweisen als an Arealen, die die fast überlagerungsfreie Darstellung des Skelettes erlauben. So erbrachte die SPECT am Becken und den Extremitäten den zahlenmäßig geringsten Gewinn an Informationen (34%), bei der Untersuchung so komplizierter Strukturen wie der Wirbelsäule oder des Schädels wurden in bis zu 55% der Fälle zusätzliche Informationen zur planaren Szintigraphie gewonnen.

Einen Überblick darüber, in wievielen Fällen bei der Skelettszintigraphie in SPECT-Technik einer bestimmten Region ein Informationszuwachs anfällt, verdeutlicht Abbildung 23.

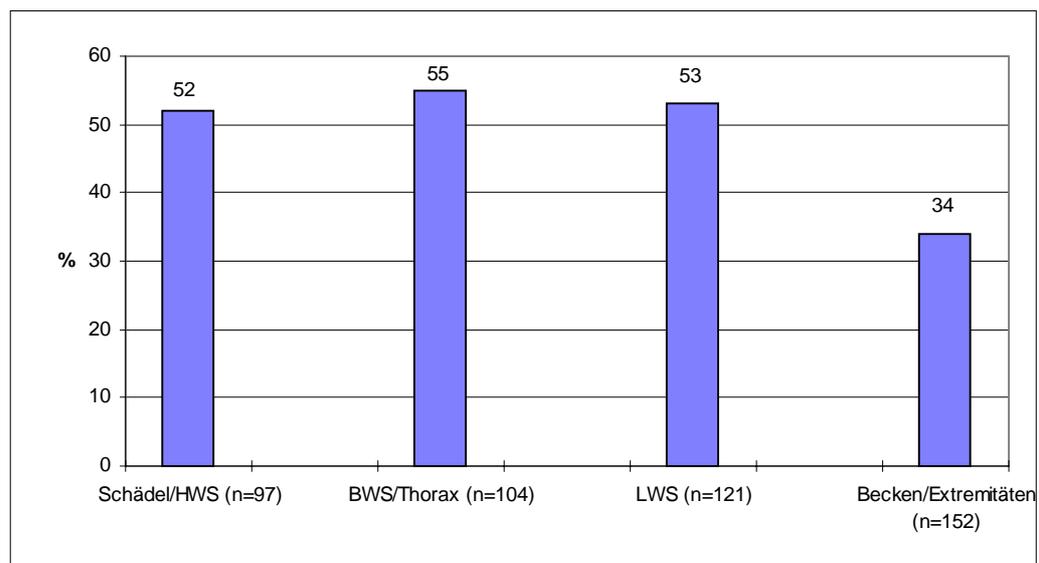


Abbildung 23 *Quantitativer Informationsgewinn durch SPECT, Angaben in Prozent*

Die Qualität des Informationsgewinnes läßt sich unterteilen in die vier Kategorien

- a. zusätzliche Informationen über die *Lokalisation* einer Läsion,
- b. zusätzliche Informationen über die *Ausdehnung* einer Läsion,
- c. zusätzliche Läsion in Form einer *neuen Mehrbelegung* nachweisbar,

- d. zusätzliche Läsion in Form einer *neuen Minderbelegung* nachweisbar.

Zusätzliche Mehr- oder Minderbelegungen haben sich in 17% aller untersuchten Fälle darstellen lassen. Hier zeigt sich deutlich, daß durch die schichtweise Darstellung der SPECT-Technik Befunde sichtbar gemacht werden können, die ansonsten der Abbildungsweise der planaren Szintigramme zum Opfer fallen und unsichtbar bleiben. Der besondere Wert der SPECT in diesem Zusammenhang muß nicht extra betont werden.

Auf die Wichtigkeit, exakteste Angaben über die Lokalisation und die Ausdehnung eines Defektes machen zu können, weil dadurch mit hoher Wahrscheinlichkeit Rückschlüsse auf die Dignität einer Läsion möglich sind, wurde schon hingewiesen (EVEN-SAPIR et al. 1993). Zusätzliche Informationen für diese beiden Kategorien konnten in dieser Arbeit in nicht unerheblichem Maße gewonnen werden (Lokalisation: 20%; Ausdehnung: 19%).

Beim Vergleich der beiden Kamerasysteme stellte sich die Drei-Kopf-Kamera als diejenige heraus, die insgesamt am häufigsten zusätzliche Informationen zur planaren Skelettszintigraphie liefern konnte. In 53% aller mit der Drei-Kopf-Kamera untersuchten Fälle war ein Informationsgewinn zu verzeichnen, jedoch nur in 40% aller Fälle, die mit der Ein-Kopf-Kamera analysiert wurden. Unterteilt man die in SPECT-Technik untersuchten Regionen wie oben angegeben, so ergibt sich für die zu erwartenden Informationsgewinne folgendes Bild:

Tabelle 5 Informationsgewinne verschiedener Kamerasysteme durch SPECT im Vergleich zur planaren Szintigraphie der Knochen (Angaben in Prozent)

	Ein-Kopf-Kamera	Drei-Kopf-Kamera
Schädel und HWS	46 (n=55)	60 (n=42)
Thorax und BWS	46 (n=56)	65 (n=48)
LWS	39 (n=46)	61(n=75)
Becken und Extremitäten	31 (n=59)	37 (n=93)

Ohne statistisch signifikant zu sein, vermag die EKK bessere Aussagen hinsichtlich der Lokalisation einer Läsion zu liefern. In 23% aller Untersuchungen, die mit der EKK vorgenommen wurden, ist ein Zuwachs an Information festzustellen, die DKK liefert in 17% ein ebensolches Ergebnis. Möglicherweise hat die gute Auflösung der Drei-Kopf-Kamera dazu geführt, daß veränderte Nuklidaufnahmen in den Knochen, die von der Ein-Kopf-Kamera als ein einziger Defekt sichtbar gemacht worden wären, als mehrere kleine Läsionen erkennbar sind und somit in die Kategorie „neue Mehr- bzw. Minderbelegung“ eingeordnet wurden. Dies ist nicht unerheblich, haben doch EVEN-SAPIR et al. nachgewiesen, daß eine Nuklidmehraufnahme, die allein auf den Wirbelkörper begrenzt ist, in 89% der Fälle benigne ist, während in 83% der Fälle eine Metastase vorliegt, wenn sich diese Mehranreicherung ununterbrochen in den angrenzenden Teil des Arcus vertebrae fortsetzt (EVEN-SAPIR et al. 1993).

Statistisch signifikante ($p < 0,01$) Vorteile hat bei der exakteren Darstellung der Ausdehnung einer Läsion die Drei-Kopf-Kamera gegenüber der Ein-Kopf-Kamera. In 26% der Fälle ist die Ausdehnung einer Mehr- oder Minderbelegung detaillierter beurteilbar, bei von der Ein-Kopf-Kamera hergestellten Schichtaufnahmen ist dies nur in 10% der Fall.

Bei im Vergleich zur planaren Szintigraphie der Knochen zusätzlich detektierten Mehr- oder Minderbelegungen liefert das Drei-Kopf-System tendenziell bessere Ergebnisse. Neue Mehrbelegungen werden mit dem Drei-Kopf-System in 17% der Fälle gefunden (Ein-Kopf-System: 13%), bis dato unbekannte Minderbelegungen nachzuweisen ist das Drei-Kopf-System in 4% der Fälle (Ein-Kopf-System: 1%) imstande.

Informationsgewinne, die geeignet sind, behandlungsbeeinflussend zu sein, werden von der Drei-Kopf-Kamera in 38% der Untersuchungen geliefert, dies bedeutet, daß 71% aller zusätzlich zur planaren Szintigraphie gewonnenen Informationen geeignet sind, den weiteren Behandlungsablauf zu beeinflussen.

Für das Ein-Kopf-System ergeben sich folgende Werte: 22% aller mit der Ein-Kopf-Kamera durchgeführten Untersuchungen in SPECT-Technik sind geeignet, das weitere Prozedere zu beeinflussen, bezogen auf die zusätzlich zur planaren Szintigraphie gewonnenen Informationen bedeutet dies, daß 54% der Informationsgewinne geeignet sind, behandlungsbeeinflussend zu sein. Die Vorteile des Drei-Kopf-Kamerasystems sind statistisch signifikant ($p < 0.01$).

Inwieweit die Skelettszintigraphie und insbesondere der durch die Untersuchung in SPECT-Technik erlangte Informationsgewinn tatsächlich einen Einfluß auf die weiterführende Diagnostik oder auf die Therapieplanung des einzelnen Patienten hat, läßt sich mit dieser retrospektiven Studie nicht klären. Zu vielfältig sind die Parameter, die den Ausschlag für oder gegen die eine oder die andere Maßnahme gegeben haben könnten, z.B. andere Untersuchungsergebnisse aus anderen Untersuchungen, der Allgemeinzustand des Patienten, das soziale Umfeld des Patienten. Möglicherweise könnte man mittels einer prospektiv angelegten Studie den tatsächlichen Einfluß der Skelettszintigraphie und insbesondere der Szintigraphie in SPECT-Technik auf weiterführende diagnostische oder therapeutische Maßnahmen ermitteln.

Da die für diese Arbeit erhobenen Daten nicht in SI-Einheiten faßbar sind, ist es nicht ungewöhnlich, daß die gefundenen Ergebnisse nicht exakt mit Angaben aus der Literatur übereinstimmen. Da aber in dieser Arbeit in etwa 50% aller Untersuchungen durch die SPECT ein Gewinn an Information erhalten werden kann, so ist davon auszugehen, daß die Patienten in jedem Falle von dieser Untersuchungsmethode profitieren, selbst wenn der tatsächliche Anteil der Untersuchungen, in denen ein Informationsgewinn erzielt wird, niedriger sein sollte.

Aufgrund der Tatsachen, daß

1. die Skelettszintigraphie in SPECT-Technik zuverlässige Hinweise auf die Dignität einer gefundenen Läsion geben kann,

2. die Skelettszintigraphie in SPECT-Technik
hochsensitiv ist,
3. ein Informationsgewinn bei annähernd der Hälfte
aller untersuchten Patienten zu verzeichnen ist und
4. bei Patienten, die wegen einer onkologischen
Fragestellung untersucht werden, therapie- oder
diagnosebeeinflussende Zusatzinformationen in bis
zu 71% der Fälle gewonnen werden können,

ist die Skelettszintigraphie in SPECT-Technik nach der planaren Szintigraphie des Skelettes bei der Erstuntersuchung eines jeden Patienten zu empfehlen, wenn die planare Untersuchung nicht kongruente Ergebnisse zum Beschwerdebild des Patienten liefert, wenn Läsionen vermutet werden, die planare Skelettszintigraphie aber keine oder fragwürdige Veränderungen zeigt oder wenn zur weiteren Therapieplanung (z.B. für eine Operation oder eine Bestrahlung) das Wissen um die exakte anatomische Lokalisation und Ausdehnung einer Läsion notwendig ist.

Hat man die Wahl, so ist zur Untersuchung einem Drei-Kopf-Kamerasystem der Vorzug vor einem Ein-Kopf-System zu geben, da insgesamt häufiger die gewünschten zusätzlichen Informationen zur planaren Szintigraphie des Skelettes erbracht werden können und der für die Untersuchung notwendige Zeitaufwand bei gleichbleibender Qualität auf ein Drittel reduziert werden kann. Wird dieses Zeitersparnis nicht vollständig ausgenutzt, so erhält man eine bessere Auflösung der Nuklidverteilung als unter sonst gleichen Voraussetzungen mit einer Ein-Kopf-Kamera.

7 Zusammenfassung

Anhand der retrospektiven Analyse von 474 Skelettszintigraphien in SPECT-Technik und der entsprechenden planaren Szintigramme des Skelettes wurde überprüft, welcher Informationsgewinn sowohl qualitativer als auch quantitativer Art durch den Einsatz der Emissions-Computertomographie zu erzielen ist. Dabei wurde die Tatsache besonders berücksichtigt, daß ein Teil der Untersuchungen mit einem Ein-Kopf-Kamerasystem, der andere Teil mit einem Drei-Kopf-Kamerasystem durchgeführt wurde.

Es zeigte sich, daß ein Informationsgewinn, unabhängig vom verwendeten Kamerasystem, in 47% aller Fälle erreicht werden konnte. Differenziert man die in SPECT-Technik untersuchten Regionen in *Schädel und Halswirbelsäule (HWS)*, *Brustwirbelsäule (BWS) und Thorax*, *Lendenwirbelsäule (LWS)* sowie *Becken und Extremitäten*, so läßt sich ein Zuwachs an Information, je nach untersuchter Region, in 34-55% der Fälle verzeichnen.

Die Ausbeute an zusätzlichen Informationen ist an Skelettabschnitten, die eine komplexere Anatomie der knöchernen Strukturen aufzuweisen haben, größer als an Arealen, in denen sich die Knochen weitestgehend überlagerungsfrei darstellen lassen. Konkret bedeutet dies, daß an der BWS und am Thorax mit einem Informationsgewinn von 55% zu rechnen ist, die Emissions-Computertomographie des Beckens und der Extremitäten bringt dagegen in nur 34% der Fälle zusätzliche Informationen zur planaren Untersuchung.

Die Qualität des am häufigsten gelieferten Informationszuwachses ist eine verbesserte Aussagefähigkeit über die Lokalisation einer veränderten Nuklidaufnahme in den Knochen. In 20% aller Fälle ist dies möglich. Die Ausdehnung eines Defektes läßt sich in 19% der Fälle exakter differenzieren, nachdem die Untersuchung in SPECT-Technik stattgefunden hat. Zusätzliche Mehr- bzw. Minderbelegungen lassen sich in 15% bzw. 2% aller Untersuchungen nachweisen.

Die Untersuchung in SPECT-Technik mit dem Drei-Kopf-Kamerasystem liefert statistisch signifikant ($p < 0,01$) häufiger den angestrebten Informationsgewinn, nämlich in 53% der Fälle im Vergleich zur Ein-Kopf-Kamera, die diese Mehrinformationen in 40% der Untersuchungen erbringt.

Die exaktere Zuordnung einer veränderten Nuklidaufnahme in den Knochen zu einer anatomischen Struktur ist häufiger durch die Ein-Kopf-Kamera möglich, bei der differenzierteren Beschreibung der Ausdehnung einer Mehr- oder Minderbelegung erweist sich das Drei-Kopf-System überlegen.

Zusätzliche Mehrbelegungen im Vergleich zum korrespondierenden planaren Szintigramm werden insgesamt von der Drei-Kopf-Kamera häufiger detektiert als vom Ein-Kopf-System (17% bzw. 13%), ebenso verhält es sich mit zusätzlich gefundenen Minderbelegungen (4% im Vergleich zu 1%).

Informationsgewinne durch die Untersuchung in SPECT-Technik, die geeignet erscheinen, die weiterführende Diagnostik oder Therapie zu beeinflussen, erhält man bei Benutzung des Ein-Kopf-Systems in 22% der Fälle (54% der mit der EKK detektierten Informationsgewinne), bei Benutzung des Drei-Kopf-Kamerasystems hochsignifikant häufiger in 38% der Fälle (71% der mit der DKK zusätzlich gewonnenen Informationen).

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die Skelettszintigraphie in SPECT-Technik, unabhängig vom verwendeten Kamerasystem, in fast der Hälfte aller Fälle Informationen zur Verfügung stellt, die durch die alleinige Untersuchung in planarer Technik übersehen worden wären.

Steht zur Untersuchung ein modernes Drei-Kopf-Kamerasystem zur Verfügung, läßt sich diese Ausbeute auf durchschnittlich 53% steigern, bei Strukturen mit einer komplexen Anatomie des Skelettes wie der Wirbelsäule sogar auf Werte um 60%.

8 Literaturverzeichnis

BELLIVEAU, R. E., SPENCER, R. P. (1975): Incidence and sites of bone lesions detected by 99m Tc polyphosphate scans in patients with tumors. *Cancer* 36: 359-363

BRADY, L. W., CROLL, M. N. (1979): The role of bone scanning in cancer patients. *Skeletal Radiol* 3: 217-222

BROWN, M. L. (1983): Significance of the solitary lesion in pediatric bone scanning: concise communication. *J Nucl Med* 24: 114-115

BROWN, M. L., COLLIER, B. D., JR., FOGELMAN, I. (1993): Bone scintigraphy: Part 1. Oncology and infection. *J Nucl Med* 1993; 34: 2236-2240

CITRIN, D. L., BESSENT, R. G., GREIG, W. R. (1977): A comparison of the sensitivity and accuracy of the Tc-99m phosphate bone scan and skeletal radiographs in the diagnosis of bone metastases. *Clin Radiol* 28: 107-117

COCORAN, R. J., THRALL, J. H., KYLE, R. W., KAMINSIK, R. J., JOHNSON, M. C. (1976): Solitary abnormalities in bone scan of patients with extraosseus malignancies. *Radiology* 121: 663-667

COLLIER, B. D., JR., FOGELMAN, I., BROWN, M. L. (1993): Bone scintigraphy: Part 2. Orthopedic bone scanning. *J Nucl Med* 1993; 34: 2241-2246

COLLIER, B. D., JOHNSON, R. P., CARRERA, G. F., MEYER, G. A., SCHWAB, J. P., FLATLEY, T. J., ISITMAN, A. T., HELLMAN, R. S., ZIELONKA, J. S., KNOBEL, J. (1985): Painful spondylolysis or spondylolisthesis studied by radiography and Single-Photon Emission Computed Tomography. *Radiology* 1985; 154: 207-211

CREUTZIG, H. (1976): Bone imaging after total replacement arthroplasty of the hip joint. *Eur J Nucl Med* 1976; 1: 177-180

DEMANGEAT, J. L., CONSTANTINESCO, A., BRUNOT, B., FOUCHER, G., FARCOT, J. M. (1988): Three-phase bone scanning in reflex sympathetic dystrophy of the hand. *J Nucl Med* 1988; 28: 26-32

EISSNER, D. (1990): Postoperative nuklearmedizinische Verlaufskontrolle. In: BRUSSATIS, F., HAHN, K. (Hrsg.): *Nuklearmedizin in der Orthopädie*. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio, Hong Kong, Barcelona: Springer Verlag 1990

EVAN-SAPIR, E., MARTIN, R. H., BARNES, D. C., PRINGLE, C. R., ILES, S. E., MITCHELL, M. J. (1993): Role of SPECT in differentiating malignant from benign lesions in the lower thoracic and lumbar vertebrae. *Radiology* 1993; 187: 193-198

FOGELMAN, I., COLLIER, B. D., JR., BROWN, M. L. (1993): Bone scintigraphy: Part 3. Bone scanning in metabolic bone disease. *J Nucl Med* 1993; 34: 2247-2252

FRANK, J. A., LING, A., PATRONAS, N. J. (1990): Detection of malignant bone tumors: MR imaging versus scintigraphy. *AJR* 1990; 155: 1043-1048

GELMAN, M. I., COLEMAN, R. E., STEVENS, D. M., DAVEY, B. W. (1978): Radiography, radionuclide imaging, and arthrography in the evaluation of total hip and knee replacement. *Radiology* 1978; 128: 677-682

GOLD, R. H., BASSETT, L. W. (1986): Radionuclide evaluation of skeletal metastases: practical considerations. *Skeletal Radiol* 1986; 15: 1-9

GOSFIELD, E. III., ALAVI, A., KNEELAND, B. (1993): Comparison of radionuclide bone scans and magnetic resonance imaging in detecting spinal metastases. *J Nucl Med* 1993; 34: 2191-2198

HOLDER, L. E., MACHIN, J. L., ASDOURIAN, P. L., LINKS, J. M., SEXTON, C. C. (1995): Planar and high-resolution SPECT bone imaging in the diagnosis of Facet Syndrome. *J Nucl Med* 1995; 36: 37-44

ISRAEL, O., JERUSHALMI, J., FRENKEL, A., KUTEN, A., FRONT, D. (1988): Normal and abnormal Single Photon Emission Computed Tomography of the skull: comparison with planar scintigraphy. *J Nucl Med* 1988; 29: 1341-1346

JONES, S. E., SALMON, S. E. (1976): The role of radionuclides in clinical oncology. *Semin Nucl Med* 1976; 6: 331-346

KAMPMANN, H., BUCHELT, L. (1983): Importance of skeletal scintigraphic imaging in oncological practice. *Röntgenblätter* 1983; 10: 342

KANMAZ, B., YU, L., UZUM, F., UYGUR, G., AKANSEL, G., GUNES, I., KRASNOW, A. Z., HELLMAN, R. S., COLLIER, B. D. (1992): SPECT versus planar bone scintigraphy in patients with low back pain. *J Nucl Med* 1992; 33: 868

KATZ, G., MORSCHER, E., FRIDRICH, R., MÄCKE, H. (1985): Die Stellung der nuklearmedizinischen Verfahren bei der Abklärung gelockerter Gelenksendoprothesen. *Nuc Compact* 1985; 16: 262-271

KOBER, B., HERMANN, H. J., WETZEL, E. (1979): „Cold lesions“ in der Knochenszintigraphie. *Fortschr Röntgenstr* 1979; 131: 545-549

KRASNOW, A. Z., COLLIER, B. D., KNEELAND, J. B., CARRERA, G. F., RYAN, D. E., GINGRASS, D., SEWALL, S., HELLMAN, R. S., ISITMAN, A. T., FRONCISZ, W., JESMANOWICZ, A., HYDE, J. S. (1987): Comparison of high-resolution MRI and

SPECT bone scintigraphy for noninvasive imaging of the temporomandibular joint. *J Nucl Med* 1987; 28: 1268-1274

KUHL, D. E., EDWARDS, R. Q. (1963): Image separation radioisotope scanning. *Radiology* 1963; 80: 653-662

LEVENSON, R. M., SAUERBRUNN, B. J. L., BATES, H. R., NEWMAN, R. D., EDDY, J. L., IHDE, D. C. (1983): Comparative value of bone scintigraphy in radiography in monitoring tumor response in systemically treated prostatic carcinoma. *Radiology* 1983; 146: 513-518

MALL, J. C., BEKERMAN, C., HOFFER, P. B., GOTTSCHALK, A. (1976): A unified approach to the detection of skeletal metastases. *Radiology* 1976; 118: 323-328

MCNEIL, B. J. (1984): Value of bone scanning in neoplastic disease. *Semin Nucl Med* 1984; 14: 277-286

MURRAY, R. O., JACOBSON, H. G. (1977): The radiology of skeletal disorders. Churchill Livingstone, Edinburgh, 2nd edition, 1977

NÄGELE-WÖHRLE, B., NICKEL, O., FISCHER, S., HAHN, H. (1989): Einsatz der SPECT-Technik in der Skelettszintigraphie der Wirbelsäule. *Nukl.-Med.* 1989; 28: 74-75

O'MARA, R. E. (1976): Skeletal scanning in neoplastic disease. *Cancer* 1976; 37: 480-486

POLLEN, J. J., WITZTUM, K. F., ASHBURN, W. L. (1984): The flare phenomenon on radionuclide bone scan in metastatic prostate cancer. *AJR* 1984; 142: 773-776

ROBILLARD, J. (1977): The value of radioisotope scanning in bone metastases. *J Radiol* 1977; 58: 722-725

ROSSLEIGH, M. A., LOVEGROVE, F. T. A., REYNOLDS, P. M., BYRNE, M. J. (1982): Serial bone scans in the assessment of response to therapy in advanced breast carcinoma. *Clin Nucl Med* 1982; 7: 397-398

ROSSLEIGH, M. A., LOVEGROVE, F. T. A., REYNOLDS, P. M., BYRNE, M. J., WHITNEY, B. P. (1984): The assessment of response to therapy of bone metastases in breast cancer. *Aust NZJ Med* 1984; 14: 19-22

SCHAJOWICZ, F. (1981): Tumors and tumorlike lesions of bones and joints. New York: Springer 1981

SCHAUB, T., HAHN, K. (1990): Indikationen und Ergebnisse der Knochenszintigraphie. In: BRUSSATIS, F., HAHN, K. (Hrsg.): Nuklearmedizin in der Orthopädie. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio, Hong Kong, Barcelona: Springer Verlag 1990

SCHAUWECKER, D. S. (1992): The scintigraphic diagnosis of osteomyelitis. *AJR* 1992; 158: 9-18

SCOTT, A. M., SCHWARZER, A., COOPER, R., WANG, S., HOSCHL, S., WISEMAN, J. C., COOTE, D., LAURENT, R. (1992): Comparison of SPECT and planar bone scintigraphy methods with zygapophyseal joint injection in the evaluation of chronic low back pain. *J Nucl Med* 1992; 33: 868-869

STY, J. R., KUN, L. E., STARSHAK, R. J. (1985): Pediatric applications in nuclear oncology. *Sem Nucl Med* 1985; 15: 171-200

SUBRAMANIAN, G., MCAFEE, J. G., BLAIR, R. J., KALLFELZ, F. A., THOMAS, F. D. (1975): Technetium-99m-Methylene Diphosphonate - a superior agent for skeletal imaging: comparison with other technetium complexes. *J Nucl Med* 1975; 16: 744-755

SUNDKVIST, G. M., AHLGREN, L., LILJA, V., MATTSSON, S., ABRAHAMSSON, P. A. (1990): Dynamic quantitative bone scintigraphy in patients with prostatic carcinoma treated by orchiectomy. *Eur J Nucl Med* 1990; 16: 671-676

TOFE, A. J., FRANCIS, M. D., HARVEY, W. J. (1975): Correlation of neoplasms with incidence and localisation of skeletal metastases; an analysis of 1355 diphosphonate bone scans. *J Nucl Med* 1975; 16: 986-989

TUMEH, S. S., BEADLE, G., KAPLAN, W. D. (1985): Clinical significance of solitary rib lesions in patients with extraskelatal malignancies. *J Nucl Med* 1985; 26: 1140-1143

VOLLET, B., ZIMMERMANN, H., SCIUK, J., BRANDAU, W., SCHOBBER, O. (1993): Leistungsmerkmale eines Drei-Kopf-Systems unter patientenrelevanten Bedingungen im Vergleich zu konventionellen SPECT-Kameras. *Nucl.-Med.* 1993; 32: 63-110: A 122

WEISS, P. E., MALL, J. C., HOFFER, P. B., MURRAY, W. R., RODRIGO, J. J., GENANT, H. K. (1979): ^{99m}Tc-Methylene Diphosphonate Bone Imaging in the evaluation of total hip prostheses. *Radiology* 1979; 133: 727-729

WILLIAMSON, B. R. J., MCCLAUGHLIN, R. E., WANG, G. J., MILLER, C. W., TEATES, C. D., BRAY, S. T. (1979): Radionuclide bone imaging as a means of differentiating loosening and infection in patients with a painful total hip prosthesis. *Radiology* 1979; 133: 723-726

YUEH, T. C., ZENG, S. Q., HU, P., WU, K. N., SHI, R., LI, Y. (1996): The usefulness of Tc-99m MDP bone SPECT in the diagnosis of lumbar spine lesions. *J Nucl Med* 1996; 37: 127P

9 Danksagung

Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. Bauer für die Überlassung des Themas und die freundliche Unterstützung während dieser Arbeit. Beides ist heute keine Selbstverständlichkeit mehr.

Herrn Dr. M. Puille danke ich für die wertvolle Hilfe bei der Auswahl und der Bereitstellung der skelettszintigraphischen Bilder.

Meiner Ehefrau Angelika und meinen Töchtern Franziska und Amelie danke ich ganz besonders. Oft mußten sie ihren Ehemann und Papa entbehren, wenn er wiederholt tageweise am Computer saß.

Meinen Eltern bin ich insbesondere zu Dank verpflichtet. Durch ihre jahrelange Unterstützung haben sie mir meine Studien überhaupt erst ermöglicht und tun es noch.

10 Lebenslauf

Name: Stefan Thorsten Hoffmann-Biehl, geb. Hoffmann

Geburtsdatum: 31. Mai 1966

Geburtsort: Braunschweig

Familienstand: verheiratet

Kinder: zwei Töchter

Schulbildung: 1972 bis 1976 Grundschule in Braunschweig
1976 bis 1978 Orientierungsstufe in Braunschweig
1978 bis 1982 Realschule in Braunschweig
1982 bis 1986 Gymnasium Raabeschule in Braunschweig

Schulabschluß: 1986 Abitur

Zivildienst: 1986 bis 1988 in Bad Nauheim, während dieser Zeit Ausbildung zum Krankenpflegehelfer

Studium: 1988 bis 1994 Studium der Humanmedizin an der Justus-Liebig-Universität in Gießen
Oktober 1994 3. Staatsexamen
seit 1994 Studium der Zahnheilkunde an der Justus-Liebig-Universität in Gießen