

Vorlesung Nuklearmedizin in der Medizinphysik

Einsatz der Szintigraphie und SPECT

Prof. Dr. Christian la Fougère



- Kurze Wiederholung:
 - Tracerprinzip, Tc-Generator
 - Konventionelle nuklearmedizinische Technik:
 - Planare Szintigraphie, SPECT
 - Gängige Radionuklide für Therapie und Diagnostik
- Beispiele für klinische Fragestellungen bezugnehmend auf die Innere
 - Einsatz der Skelettszintigraphie
 - Einsatz der Myocardszintigraphie
 - Einsatz der Nierenszintigraphie
- Beispiele klinische Fragestellungen mit Bezug auf die Chirurgie :
 - Sentinel-Lymph-Node
 - Lokalisation des Nebenschilddrüsenadenoms
 - Mehrphasen-Skelett-Szintigraphie
 - Entzündungsdiagnostik



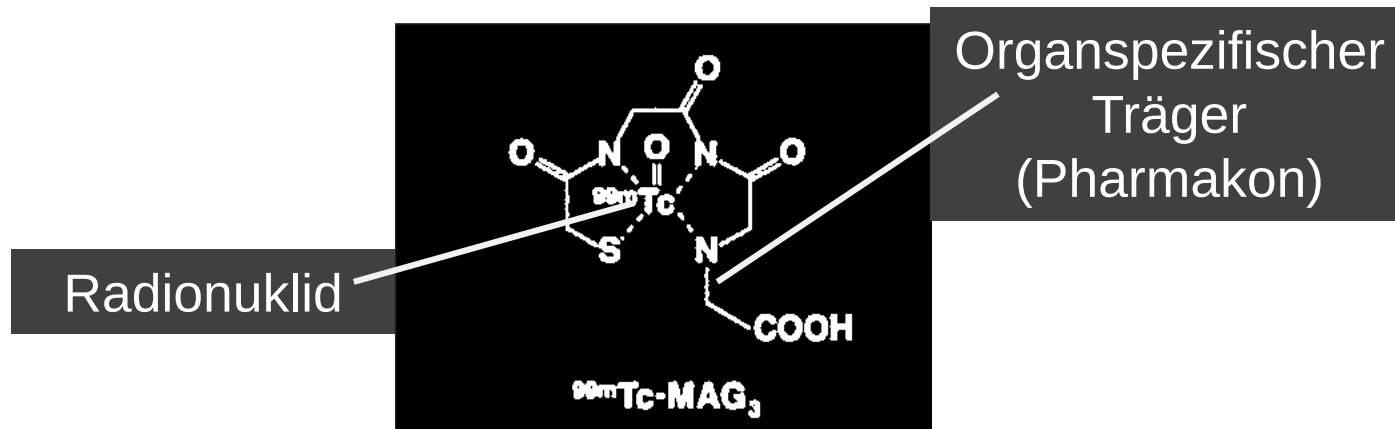
- Anwendung von radioaktiven Stoffen:
 - zu diagnostischen Zwecken
 - zu therapeutischen Zwecken
 - zu Erforschung von Erkrankungen

- Tracermethode: de Hevesy (1943)

Einsatz von kleinsten Mengen radioaktiv markierter Substanzen

 - selektive Untersuchung von physiologischen
 - selektive Untersuchung von biochemischen Vorgängen
 - Quantitative Datenerfassung

- Radioaktive Arzneimittel (Radiopharmaka) sind Arzneimittel, die radioaktive Stoffe enthalten und ionisierende Strahlung spontan aussenden und die wegen dieser Eigenschaften angewendet werden.
- keine pharmakologische Wirkung



Extrem niedrige Radiotracerdosen Anwendung am Menschen ohne pharmakologischer Effekte

X-ray contrast medium
100 ml, 62 300 000 μg

MRI contrast medium
10 ml, 4 700 000 μg

Bay-949
5 μg

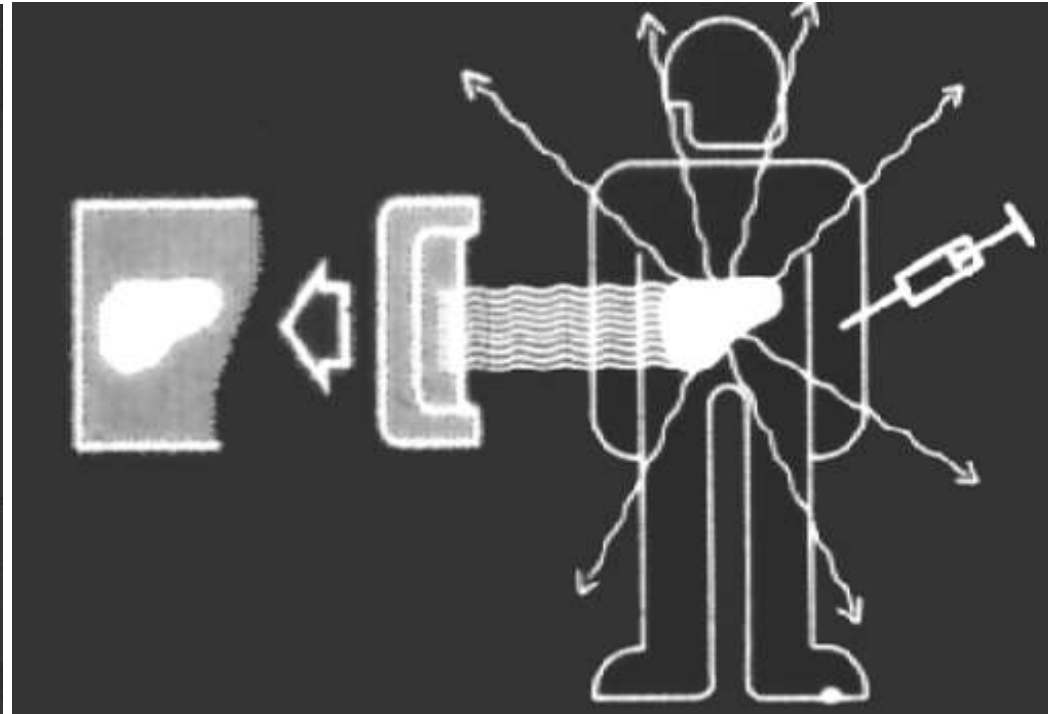
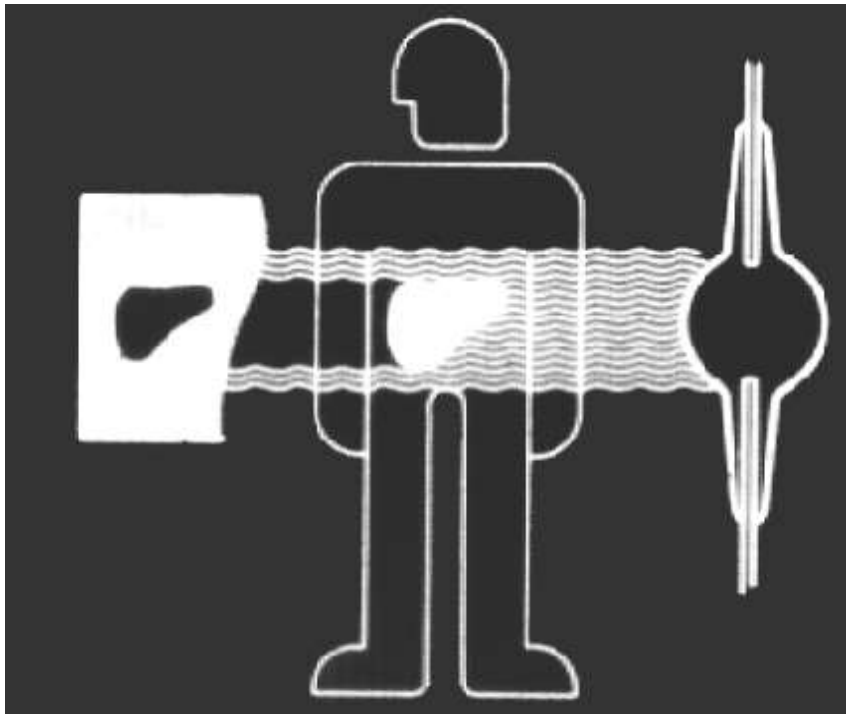


Radiologie

morphologisch

Nuklearmedizin

funktionell



Anwendung

Diagnostik

Tc-99m: HWZ 6h

I-123: HWZ 13,2 h

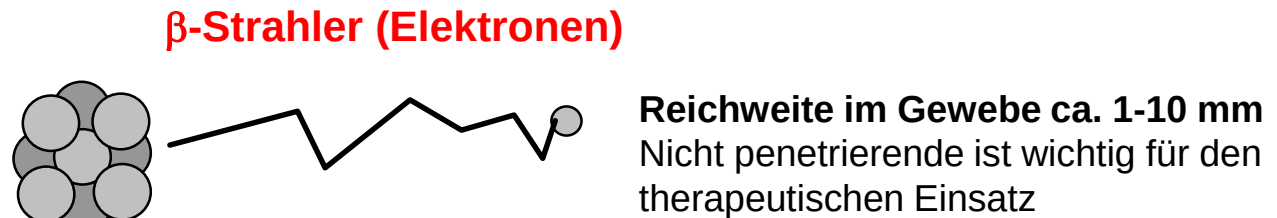
Therapie

Y-90: HWZ 64h

Lu-177: HWZ 6,7d

I-131: HWZ 8,0 d

Ra-223 HWZ 11,4d



$$\text{Aktivität (A)} = \frac{\text{Zerfälle}}{\text{Zeit}}$$

$$1 \text{ Bq} = \frac{\text{Zerfälle}}{\text{sec}}$$

- Technetium-Generator:

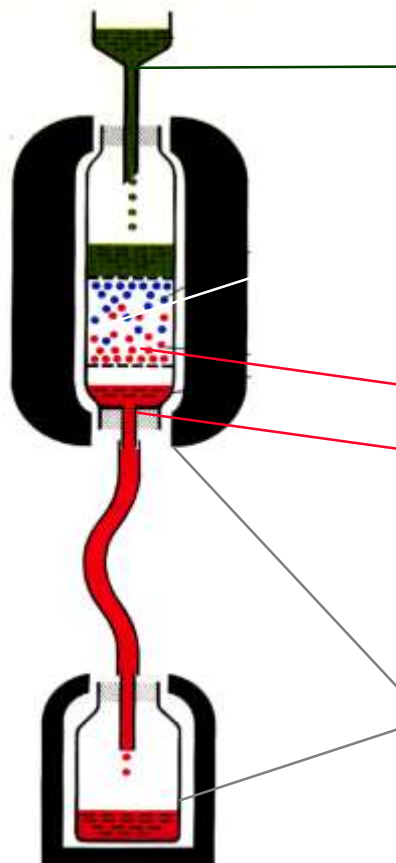
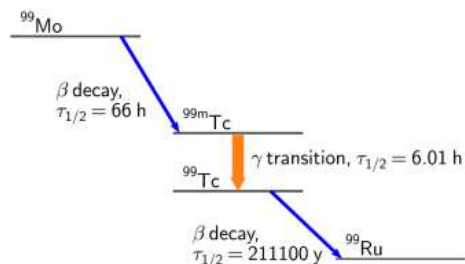
- HWZ Molybdän (^{99}Mo) $\xrightarrow{\text{HWZ } 66 \text{ h}}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$

- Anwendung Heisslabor

- „Kostengünstig“
 - Praxis-tauglich

- Tracer-kits:

- „einfache eigene Herstellung durch MTRA“

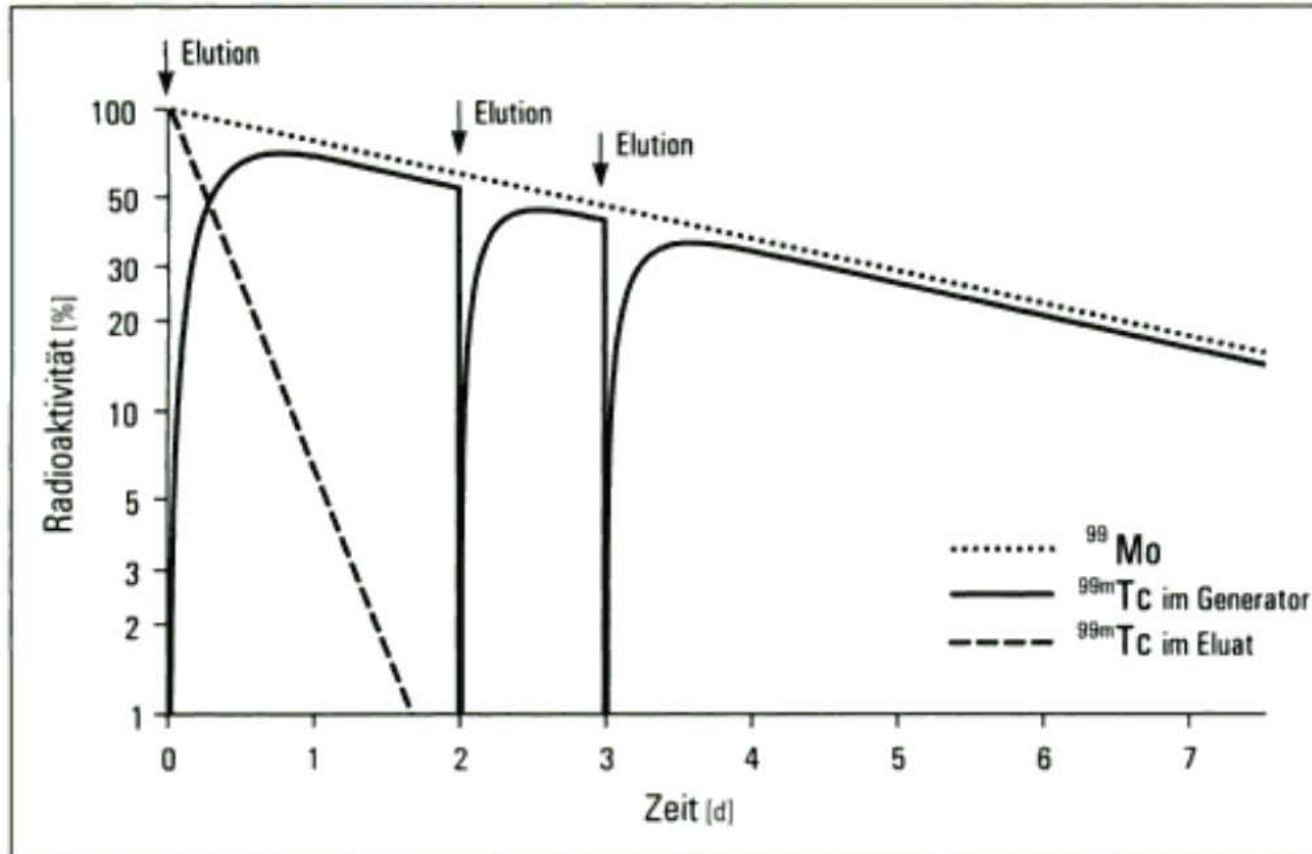


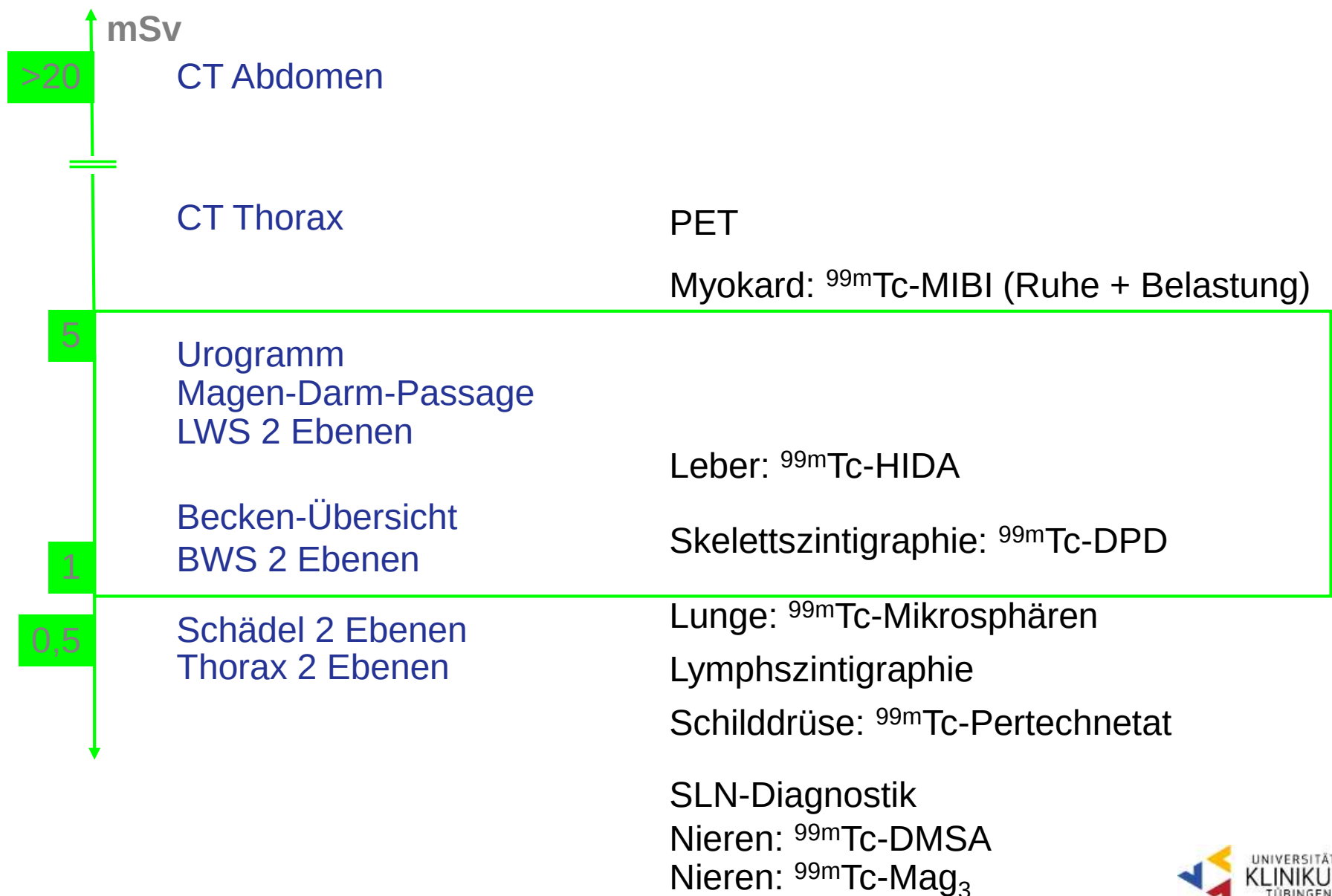
Elutionsmittel (NaCl)

Chromatographie - Säule mit
radioaktivem Mutternuklid
abgetrenntes radioaktives

Tochternuklid

Bleiabschirmung





statische Szintigraphie

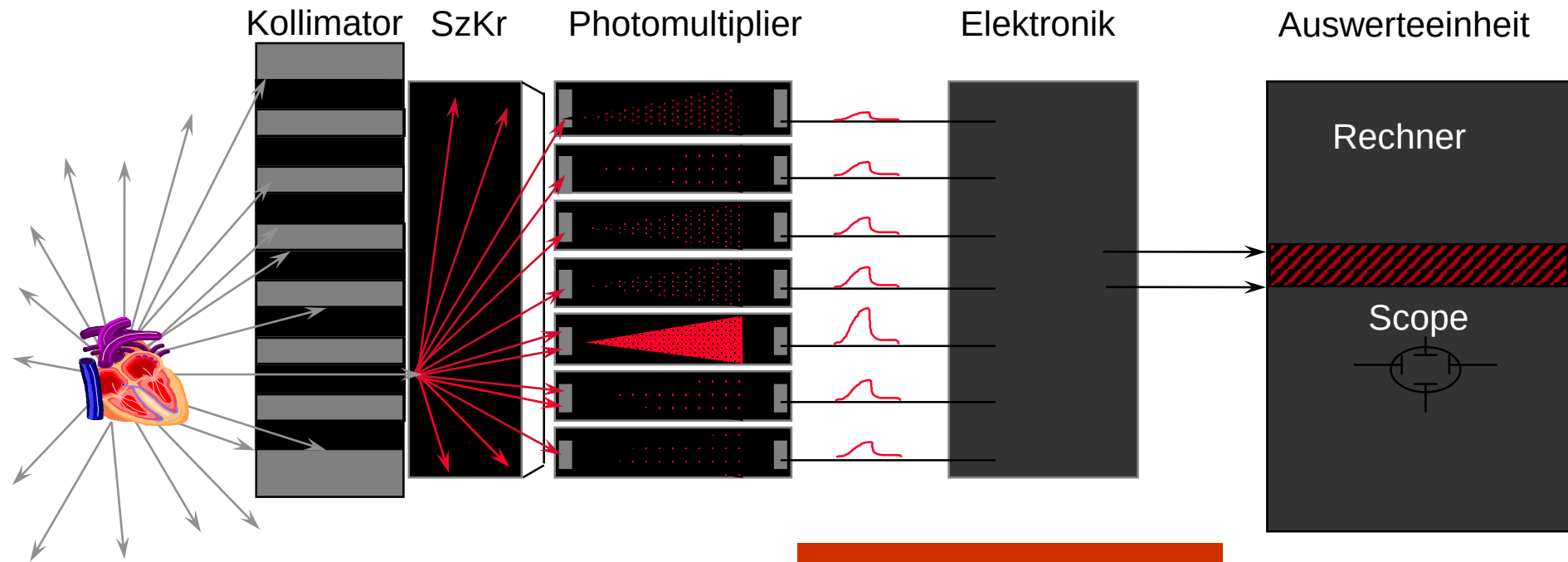
Sequenzszintigraphie

Funktionsszintigraphie

Szintigraphie: Flächenhafte 2D- Darstellung der räumlichen (3D)
Radioaktivitätsverteilung

Die dritte Dimension wird durch das Maß der
Radioaktivitäts-Belegung pro abgebildeten Messpunkt
wiedergegeben.

SPECT: Single-Photon-Computer-Tomographie
3D-Darstellung der räumlichen Radioaktivitätsverteilung



- Ist im Zeitalter von PET/CT und PET/MRT noch einen Platz für den Einsatz von SPECT/CT ?
 - ✓ Wirtschaftlichkeit
 - höhere Flexibilität
 - breiter Einsatz
 - kostengünstigere Infrastruktur
 - einfachere Logistik: Generator-Nuklide mit akzeptabler HWZ
 - ✓ verschiedene zugelassene Radiopharmaka
 - ✓ Qualitativ ?

- Quantifizierung:
 - wesentlicher Vorteil der molekularen Bildgebung mit PET

- Hybrid-Bildgebung mit CT:
 - wesentlicher Beitrag für die Akzeptanz von PET

- SPECT/CT:
 - diagnostischer Stellenwert durch höhere diagnostische Sicherheit (Anatomie) mehrfach belegt

 - Rolle der Quantifizierung für die SPECT/CT-Diagnostik?

- Vorgabe: SPECT/CT muss mit PET/CT konkurrieren können !
 - bessere räumliche Auflösung und anatomische Zuordnung (z.B. SLN, Iod-131 MIBG) auch im LD-CT-Bereich
 - Verkürzung der Untersuchungsdauer: Ganzkörper-SPECT/CT
 - Reduktion der Patientendosis (Injizierte Aktivität + CT-Dosis)
 - akkurate und absolute Quantifizierung (Therapieansprechen !)
 - dosimetrische Berechnung für therapeutische Anwendungen
 - Einsatz der diagnostischen CT mit KM ?

Discovery NM/CT 670 PRO

Eine neue SPECT/CT-Generation:



Neu entwickelte flache
Großfeld-Detektoren

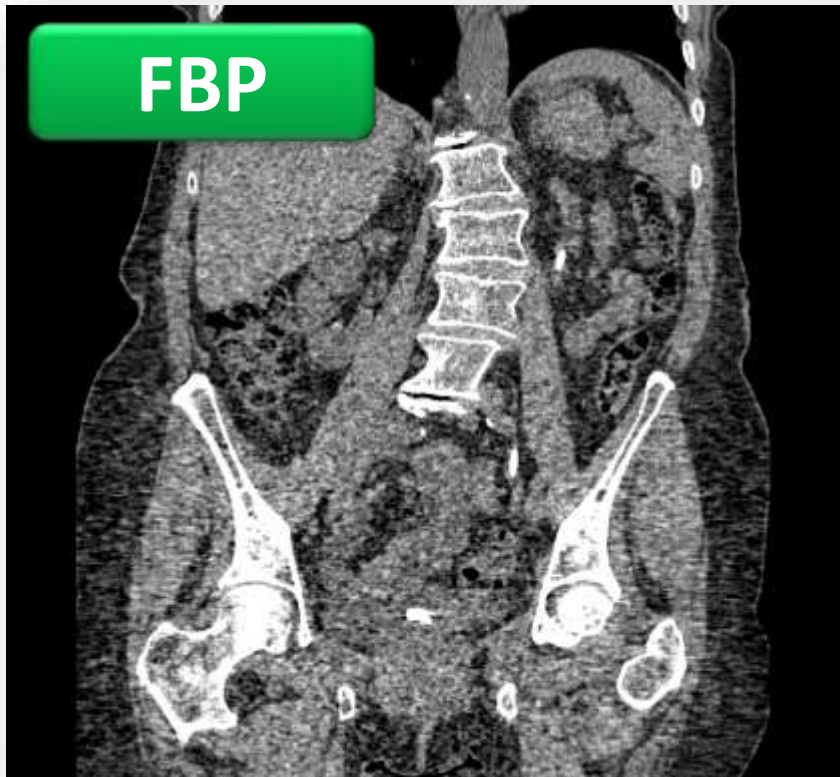
Ultraschnelle Gantry-Robotik und flexible
Detektorpositionierung:

5,1 mm räumliche SPECT-Auflösung

Bemerkenswerte Möglichkeiten zur
Reduktion der Strahlenbelastung und
Verringerung der Aufnahmezeit durch
EVOLUTION

Optima 540 16-Zeilen CT
Ca. 50 % weniger Strahlenbelastung bei
gleicher Bildqualität durch ASiR
50-Schicht-Äquivalent mit IQE 1.75
PitchBooster
0.5 s pro Umdrehung

ASiR™ = iterative CT-Rohdatenrekonstruktion

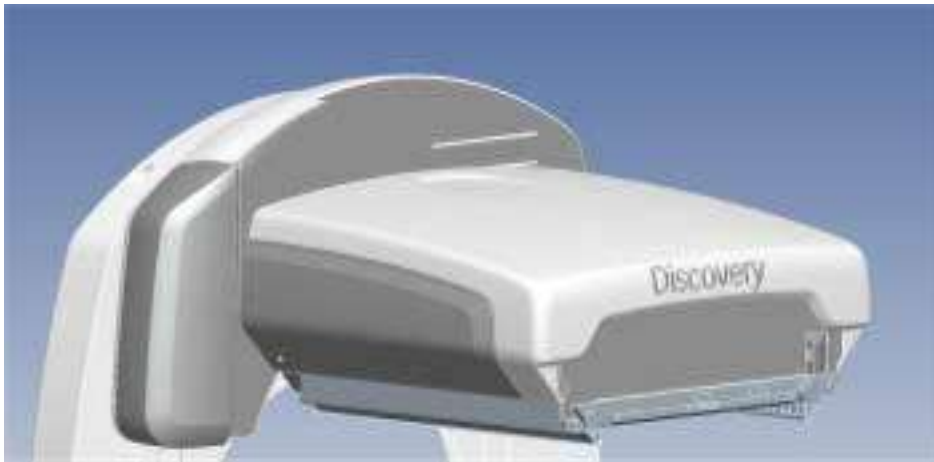


Durch ASiR:

- gleiche Bildqualität
 - gleiche Dosis
- = 50% weniger Dosis
= bessere Bildqualität

SMART Vision Detektoren

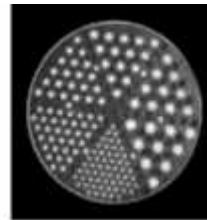
- SPECT optimierte Performance
- Verbesserte Bildqualität dank neuer Elektronik und innovativer Rekonstruktionsalgorithmen



Discovery 670 EliteNXT
Jaszczak Deluxe Phantom
6. Segment: 4,8 mm



SPECT



CT

SPECT-Auflösung (NEMA)

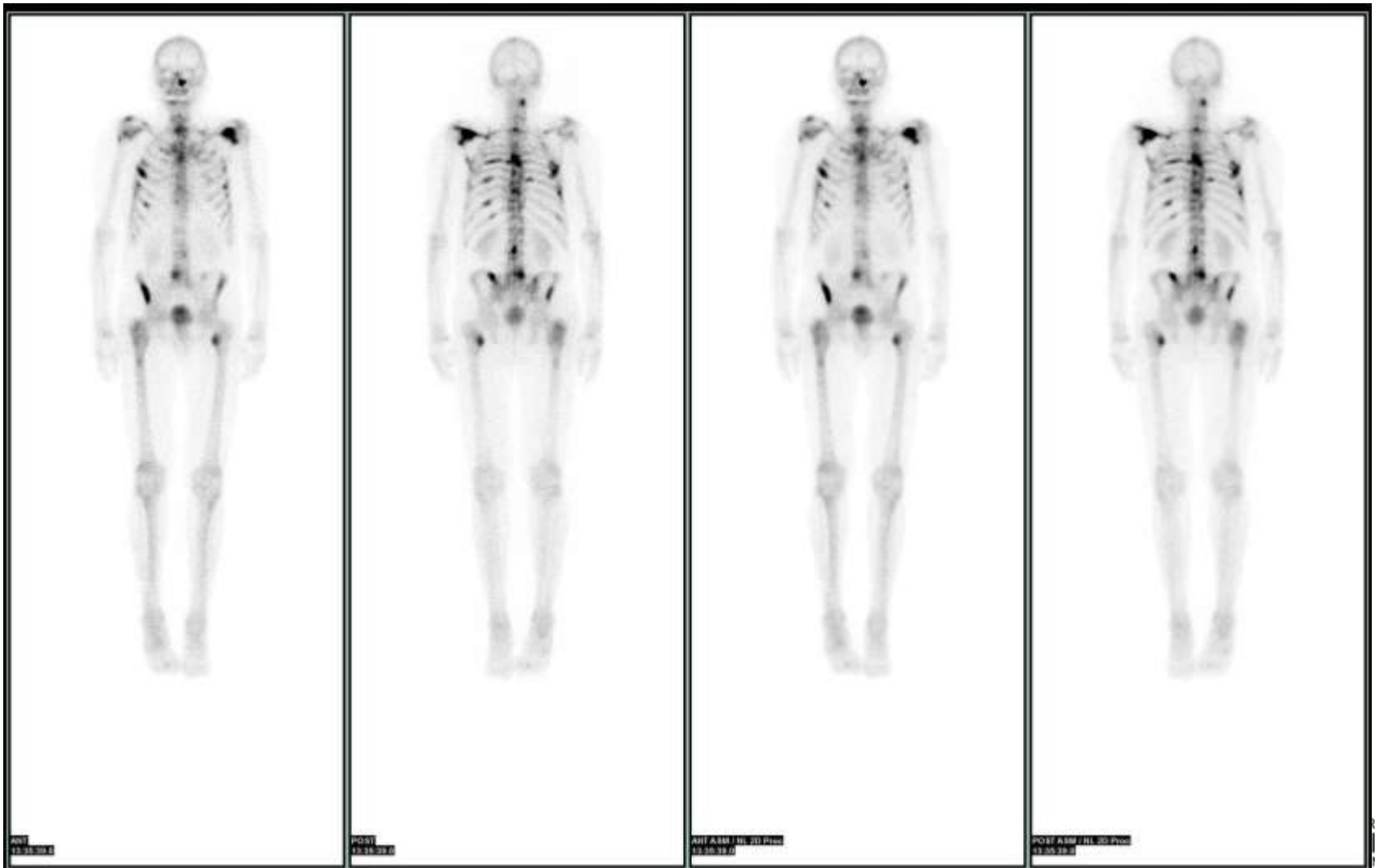
- zentral: 9,9 mm
- radial: 9,9 mm
- Tangential: 7,5 mm

SPECT Auflösung (mit Evolution)

- zentral: 6,4 mm
- radial: 5,7 mm
- tangential: 5,1 mm



- Planare Ganzkörper Aufnahme in 10 min: Vorschub 20 cm / min



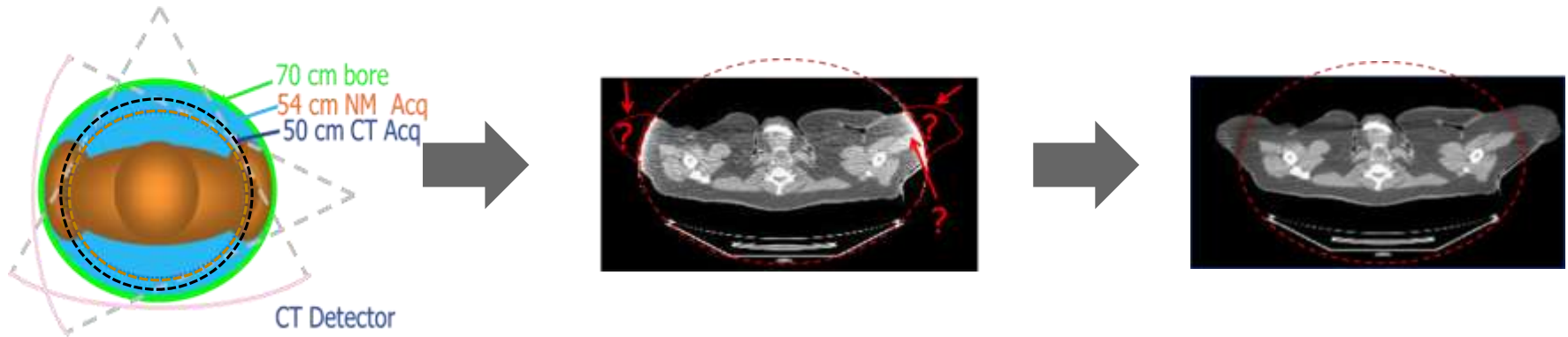


Schnelle Bildakquisition Volumetrix – Evolution for Bone

- schnelle 3D-Datensatz – Akquisition
 - 15 sec pro Step alle 6°: 1 Bettposition in 7,5 min
 - Körperstamm / Wirbelsäule in 15 min
 - Whole Body (inkl. Schädel) SPECT/CT in < 23,5 min

- **Paradigmen-Wechsel: SPECT/CT mit erhobenen Armen**
 - wide field of view bei adipösen Patienten

- Keine CT Clippingartefakte durch Vervollständigung abgeschnittener Projektionen
 - Schwächungskorrektur des gesamten SPECT FOV !
- Erweitert das CT DFOV auf bis zu 70cm Durchmesser



konventionelle 50 cm FOV
CT Rekonstruktion

- Dichte innerhalb des CT FOV ist an den abgeschnittenen Rändern gestört
- Objekte außerhalb des CT FOV werden abgeschnitten

Mit WideView

- Keine Randartefakte
- Objekte außerhalb des CT FOV werden erfasst



Schnelle Bildakquisition Volumetrix – Evolution for Bone

- schnelle 3D-Datensatz – Akquisition
 - 15 sec pro Step alle 6°: 1 Bettposition in 7,5 min
 - Körperstamm / Wirbelsäule in 15 min
 - Whole Body (inkl. Schädel) SPECT/CT in < 23,5 min
- **Paradigmen-Wechsel: SPECT/CT mit erhobenen Armen**
 - wide field of view bei adipösen Patienten
- Benötigen wir noch planare Aufnahmen ?

Q.Metrix Quantitativer SPECT SUV

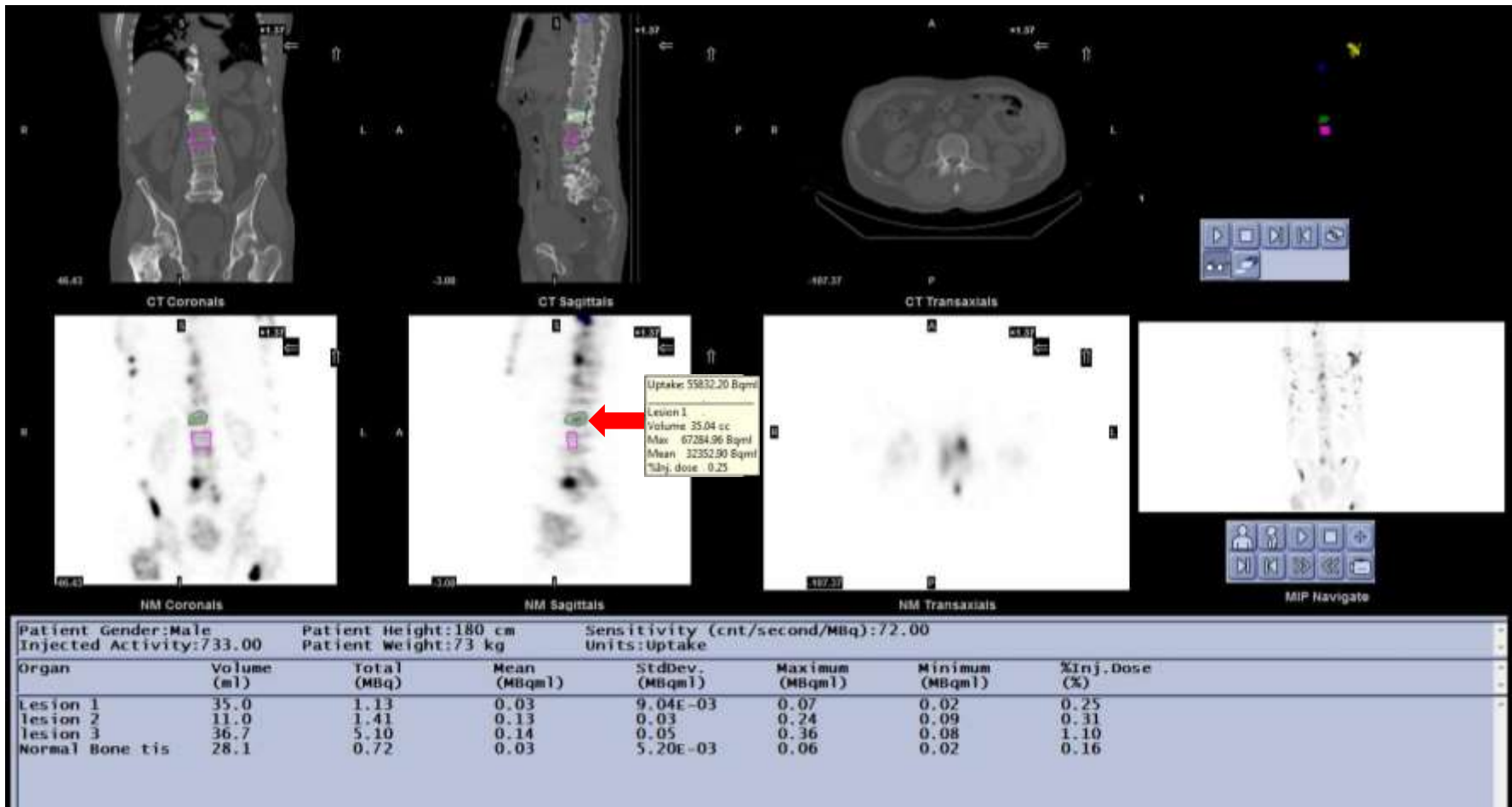
Ein weiterer Schritt in Richtung personalisierte Medizin

SPECT- und CT-Segmentierung:

- Quantifizierung :
- Uptake pro Pixel in Bq/ml
- % der injizierten Dosis
- totaler uptake in Läsionen in Bq/ml bzw. segmentierten Organen



Ähnliche Methodik wie bei der Berechnung des PET-SUV



Q.AC

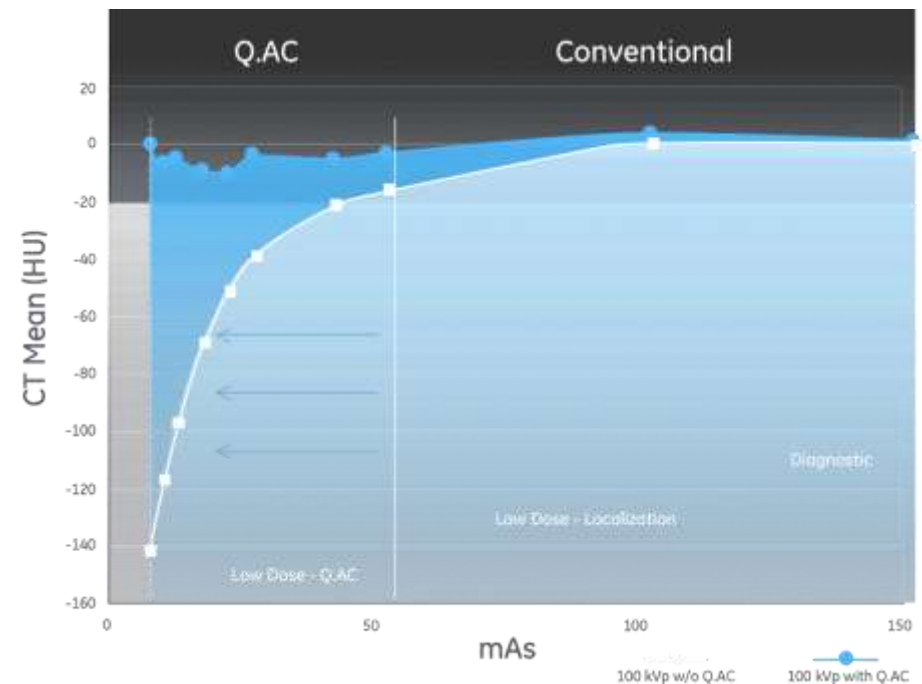
Ultra-Low-Dose CT für die Schwächungskorrektur der SPECT

Der Q.AC Algorithmus garantiert exakte HU bei
Low-Dose CT-Untersuchungen für eine korrekte
CTAC und **SPECT/CT Fusion**

16-slice CT Protokoll 100 cm Scanlänge	Rausch Index	Peak mA ^a	Effective Dosis ^b
konventionell - 140 kVP - 0.5s, 0.938 pitch	28.5	79	8.4 mSv
Q.AC Protokoll - 120 kVP - 0.5s, 1.675 pitch	140	10	0.4 mSv

Dose comparison for selected SPECT/CT protocols

- CT Peak mA is the maximum mA when scanning the thorax phantom and oval phantom used in this study
- CT Effective dose estimated from DLP using a chest-abdomen-pelvis factor 0.015 (Shrimpton)



Example of potential results with GE 64 slice CT and oval phantom

- Prinzip:
 - Osteotropes Radiopharmakon (^{99m}Tc -Phosphonate)
- Ausmaß der Anreicherung abhängig:
 - Regionale Durchblutung
 - Dicke des Knochens
 - Knochenumbau (osteoblastische Aktivität)
- Einsatz:
 - Staging
 - Entzündungsdiagnostik (Arthritis)
 - Prothesenlockerung

1 DPD GK 3H



2 DPD GK 3H



1 DPD GK 3H



Normalbefund

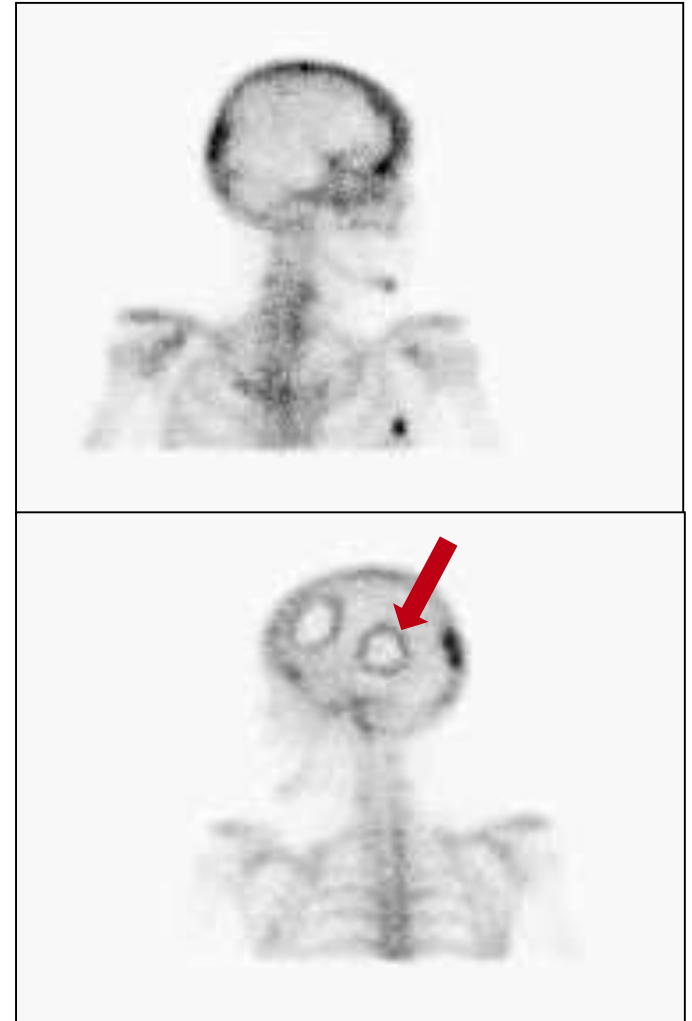
2 DPD GK 3H



**Diagnose:
Multiple Skelettmetastasen**

- Welche Tumore metastasieren ossär?
 - Mamma-Ca
 - Prostata-Ca
 - Bronchial-Ca
 - Nierenzell-Ca.
 - Schilddrüsen-Ca
 - Melanom
- Häufigkeit von Skelettmetastasen ist abhängig vom Tumorstadium!
- Welche Arten der ossären Metastasierung gibt es
 - Osteoplastisch
 - Osteolytisch

Skelettszintigraphie: Tc-99m-markierte Diphosphonate

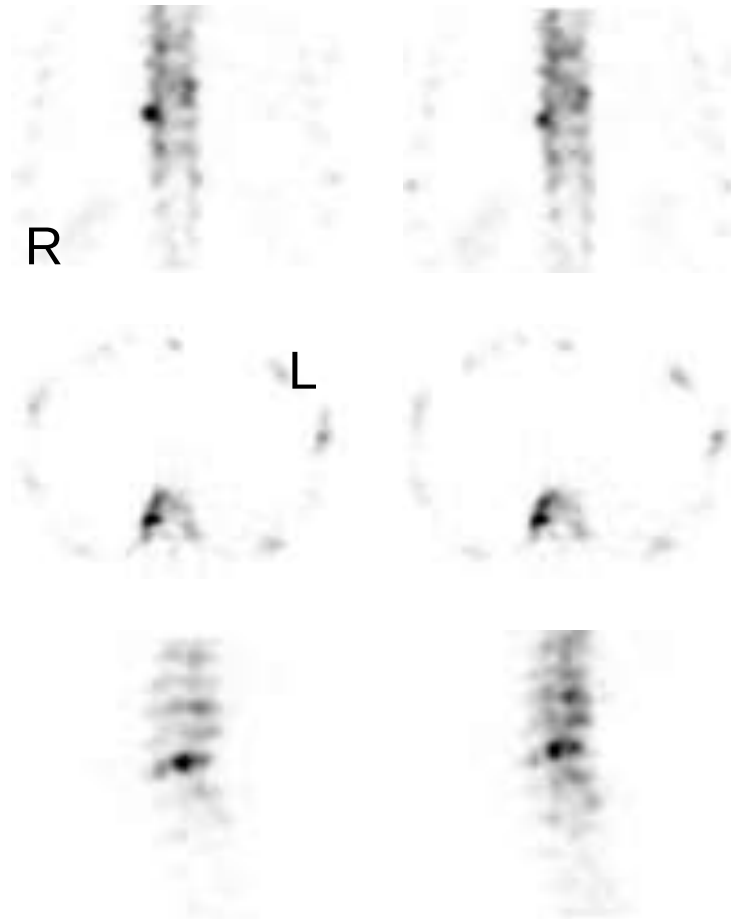


SPECT

3D-Darstellung eines Stoffwechsels



planar



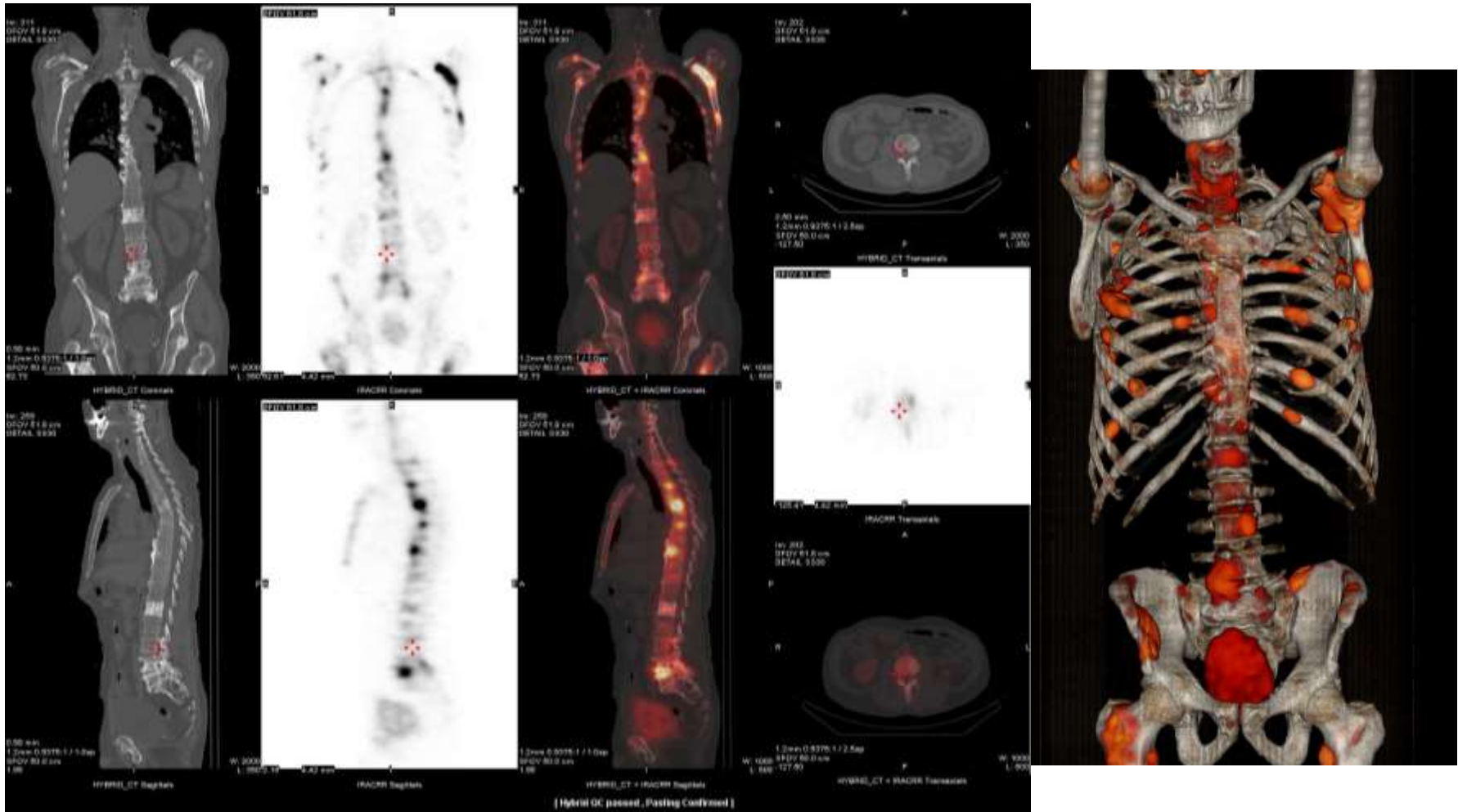
coronar

transversal

sagittal

do we need planar images



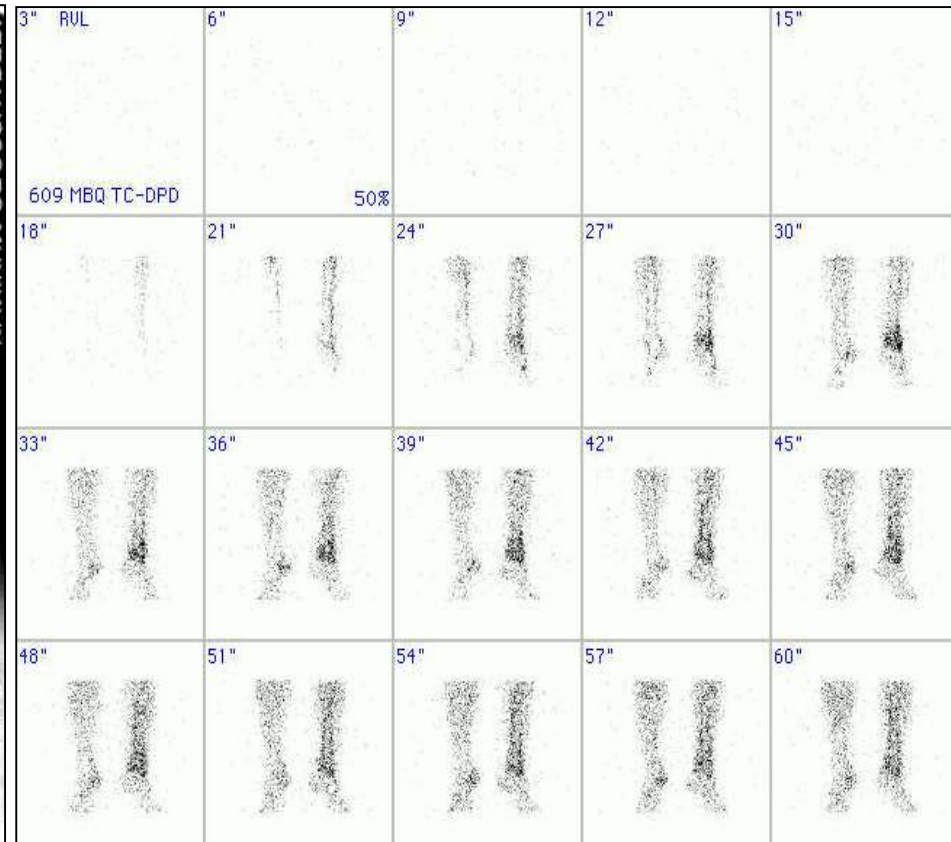




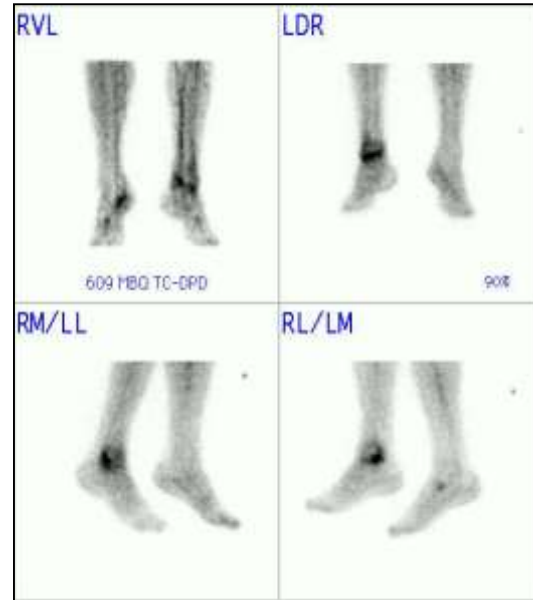
- ^{99m}Tc -Phosphonat:
 - sensitiver aber unspezifischer Tracer ossärer Pathologien:

- Onkologie
- Rheumatologie
- Infektologie
- Orthopädie/Traumatologie

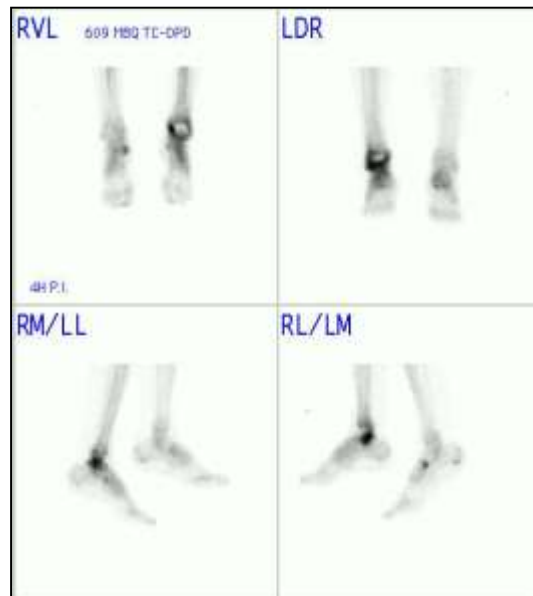
- V.a. Prothesenlockerung: OSG
- Abklärung mittels 3-Phasen Skelettszintigraphie **1. Phase: Arterielle Perfusion**



2. Phase Venöser Bloodpool



3. Phase Mineralisationsphase



DIAGNOSE

- ✓ Lockerung
- ✓ V.a. Infekt!

Knie-Gelenk

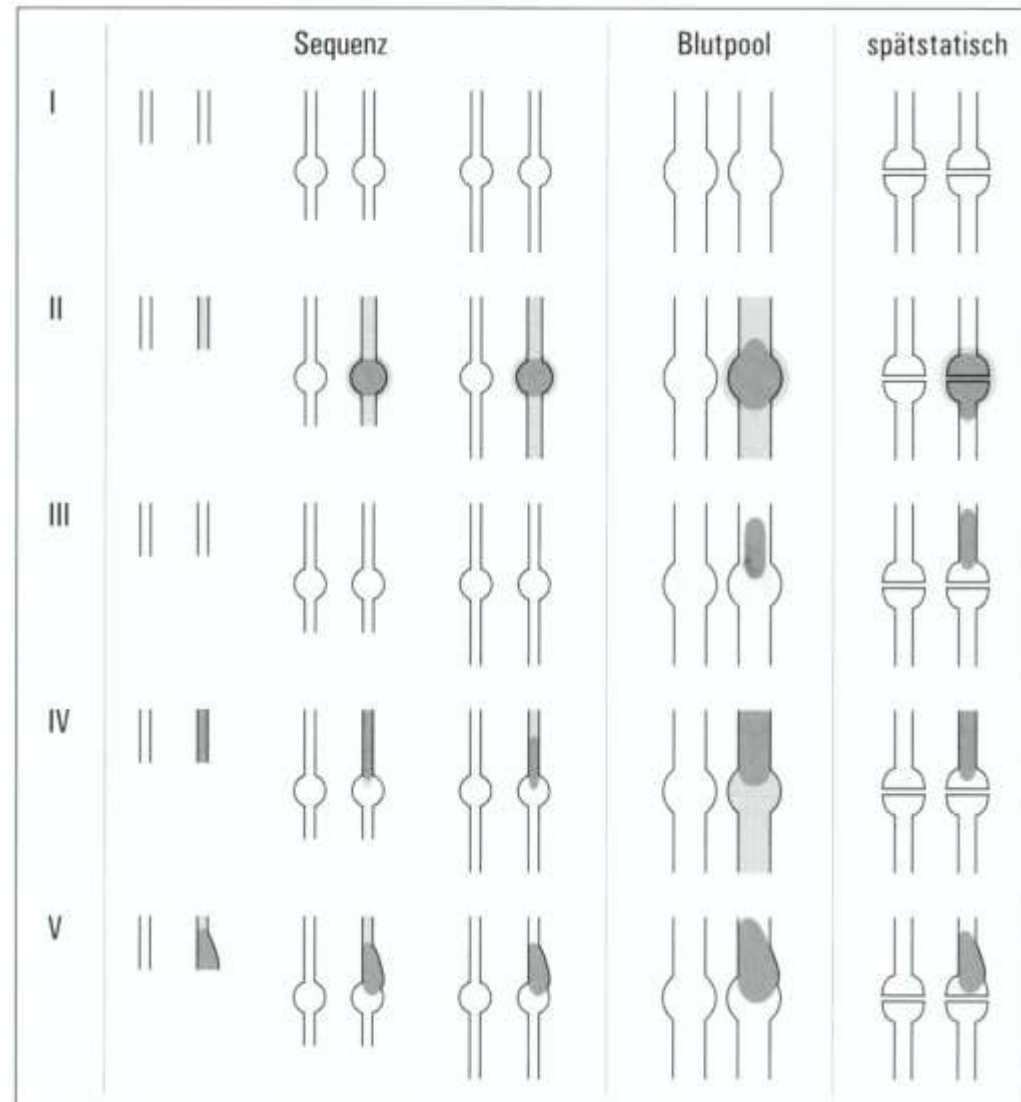
I Normalbefund

II Entzündung
(Gonarthrit)

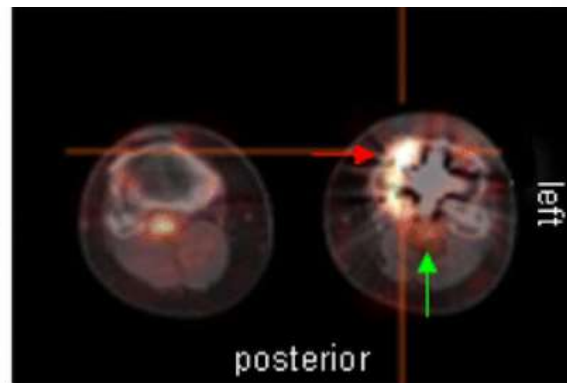
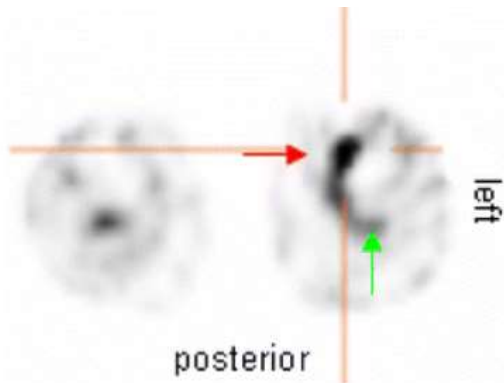
III Entzündung
(chron. Osteomyelits)

IV Entzündung
(fluide Osteomyelits)

V Tumor
(Osteosarkom)



- Radiopharmakon ^{99m}Tc -Antigranulozyten
- murine monoklonale AK:
 - Für non-specific-cross reaction Antigen (exprimiert auf Promyelozyten, Myelozyten und Granulozyten)
- Indikation:
 - Septische Prothesenlockerung
 - Fokussuche
- Sens 89%, Spez 73%



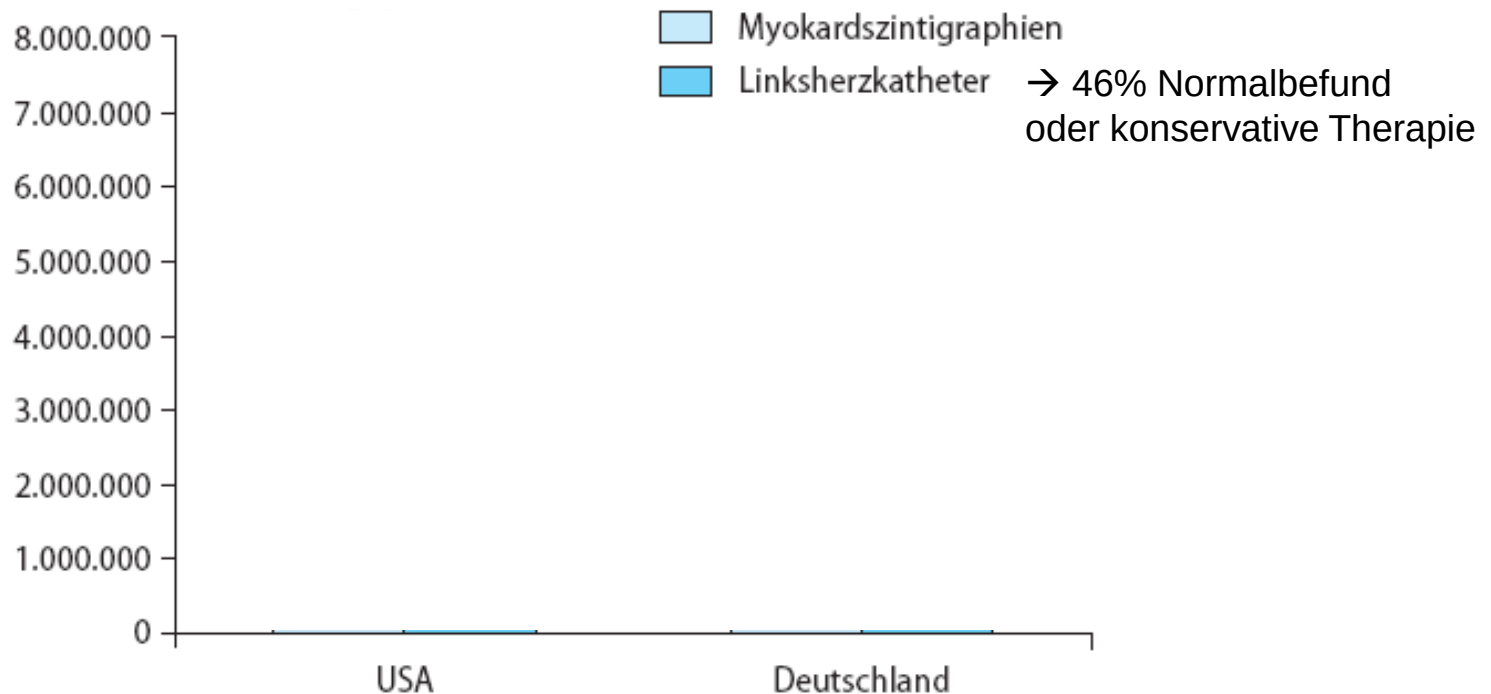
- Häufigste Indikation
 - Verdacht auf das Vorliegen einer koronaren Herzkrankheit (KHK) bei mittlerer klinischer Wahrscheinlichkeit.
 - Frage der hämodynamischen Relevanz von Stenosen bei bekannter KHK
 - Differenzierung zwischen Narben und reversiblen Ischämien des Herzmuskels vor und nach revaskularisierenden Interventionen (PTCA, Koronararterienbypass)

■ Bei welchen Patienten ?

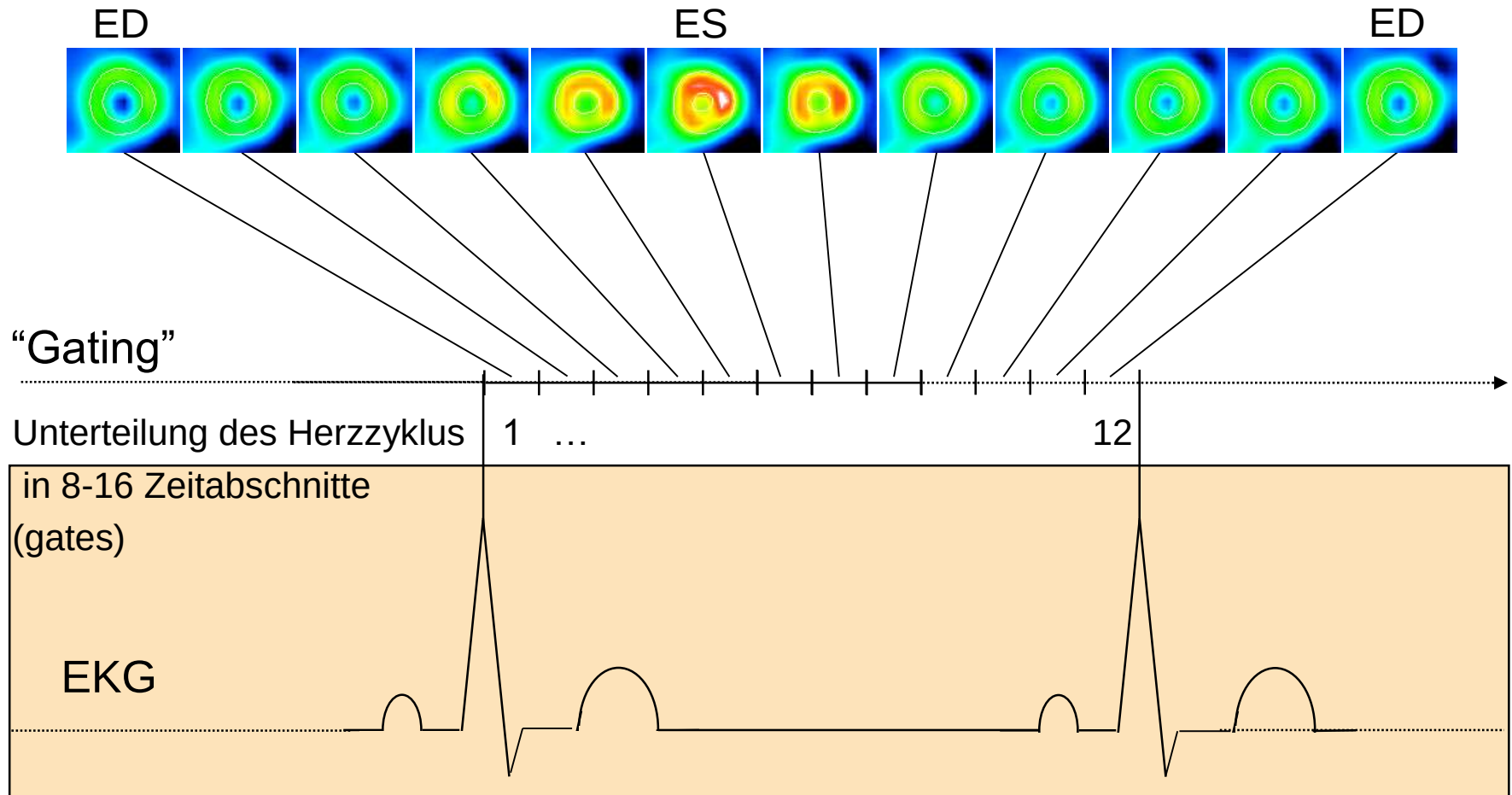
	Asymptomatic (screening)	Symptomatic			Prognostic value of positive result ^a	Prognostic value of negative result ^a	References
		Pretest likelihood ^b of obstructive disease					
		Low	Intermediate	High			
Anatomical test							
Invasive angiography	III A	III A	IIb A	I A	I A	I A	12
MDCT angiography	III B ^c	IIb B	IIa B	III B	IIb B	IIa B	17–20
MRI angiography	III B	III B	III B	III B	III C	III C	22
Functional test							
Stress echo	III A	III A	I A	III A ^d	I A	I A	12
Nuclear Imaging	III A	III A	I A	III A ^d	I A	I A	12
Stress MRI	III B	III C	IIa B	III B ^d	IIa B	IIa B	12, 23–25
PET perfusion	III B	III C	IIa B	III B ^d	IIa B	IIa B	26

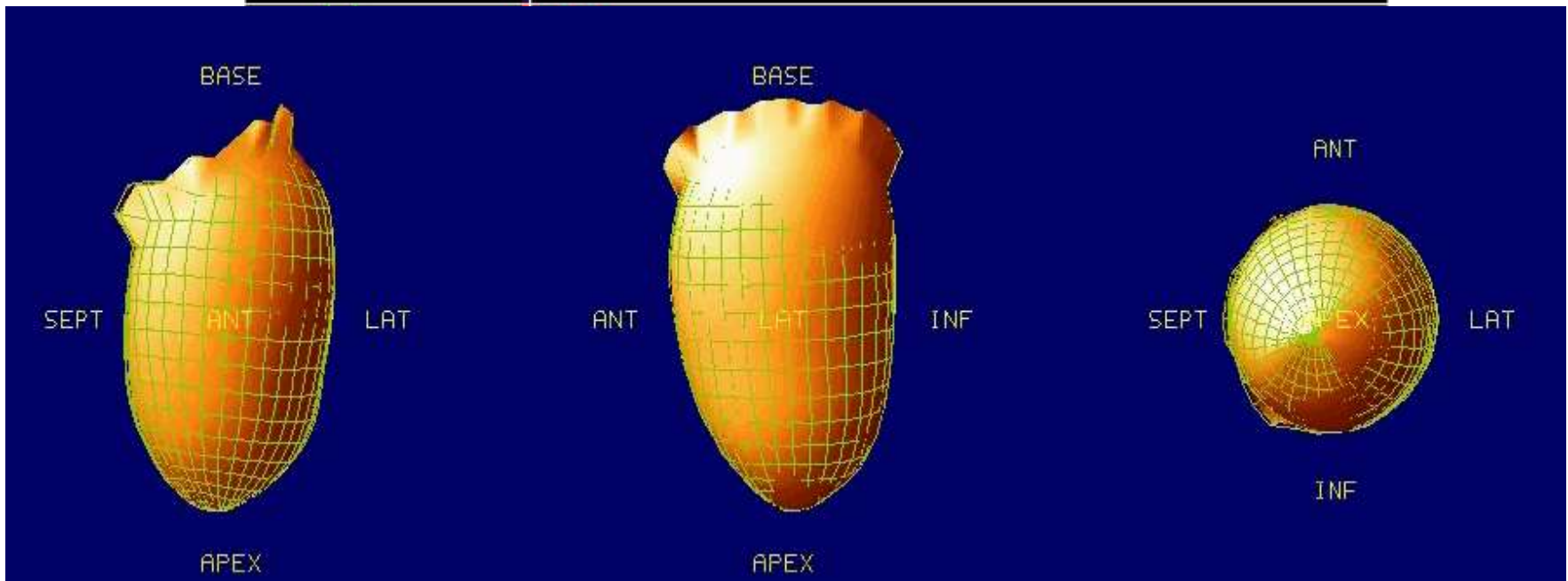
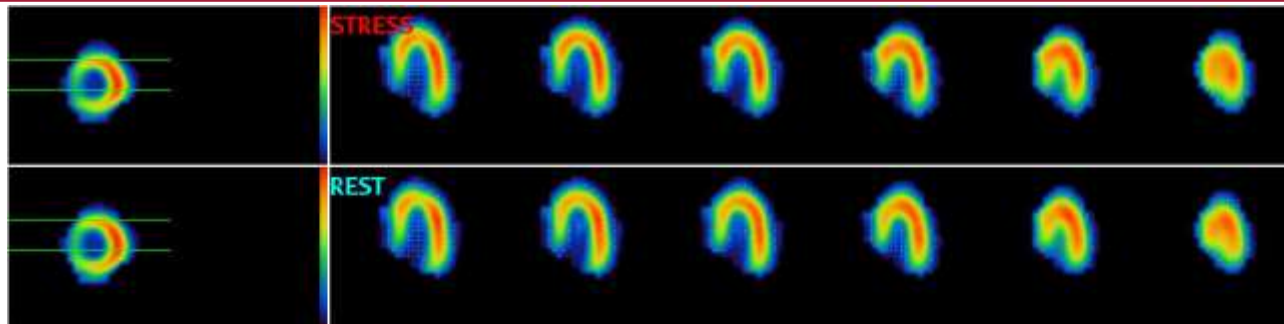
^aFor the prognostic assessment of known coronary stenosis, functional imaging is similarly indicated.

■ Untersuchungszahlen



- Ablauf:
 - Belastung (ergo bzw. med.) – Tracer-Injektion (Tc-99m-MIBI) während der Belastung – SPECT-Aufnahme 30 min p.i.
 - Ruhe – Tracer-Injektion – SPECT-Aufnahme 30 min p.i.
- Auswertung: Vergleich Belastung vs. Ruhe
- Information:
 - Perfusion (global / enddiastolisch / endsystolisch)
 - Wandbewegung / Wanddickenveränderung
 - Volumina, LV-Funktion
 - Diastolische Funktion
 - Phasenanalyse / Synchronie

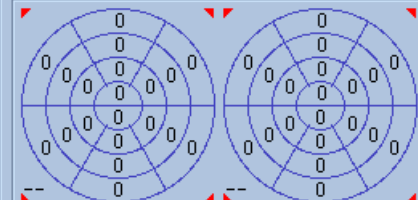




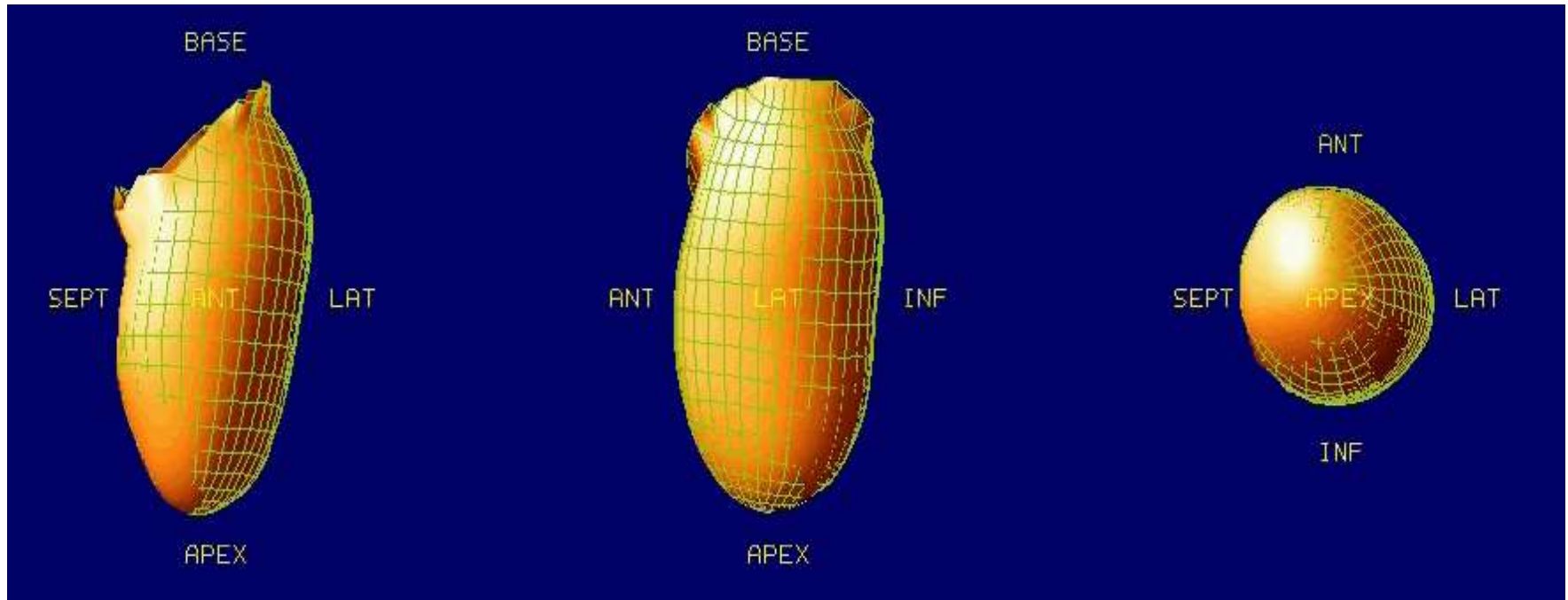
Name
Pat ID NU 001139 06
Sex FEMALE
SMS 0 STS 0

Study NU0011390620060421
Dataset Short Ax
Date 2006:04:21 11:36:28
Matrix 64x64
Slices 25
Intervals 12
Mm/Vox 7.09

Volume 40ml [6]
EDV 104ml [12]
ESV 40ml [6]
EF 62%
Area 99cm² [6]
Mot Ext 0%, 0cm² [6]
Thk Ext 0%, 0cm² [6]



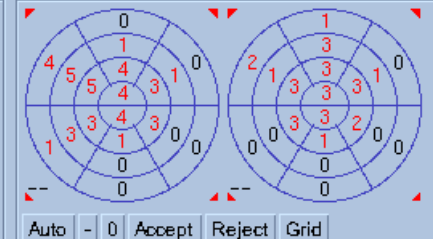
Auto - 0 Accept Reject Grid



Name
Pat ID 0021071926
Sex MALE
SMS 42 **STS** 29

Study GH0404527
Dataset NM Short Ax
Date 2004:06:16 09:56:14
Matrix 64x64
Slices 21
Intervals 12
Mm/Vox 7.09

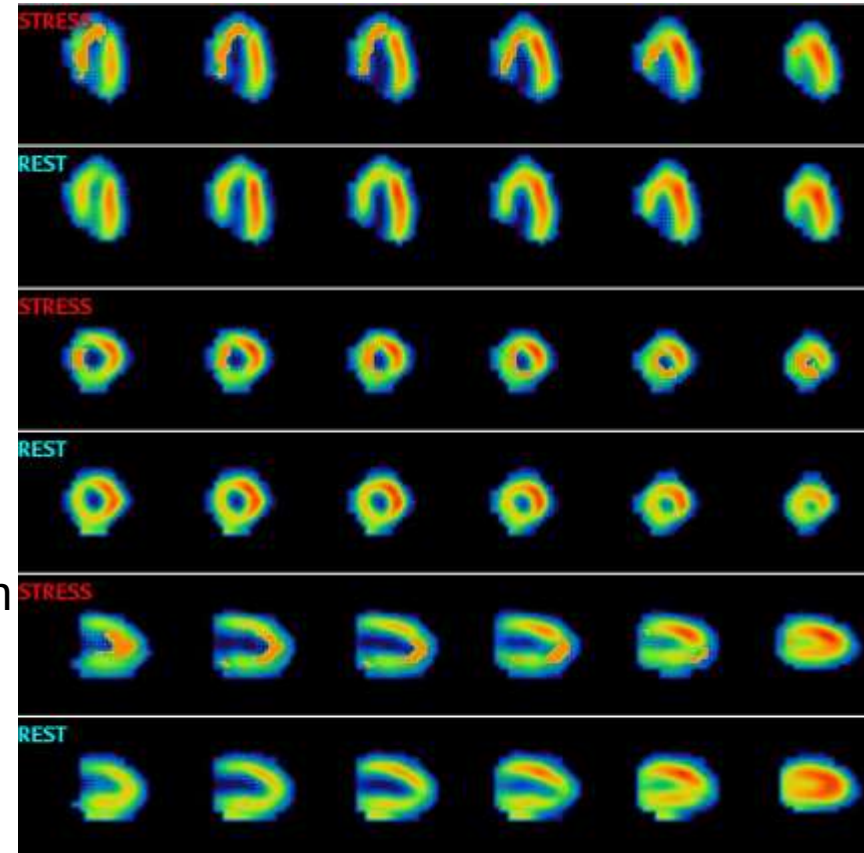
Volume 145ml [4]
EDV 207ml [12]
ESV 140ml [5]
EF 33%
Area 184cm² [4]
Mot Ext 50%, 92cm² [4]
Thk Ext 43%, 79cm² [4]

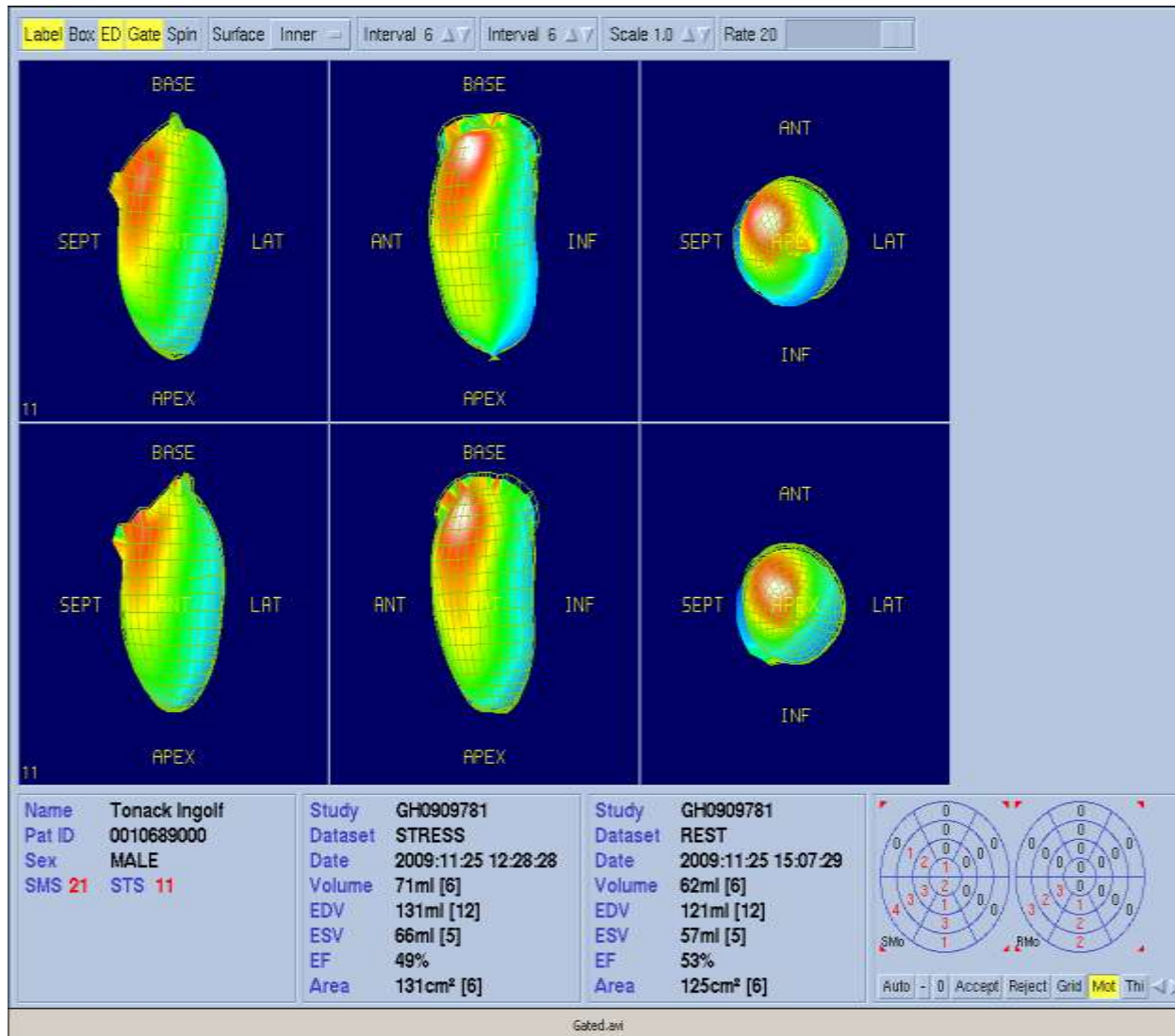


- 70-jähriger Patient
- ACI-Stenose
- bekannte KHK
- präoperative Abklärung
- problemlose medikamentöse Belastung
keine Beschwerden, keine ERBS

Perfusion

- Ausgeprägter reversible Minderperfusion
apikal / anteroseptal bis posterior
($>20\%$ LV-Myokard),
- RCA- und LAD-Perfusionsgebiet





Gated-SPECT

- Reduzierte LVEF und Abfall der EF von 53% unter Belastung auf 49% in Ruhe

Befund

- Ausgeprägte belastungsinduzierte Ischämie, insgesamt erhöhtes perioperatives Risiko

- Darstellung der zeitlichen Veränderung einer Radiopharmakonverteilung durch eine Folge von szintigraphische Bildern
 - z.B. sequenzszintigraphische Darstellung von Perfusion oder des ^{99m}Tc -MAG-3-transports durch die Nieren = Nierenszintigraphie

...welche Funktionen
wollen wir beurteilen ?

- Perfusion
intrarenaler Transport
- Abflusssdynamik
- globale Clearance
seitengetrennte Funktion

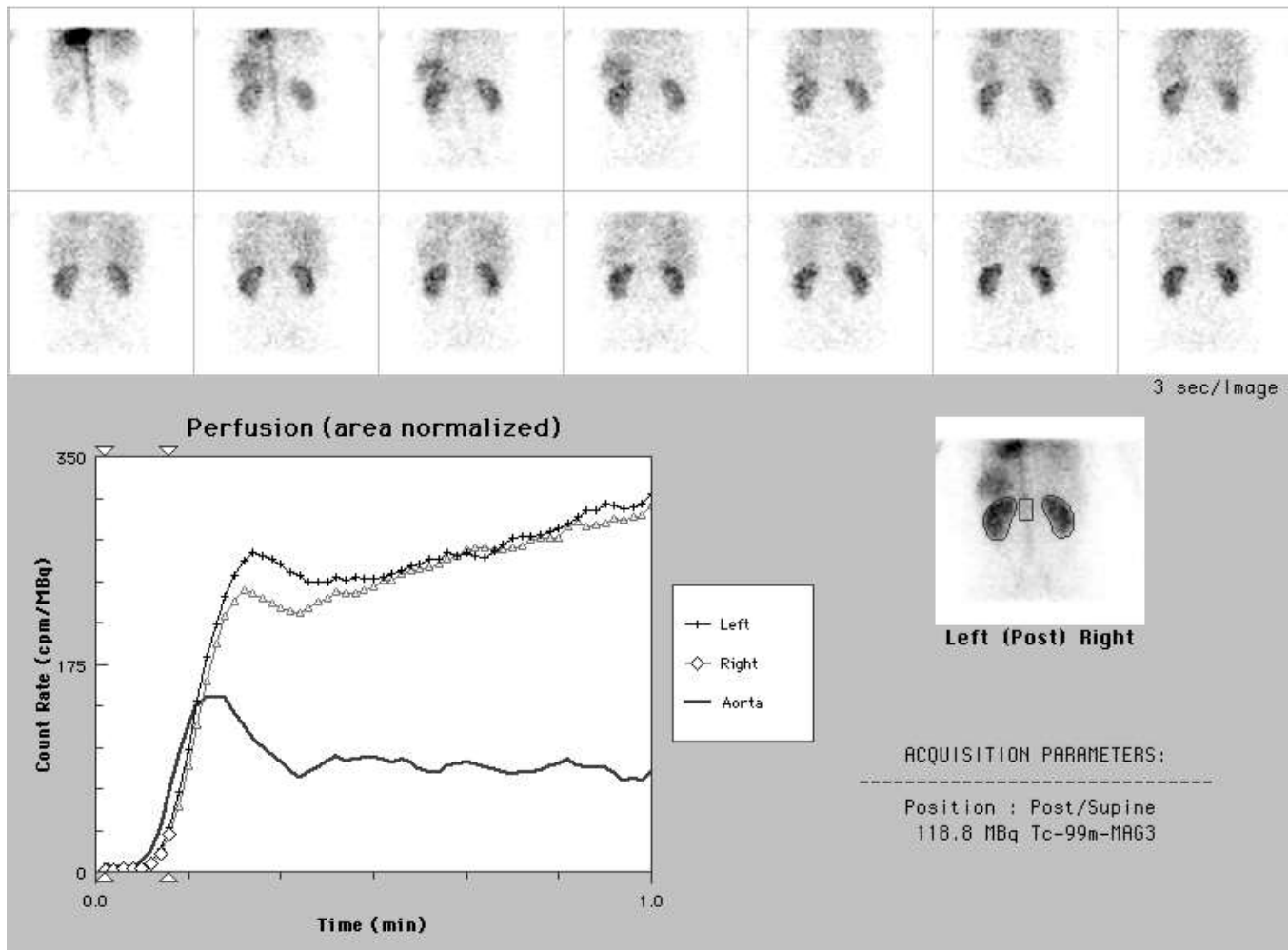
...welche Information
stehen zur Verfügung ?

sequentielle Bilder

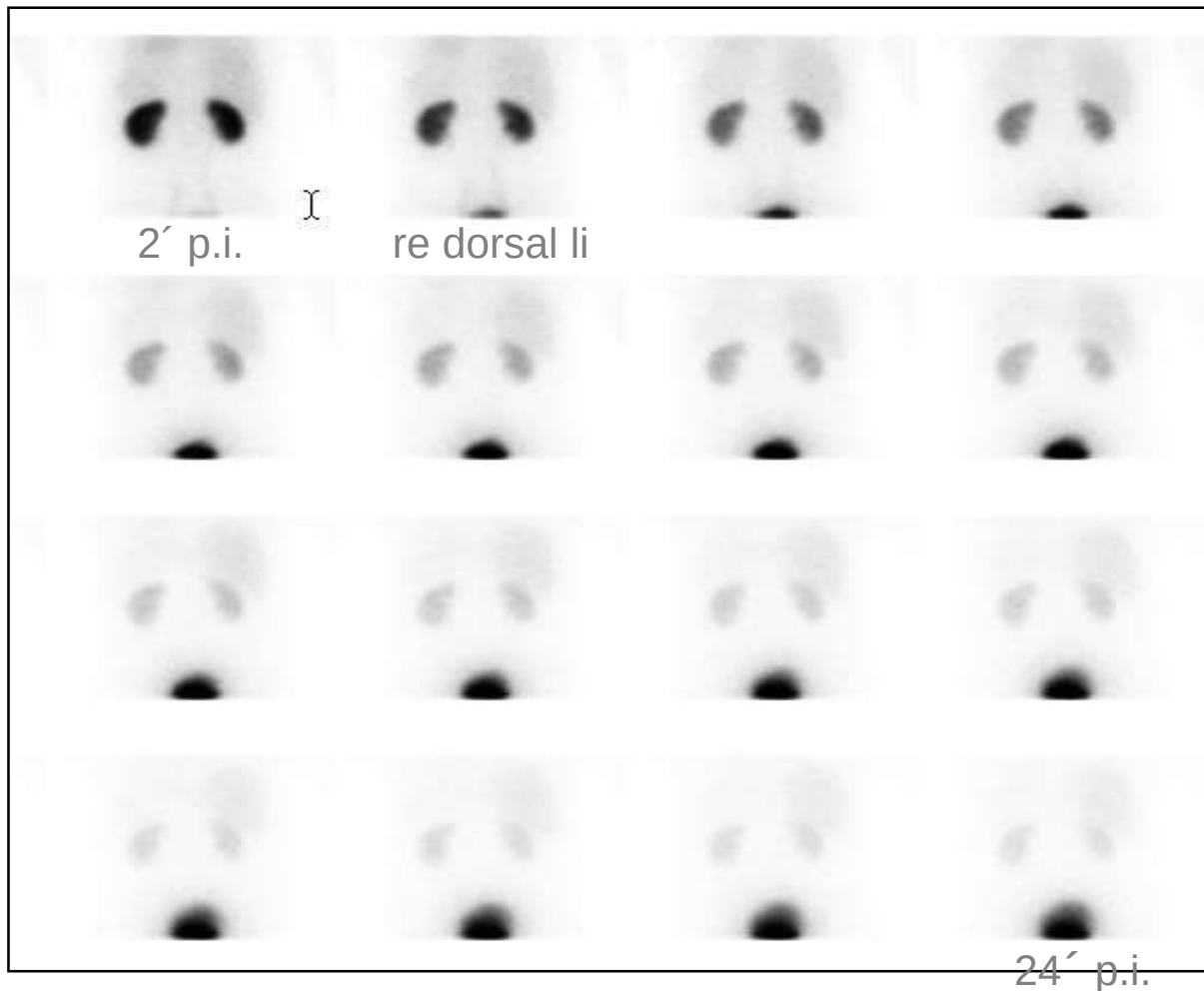
Zeitaktivitätskurven über
Nieren und Referenz-Region

Blutproben

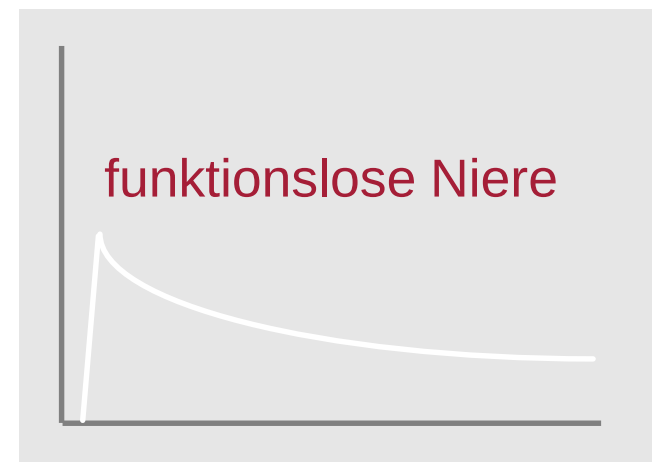
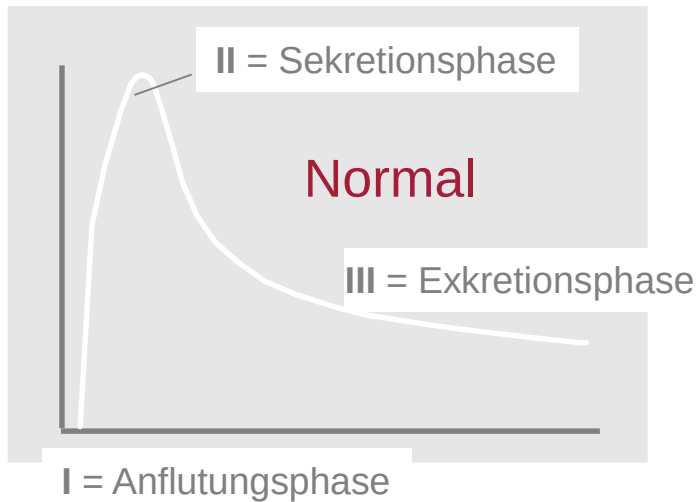
Normalbefund (Tc-99m-MAG3, Perfusionsphase)



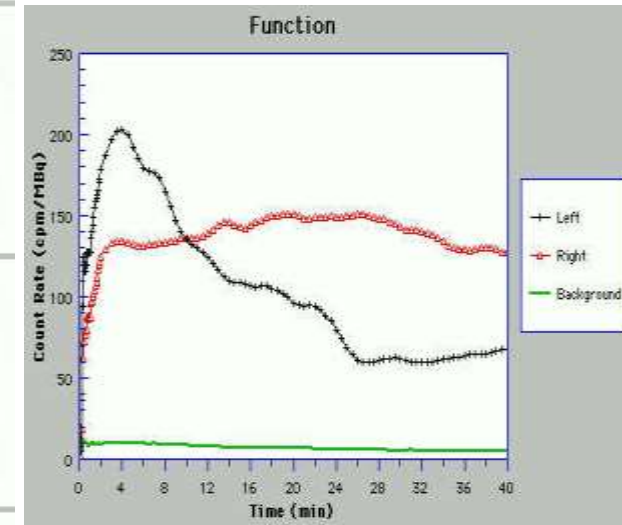
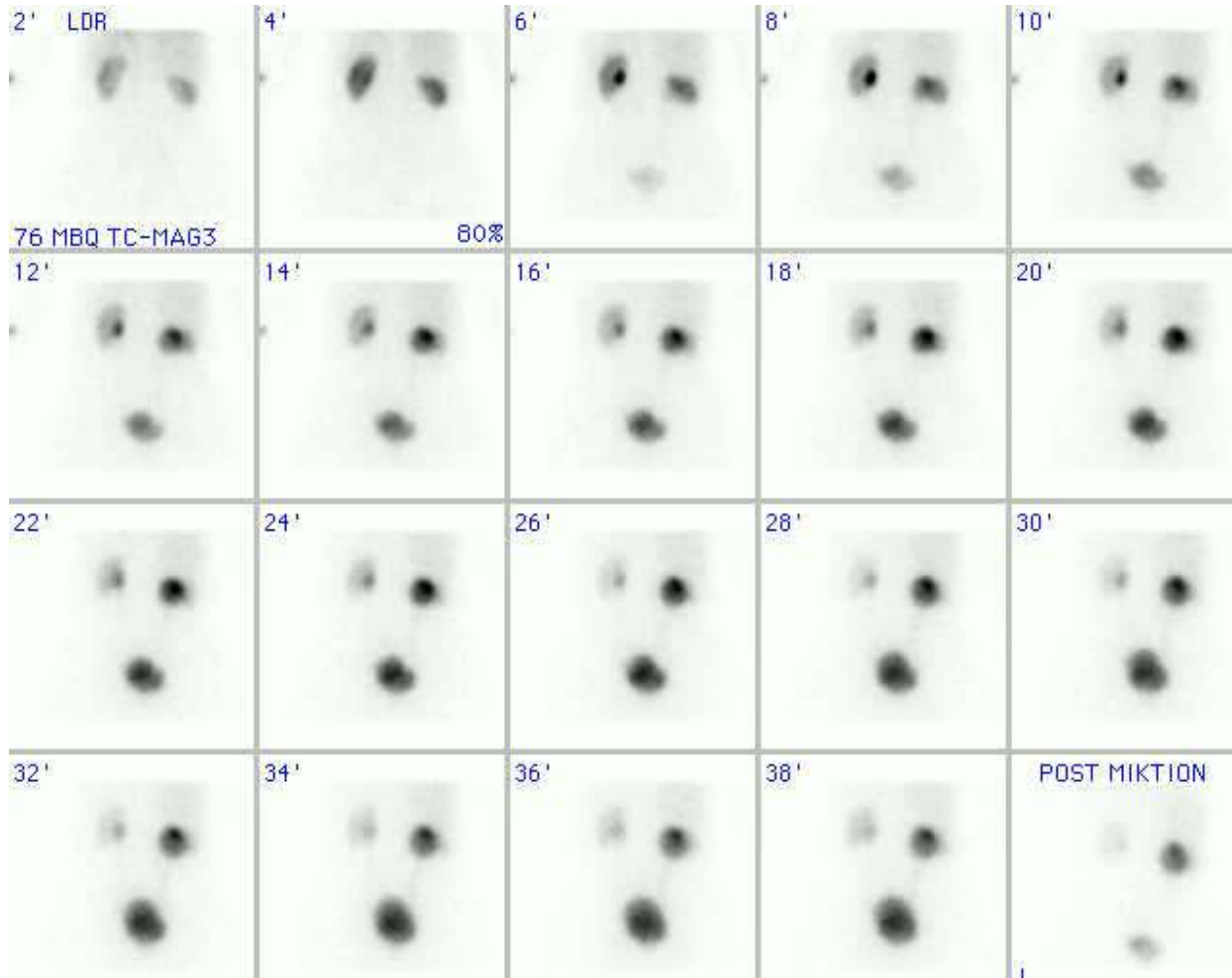
Normalbefund (Tc-99m-MAG3, Parenchymphase)



Auswertung: Zeit-Aktivitätskurve über interessierende Teile des Organs

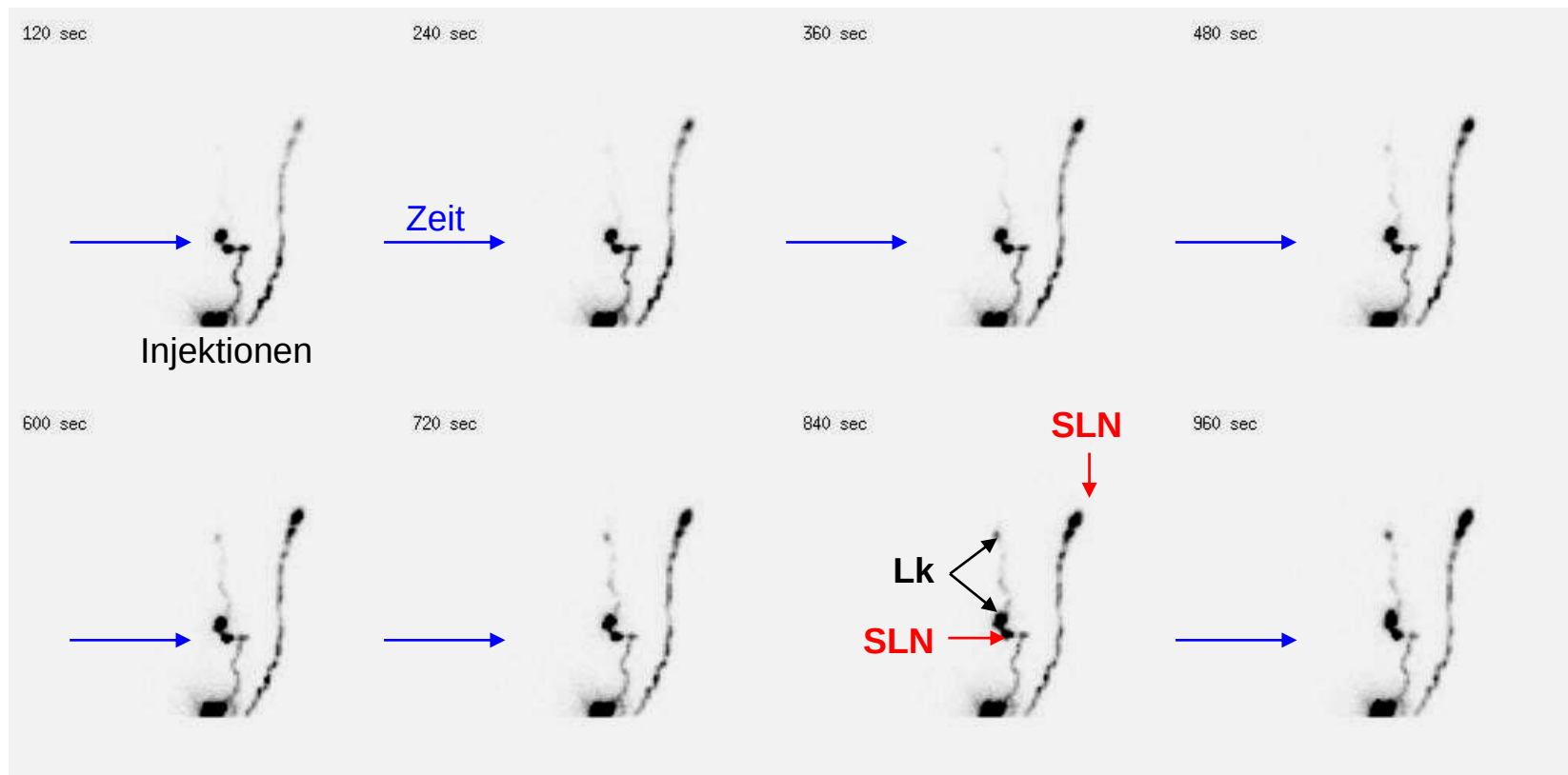


postrenale Abflusss-Störung rechts, obstruktiv

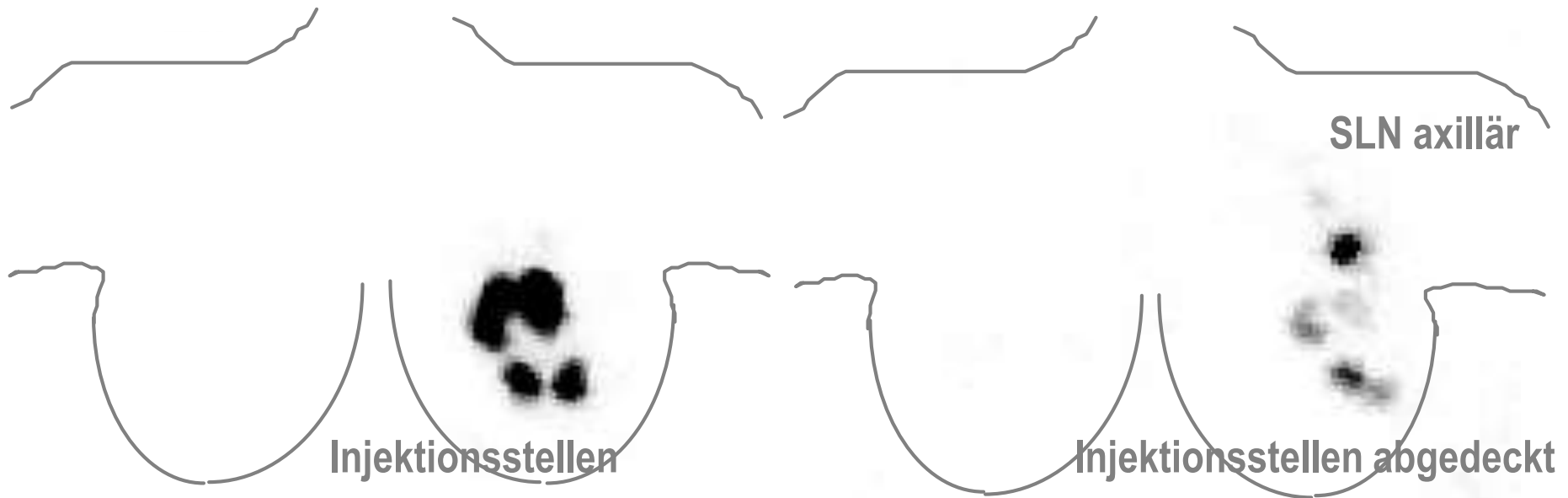


- Sentinel-node (SLN) Konzept: Wächter-Lymphknoten
 - Erster Lymphknoten über den ein Primärtumor drainiert wird
- Radiopharmakon: ^{99m}Tc -Kolloide (20-100 nm); Dosis 0,5 – 1 mSv
- Injektion: Peritumoral – Abtransport über Lymphbahnen
 - Nachweis des Abflusses
 - Lokalisation des SLN
- Warum?
 - Histologisch Nachweis von lymphogener Metastasierung:
höhere Wahrscheinlichkeit auf weitere Metastasen in der Umgebung
 - Tumorfreier SLN: geringe Wahrscheinlichkeit, dass weitere Lymphknotenmetastasen vorliegen
 - Senkung der Komorbidität

- Sentinel-node Konzept: Wächter-Lymphknoten
 - Malignes Melanom



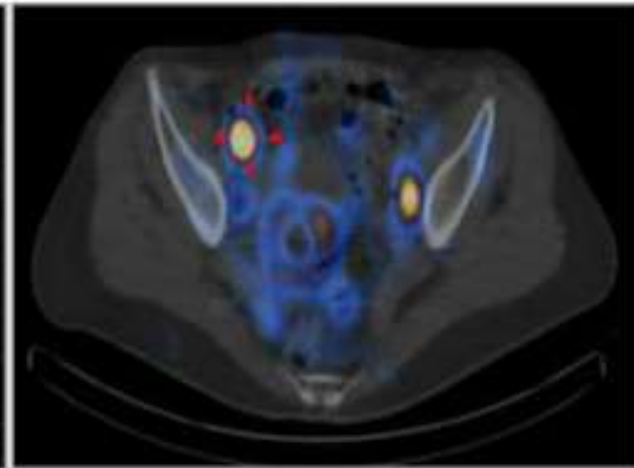
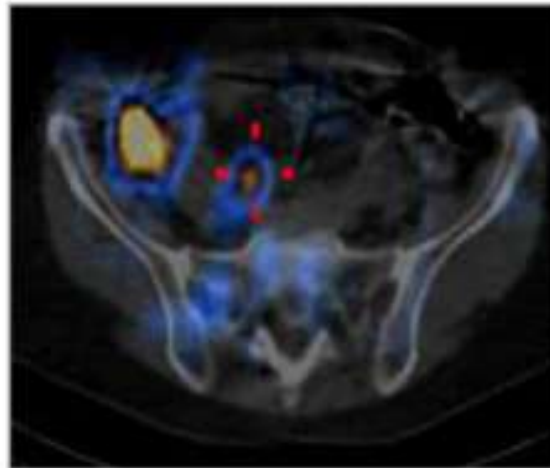
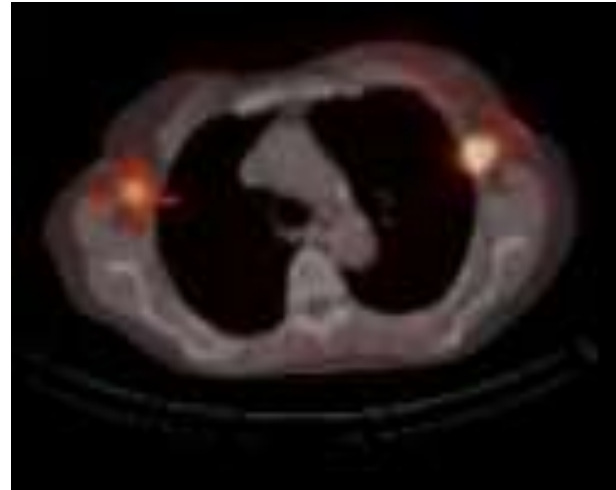
- Sentinel-node Konzept: Wächter-Lymphknoten
 - Mamma-Ca: T1 und T2-Tumore



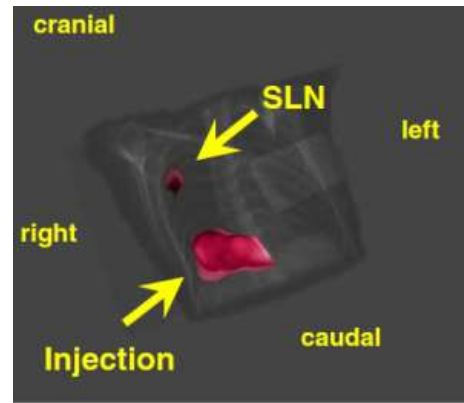
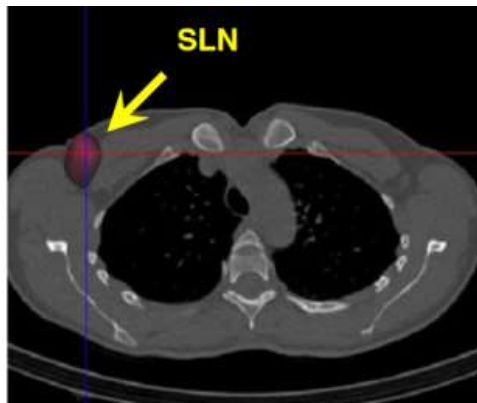


- Haupt-Einsatzformen:
 - Mamma-Ca
 - Melanom

- Weitere Einsatzformen:
 - Cervix-Ca
 - Prostata- & Penis-Ca
 - HNO-Tumore



Kollimierte Gamma- Meßsonde zur intraoperativen Detektion des SLN





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Prof. Dr. Christian la Fougère
Abteilung für Nuklearmedizin & Klinische Molekulare Bildgebung
christian.lafougere@med.uni-tuebingen.de