Computertomographie und Nuklearmedizin
–
PET/CT und SPECT/CT

Dr. Michael Mix
Klinik für Nuklearmedizin
Universitätsklinikum Freiburg
michael.mix@uniklinik-freiburg.de

M.Mix

Kombinationsbildgebung – Warum?

CT + PET und SPECT

Morphologie

Wo ist der zweite, **<u>tollwütige</u>** Hund?

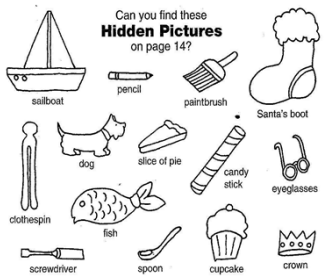
Funktion/Eigenschaft

@ W. Weber

M.Mix

Kombinationsbildgebung – Warum?

PET/CT und SPECT/CT



- höhere Sensitivität
- höhere Spezifität
- eine Untersuchung

@ W. Weber

M.Mix

PET/CT und SPECT/CT

Einführung in die PET und SPECT Bildgebung

- Grundlage Tracerprinzip
- Mess- / Gerätetechnik
- Trends in der Bildrekonstruktion

CT Verwendung für die Schwächungskorrektur

- Pitfalls, Strahlenexposition

CT für eine optimale Kombinationsdiagnostik

Radioaktive Stoffe in der Diagnostik

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

- Beim radioaktiven Zerfall entsteht u.a. Gammastrahlung, die extrem empfindlich nachgewiesen werden kann.
- Jedes zerfallende Atom führt potenziell zu einem messbaren Signal!
- Die Expression und Funktion von Proteinen und Zellen können im Patienten untersucht werden = „Molekulare Bildgebung“

Radionuklide der Diagnostik

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

Radionuklid	Strahlenart	Energie [keV]	HWZ*
Beispiele SPECT:			
^{99m}Tc	γ	140	6 h
^{111}In	γ	172, 3	2,8 d
Beispiele PET:			
^{18}F	$\beta+/\gamma\gamma$	511	109,8 min
^{11}C	$\beta+/\gamma\gamma$	511	20,4 min
^{68}Ga	$\beta+/\gamma\gamma$	511	68,8 min

*physikalische Halbwertszeit

M.Mix

Tracerprinzip der Bildgebung

- Verwendung einer radioaktiven Tracer-substanz als Indikator für biochemische Prozesse
- Kein biochemischer Unterschied zwischen radioaktivem und nicht radioaktivem Isotop eines Elementes
- Abstimmung auf den zu untersuchenden Stoffwechselprozess

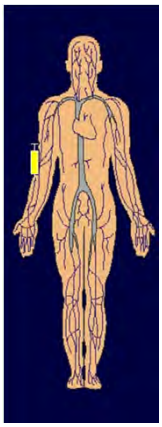
Gängige SPECT u. PET Tracer

Nuklid	Träger	Zielobjekt
^{99m}Tc	Phosphonate	Knochen
^{99m}Tc	MIBI	Myokard
^{99m}Tc	Mikrosphären	Lunge
^{18}F	FDG	Tumore etc...
^{18}F	Cholin, FLT…	Tumore
^{11}C	Aminosäuren	Tumore
^{68}Ga	Peptide	Tumor

➢ Nicht jeder Träger lässt sich mit jedem Radionuklid markieren!

Biokinetik der Tracer (Beispiel FDG)

Injektion von 8 nmol FDG
(~ 10^{-5}% der Glukose-menge im Blut)



~1 h
Uptake-Zeit

Gehirn

Nieren

Blase

Ausscheidungskinetik: biolog. HWZ

M.Mix

Sensitivität bildgebender Verfahren

Etwa notwendige kontrastgebende Substanzkonzentrationen (mol/l) für:

Sono	10^{-3}
CT	10^{-3}
NUK	**10^{-12}**
MRI + MRS	10^{-5}

- Keine med. Nebenwirkungen aufgrund des „Kontrastmittels“ in der Nuklearmedizin
- Strahlenexposition durch Tracerinjektion vorgegeben

Strahlenexposition

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

Tracer	Aktivität [MBq]	eff. Dosis [mSv]
^{99m}Tc-DPD…	700	4,0
^{99m}Tc-MIBI	1000	8,2
^{99m}Tc-MAA	200	2,0
^{18}F-FDG	350	6,6

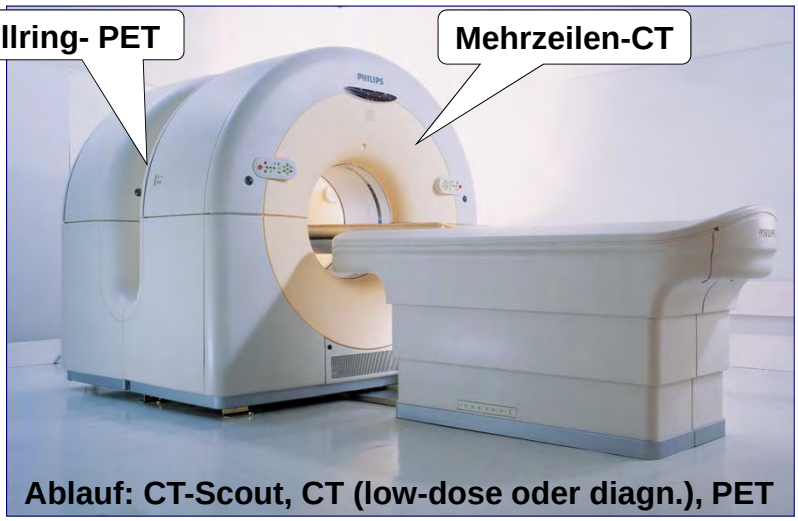
→ **Signifikante Reduktion durch Diurese möglich!**
(Verkürzung der biologischen Halbwertszeit)

DRWs (Aktualisierung von 2012)

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

Organ	Scan/Test	Radiopharmakon	DRW (MBq)	Höchstwert (MBq)
Skelett	Knochenszintigraphie -benigne Erkrankungen -maligne Erkrankungen	[^{99m}Tc]MDP/DPD/HDP	 500 650	 550 700
	PET	[^{18}F]Fluorid	250	300
Herz	Perfusion/ Vitalität	[^{99m}Tc]Sestamibi/ Tetrofosmin - Zweitagesprotokoll - Eintagesprotokoll	 400 1000	 500 1100
		[^{201}Tl]Chlorid	75	90
	RNV	[^{99m}Tc]Erythrozyten	700	730
Nieren	Funktionsszintigraphie	[^{99m}Tc]MAG3	100	125
Lunge	Perfusion	[^{99m}Tc]MAA - planar - SPECT	 100 160	 125 200
	Ventilation	[^{99m}Tc]DTPA	1000#	1100#
		[^{99m}Tc]Technegas	350#	500#
Gehirn	DAT-SPECT	[^{123}I]FP-CIT	180	190
	PET	[^{18}F]FDG	200	250
Tumor-Detektion	PET	[^{18}F]FDG	350	380
	Szintigraphie	[^{111}In]Octreotid	150	175

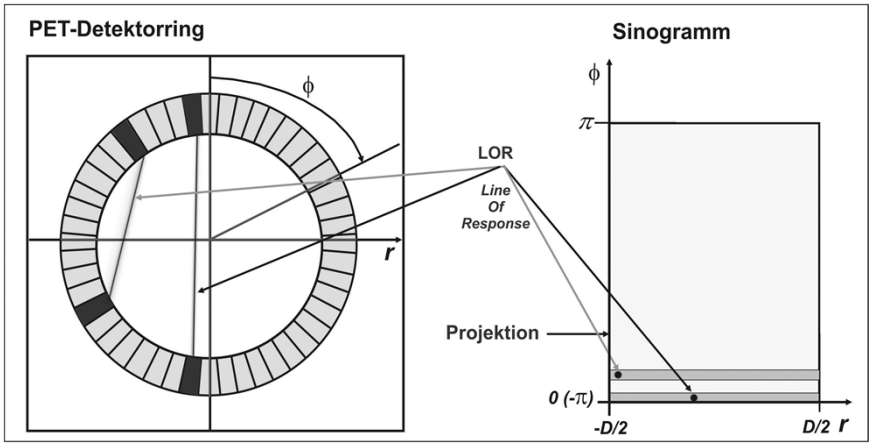
Messtechnik – PET/CT



Gemini - Philips

M.Mix

Klassische Datenakquisition im PET



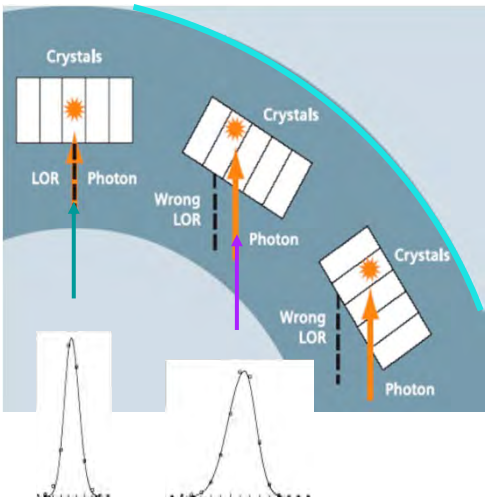
- Tomographische Rekonstruktion der Projektionsdaten (LORs) und/oder der 3D-Sinogrammdaten

Herausforderungen in der PET

- Zählrate pro LOR durch Dosisminimierung begrenzt
- Isotop limitiert die physikalisch mögliche Auflösung (β^+-Reichweite: Ga-68, O-15)
- Sehr hohe Datenmengen (Voxelgröße)
- Auflösungsverschmierung zum Rand des Detektorrings zunehmend

Auflösungsverschmierung in der PET

Detektorring (transaxial)



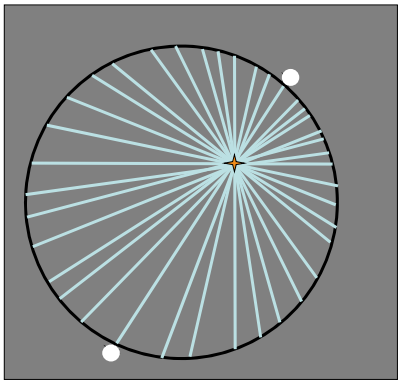
IDEE:
Auflösungsrückgewinnung durch PSF Recovery

Courtesy DW Townsend

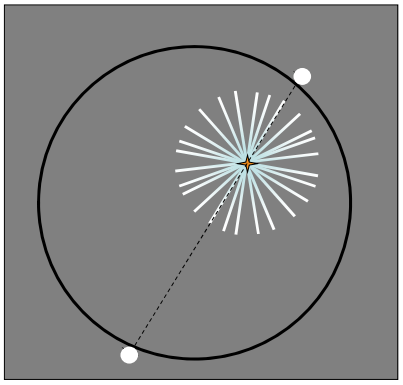
Time of Flight PET

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

LOR Messung



ToF Messung

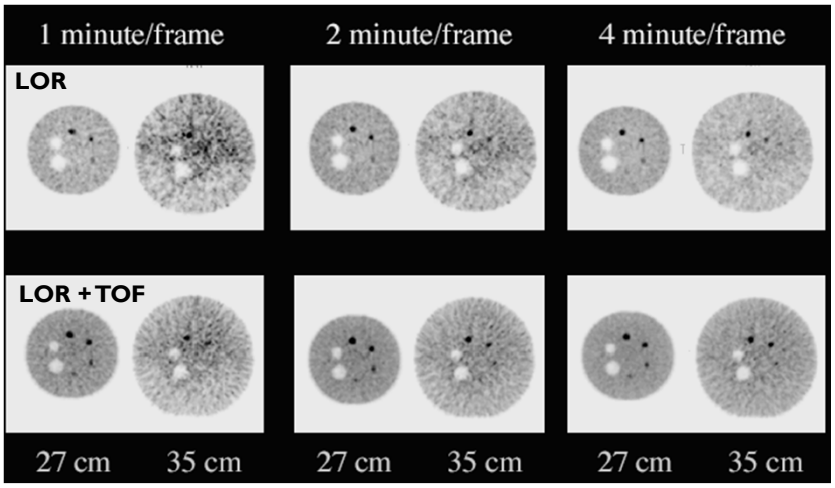


450 ps Messung ~15cm Genauigkeit

@ - Philips ☺

Time of Flight - Bildqualität

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG



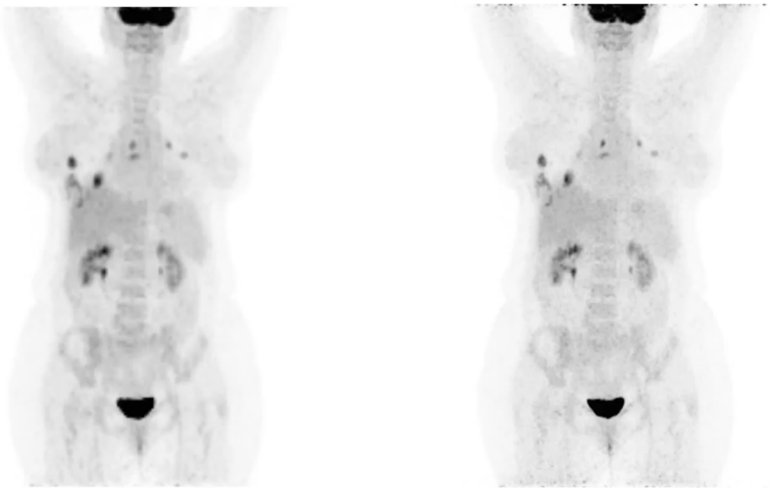
Phantom studies (IEC spheres in a 27 cm diameter and 35 cm diameter cylinder)
J. Karp, U Penn

M.Mix

Hochaufgelöstes FDG-PET

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

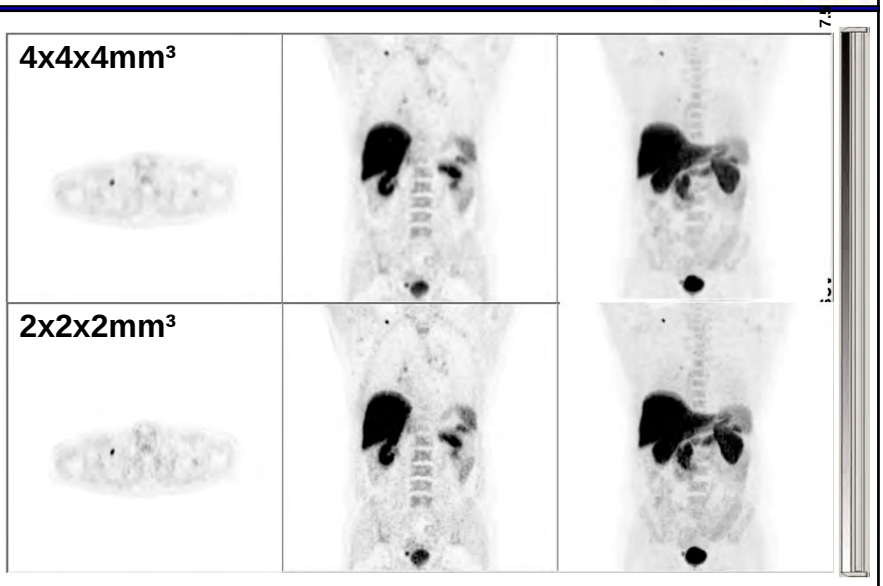
MIP: 4x4x4mm³ **MIP: 2x2x2mm³**



Patient nach Radio-Chemotherape (1.76 m, 65 kg) 300 MBq, 1,5 min/BP

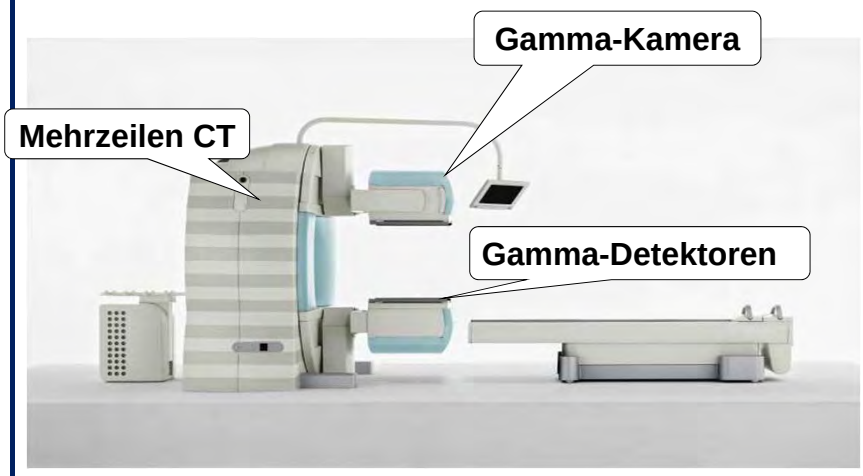
Hochaufgelöstes FECH-PET

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG



Patient mit metastasiertem Prostatakarzinom (1.90 m, 90 kg) 262 MBq, 2 min/BP

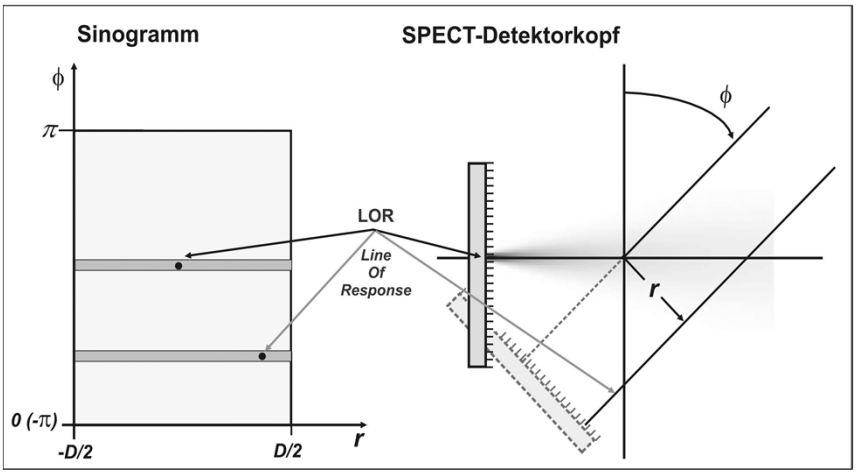
Messtechnik – SPECT/CT



Ablauf: planares Szintigramm, SPECT, CT

Symbia - Siemens

Datenakquisition in der SPECT



Parallellochkollimator!

M.Mix

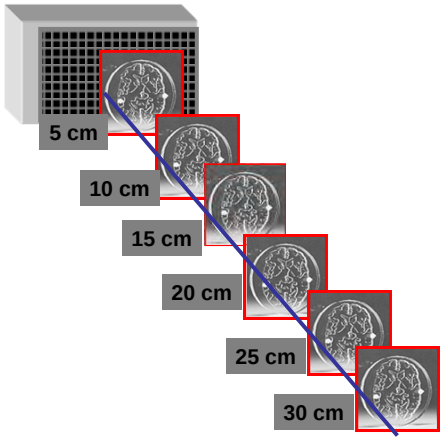
Herausforderungen in der SPECT

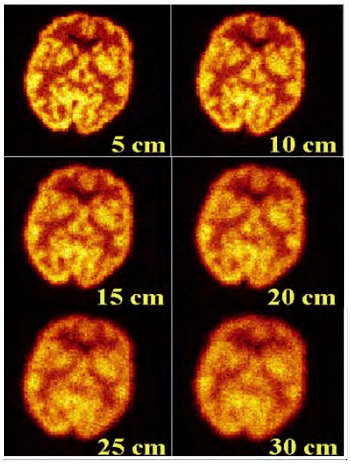
UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

- Limitierte Zählraten (Kollimator)
- Limitierte Anzahl an Projektionslinien
- Limitierte Auflösung aufgrund des Kollimators
- Auflösungsverschmierung in der Projektionstiefe zunehmend

Auflösungsverschmierung in der SPECT

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG





IDEE: Auflösungsrückgewinnung gemäß Kollimatormodell

SIEMENS

“state of the art” - SPECT:

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

OSEM-2D

OSEM-3D mit Auflösungsrückgewinnung*

*Astonish

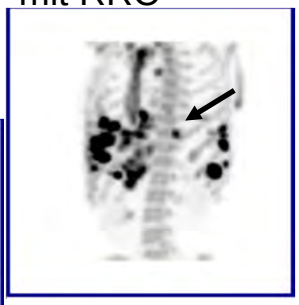
“state of the art” - SPECT:

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

OSEM-2D

FBP

OSEM-3D
mit RRC*



*Flash-3D

Fazit: Stand der NUK-Bildgebung

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

- Aktuelle, kommerziell erhältliche Systeme sind auf einem hohen Qualitätsniveau
- Moderne Rechnergeschwindigkeiten erlauben die Nutzung optimaler Rekonstruktionsalgorithmen
- SPECT: 3D Algorithmen mit Auflösungsrückgewinnung sind valide und routinetauglich
- PET: Hochauflösende LOR-TF Rekonstruktion bietet Potential, zusätzliche Auflösungs-rückgewinnung kann Artefakte verursachen

→ **weitere Dosisreduktion möglich!**

M.Mix

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

CT Verwendung für die Schwächungskorrektur in der PET und SPECT

Schwächungskorrektur (AC)

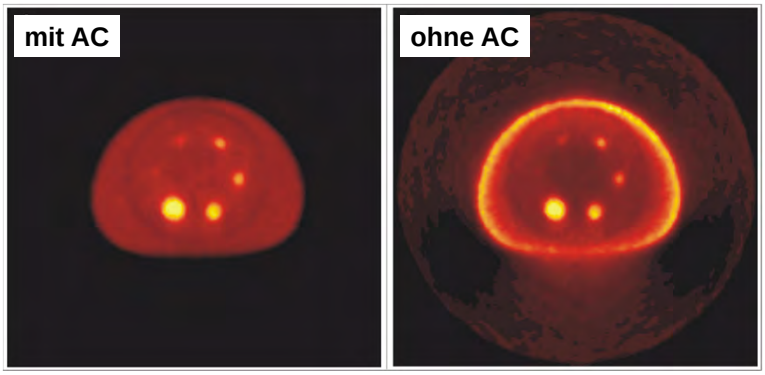
UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

$I(x) = I(0) \cdot e^{-\mu \cdot x}$

Kompensation der Photonenschwächung im Gewebe

PET: entlang der kompletten Verbindungslinie zwischen zwei in Koinzidenz geschalteten Detektoren

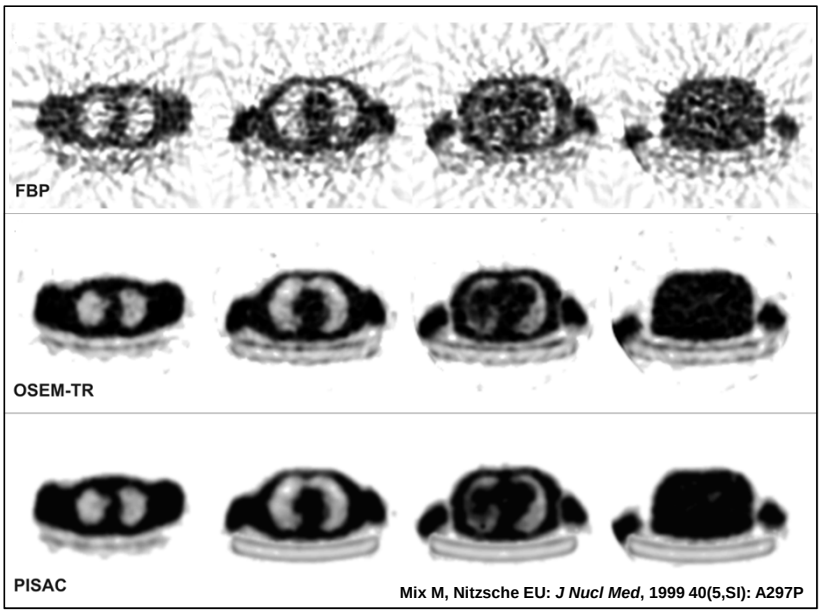
SPECT: vom Entstehungsort bis zum Detektor



Transmissionsmessungen

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

μ-Werte – PET: Germanium-68 Quellen

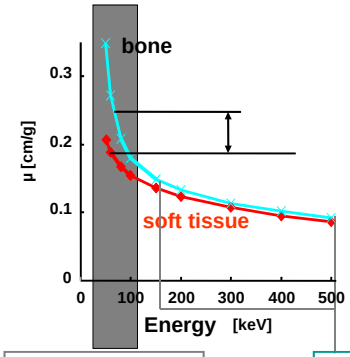


Mix M, Nitzsche EU: *J Nucl Med*, 1999 40(5,SI): A297P

CT basierte Schwächungskorrektur

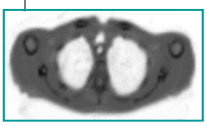
UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

$I(x) = I(0)*e^{-\mu*x}$



CT ~70 keV

PET 511 keV



SPECT 140 keV

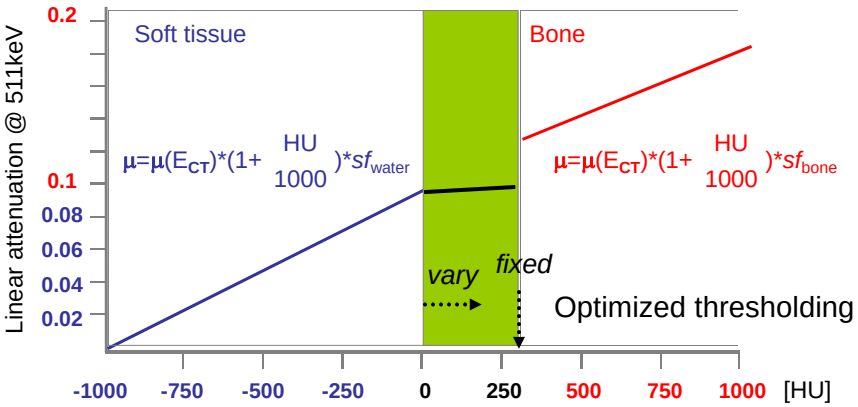
Kinahan PE et al: *Med Phys*, 1998, 25:2046-53

M.Mix

HU-Umrechnung in μ-Werte

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

Beispiel: PET

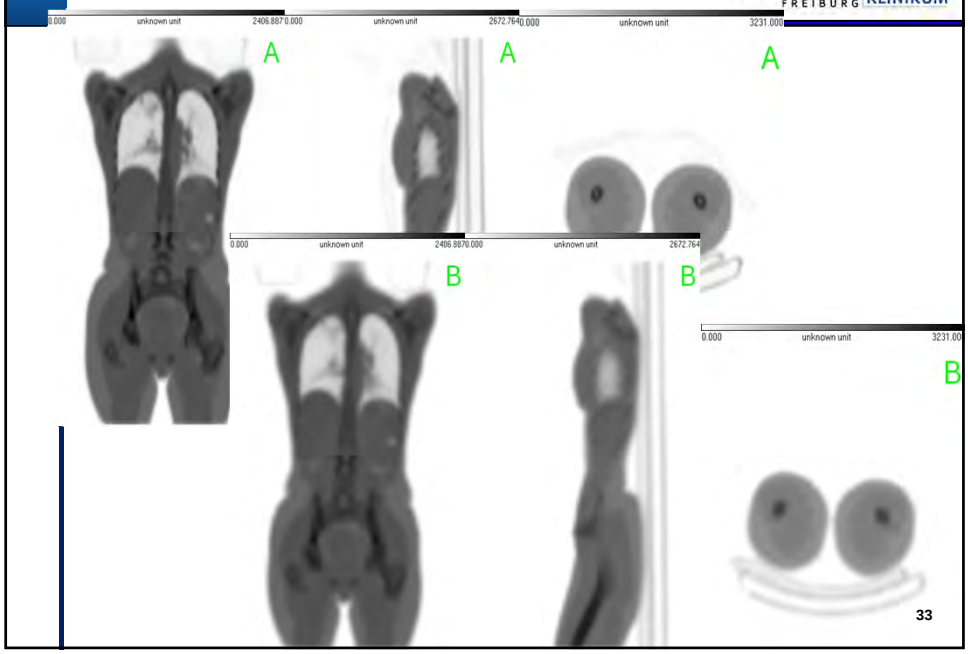


(TS)DSM: (triple segmentation) dual scaling method

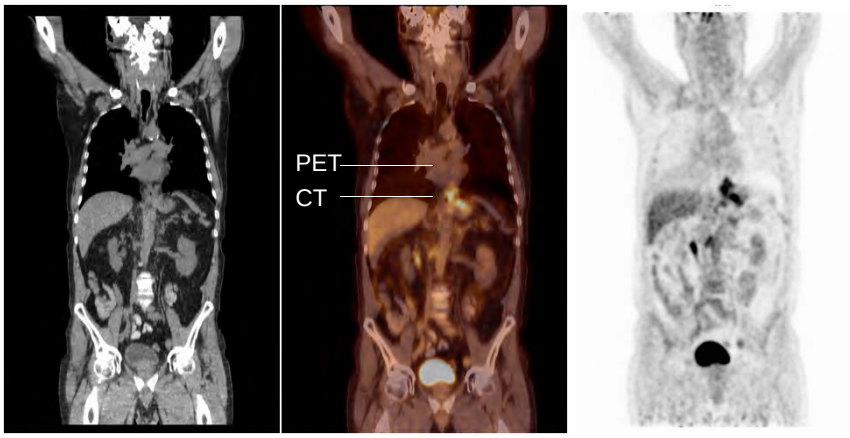
→ KM-"Problem" mittlerweile gelöst!

@ T. Beyer

CT µ-map



PET/CT Atem-Artefakten



Quantifizierung (SUV)!

Dosisminimierung „low-dose“

- Quantitatives PET mit ultra-low-dose CT sehr gut möglich → Pädiatrie! (z.B: 80 kVp, 10 mA)
  - Fahey FH et al: *J Nucl Med* , 2005, 45 pp.74
  - Hahn K et al: *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2006, 33:966-968
  - Nam S et al: *IEEE NSS-MIC*, 2007, M18-182:3436-39
- Aktuelle PET/CT Systeme:
  - 80 - 130kVp, ~10-30mAs
  - Wahl des richtigen Standardprotokolls!

→ Diagnostische PET/CT Protokolle haben noch Reduktionspotential (iterative Rekonstruktion)!

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

CT für eine Kombinationsbildgebung mit maximalem diagnostischen Informationsgehalt

→ Kardiologie

→ Onkologie

(→ Neurologie: PET/MR!)

Kardiologie

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

- Für eine optimale kardiologische Nutzung der von PET (FDG) bzw. SPECT (MIBI) und CT sind ggf. in beiden Modalitäten „state-of-the-art“ Protokolle anzuwenden

  → CT: Radiologie
- Schwächungskorrektur mit gated 4D-CT nicht notwendig (?!)
- Perfusionberechnung mit O-15 H_2O-PET auch ohne AC möglich!
  - *Lubberink M: J Nucl Med, 2010, 51(4):575-580*
- AC reduziert Hinterwandartefakte im SPECT signifikant (bessere Vergleichbarkeit!)

Onkologie - PET

- Einsatz der PET/CT ohne vorherige CT-Diagnostik erfordert radiologische „state-of-the-art“ Protokolle
  - → Darstellung der Lymphknoten nur mit KM
  - → diagnostisches KM-CT zur AC nutzbar!
- Standardisierte Durchführung:
  - Boellaard R et al: FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour PET imaging: version 1.0, *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2010, 37:181–200
- Sonderprotokolle für Strahlentherapieplanung
  - → Dosis relevant?

Onkologie/Sonstige - SPECT

- Protokolle mit selektivem Einsatz der CT für relevantes Organ (i.d.R. kein Ganzkörper-CT)
- Einsatz der SPECT/CT erlaubt die absolute Quantifizierung z.B. für die Dosimetrie (^{177}Lu-Peptidtherapien)
- Einsatz der SPECT/CT ermöglicht in der Knochenszintigraphie die exakte Lokalisation und eine vollständige radiologische Diagnose
- Einsatz der SPECT/CT in der Lungenembolie-Diagnostik vereint die Stärken beider Verfahren

Fazit

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

- Kombinationsbildgebung mit PET/CT und SPECT/CT ist in der modernen Nuklearmedizin etabliert
- Eine intensive radiologische und nuklearmedizinische Zusammenarbeit gewährleistet den sinnvollen Einsatz der Hybridtechnik (PET/CT u. SPECT/CT anstelle eines CT und nicht als Bildgebung nach einem diagnostischen CT)
- PET/CT und SPECT/CT führen müssen die Strahlenexposition nicht erhöhen!

M.Mix

Danke!

UNIVERSITÄTS KLINIKUM FREIBURG

für Ihre Aufmerksamkeit

Klinik für Nuklearmedizin:

Philipp Meyer
Sophie Harzmann
Christine Lindstedt
Marliese Dürr
Daniela Lickert

Externe:

Wolfgang Weber
Christian Lohrmann
Maryam Khodaverdi
Thomas Beyer
Thomas Brönnimann
Peter Kohl

M.Mix