



RCNP研究会
「核変換技術の展開・医用RI製造と核廃棄物処分」

核医学におけるRI利用の 現状と課題

大阪大学大学院医学系研究科
核医学講座 畑澤 順

平成23年12月2日



核医学の概要

核医学

基礎

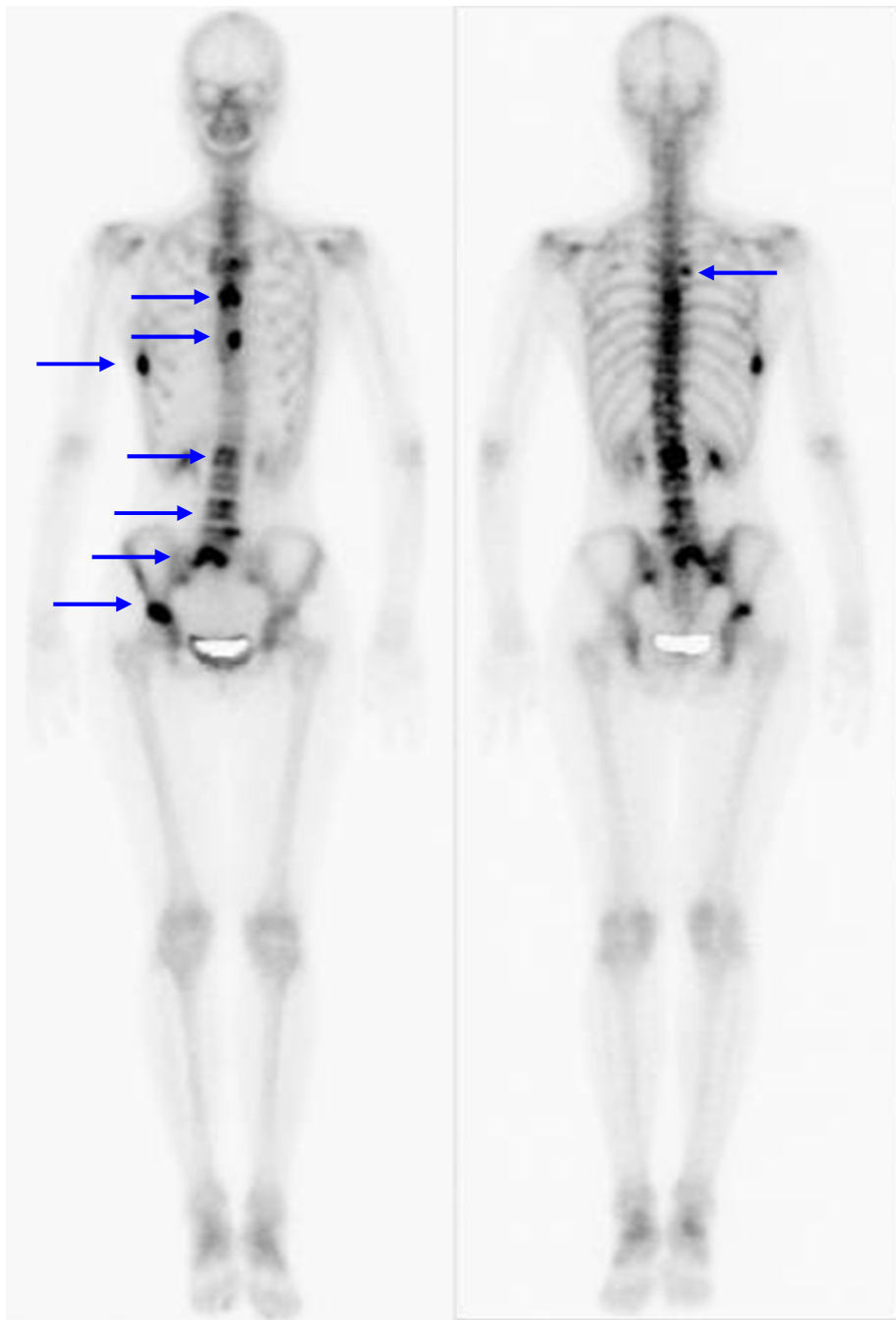
放射性同位元素
放射性医薬品
核医学機器
画像処理
安全管理

診断

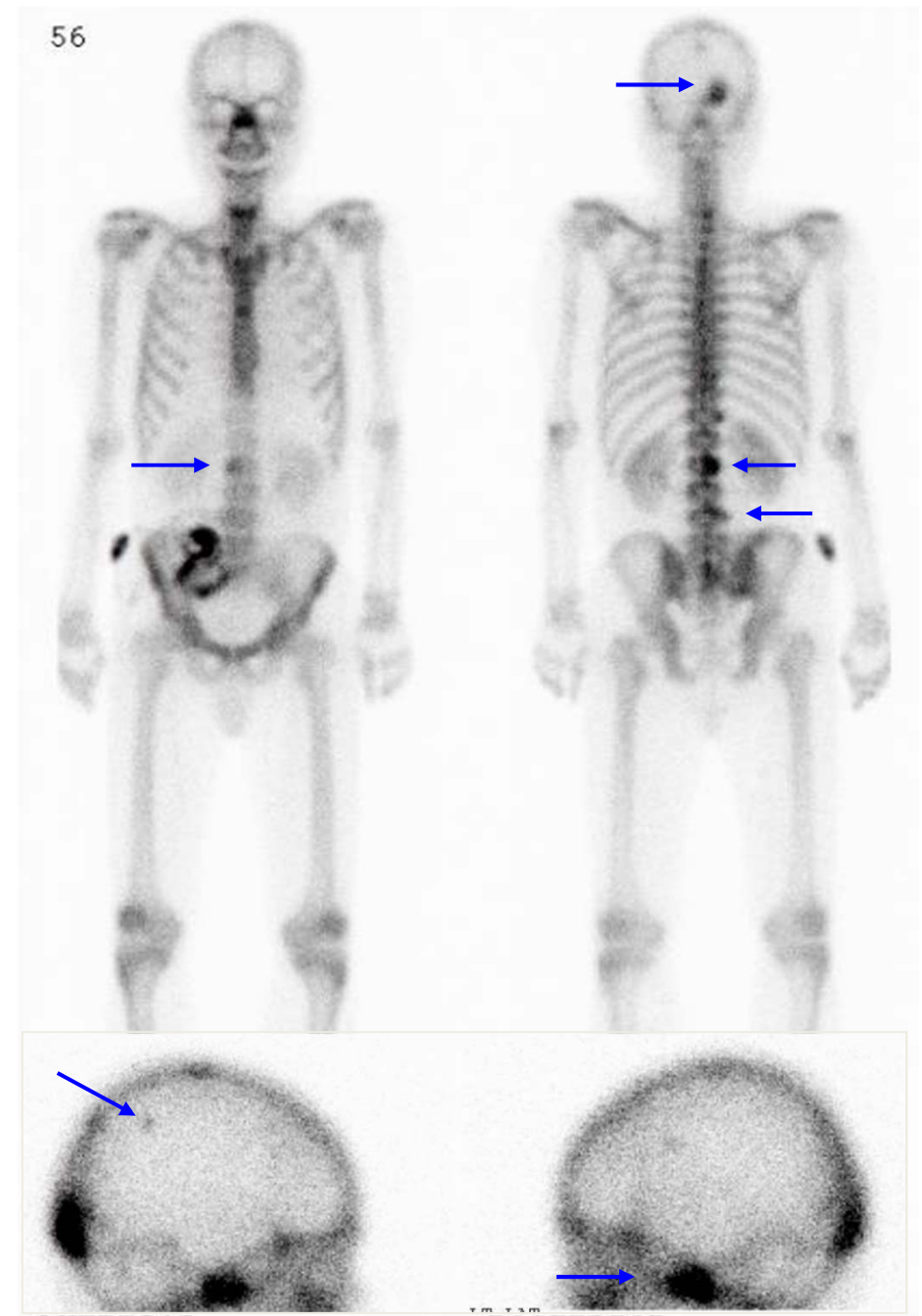
画像診断 (in vivo検査)
単光子放出核種
陽電子放出核種
試料測定 (in vitro検査)

治療

アイソトープ内用療法
甲状腺がん
甲状腺機能亢進症
転移性骨腫瘍
放射免疫療法
ホウ素中性子捕捉療法

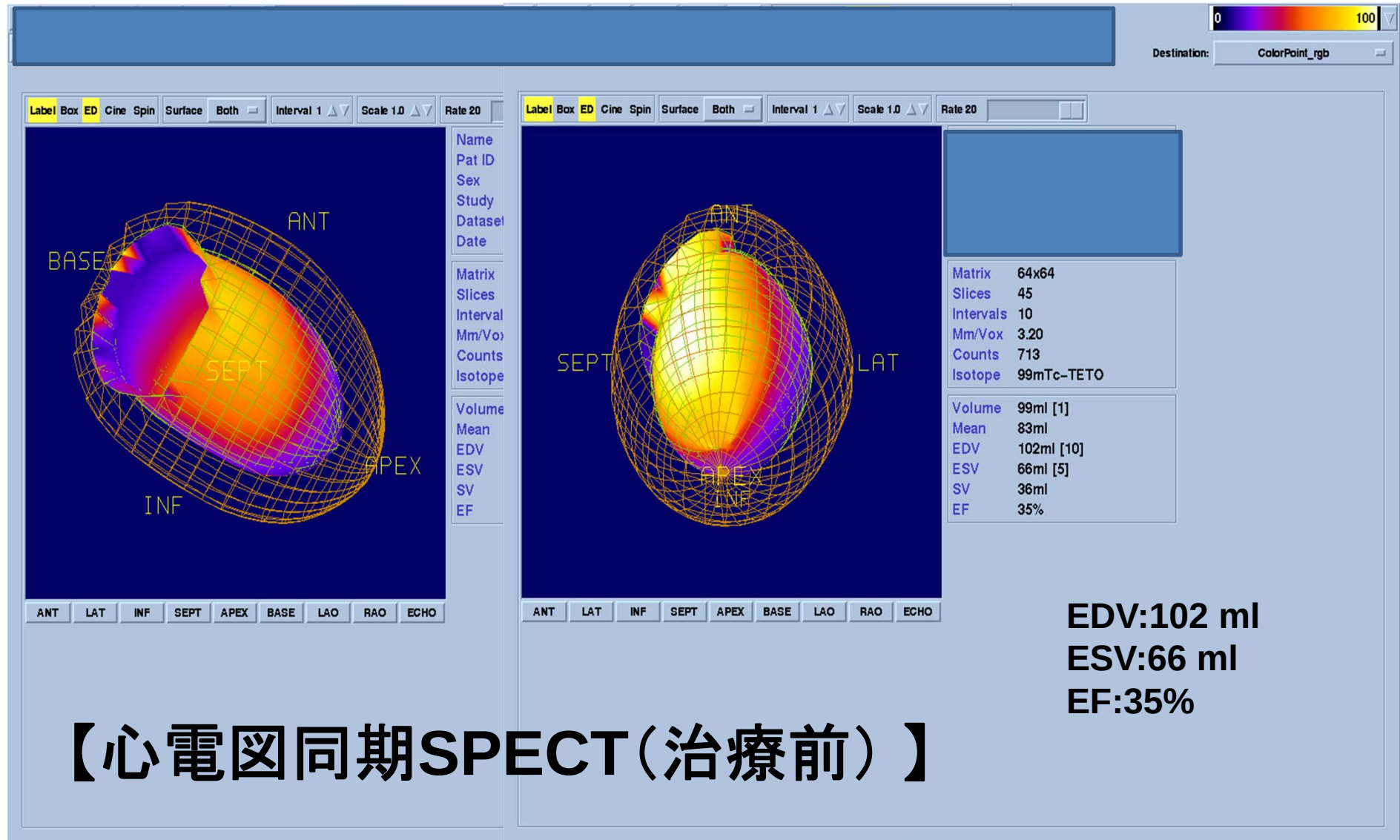


乳癌骨轉移



膀胱癌骨轉移

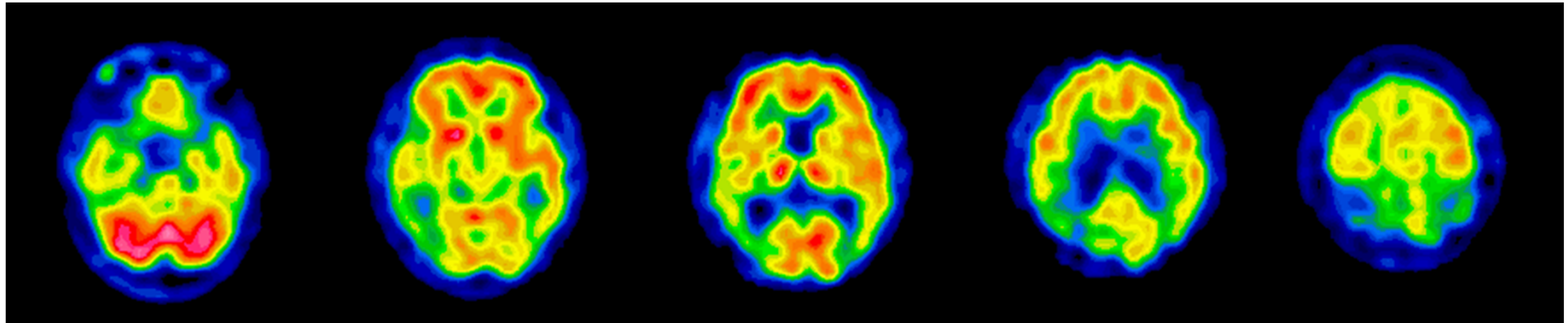
心筋血流・機能検査





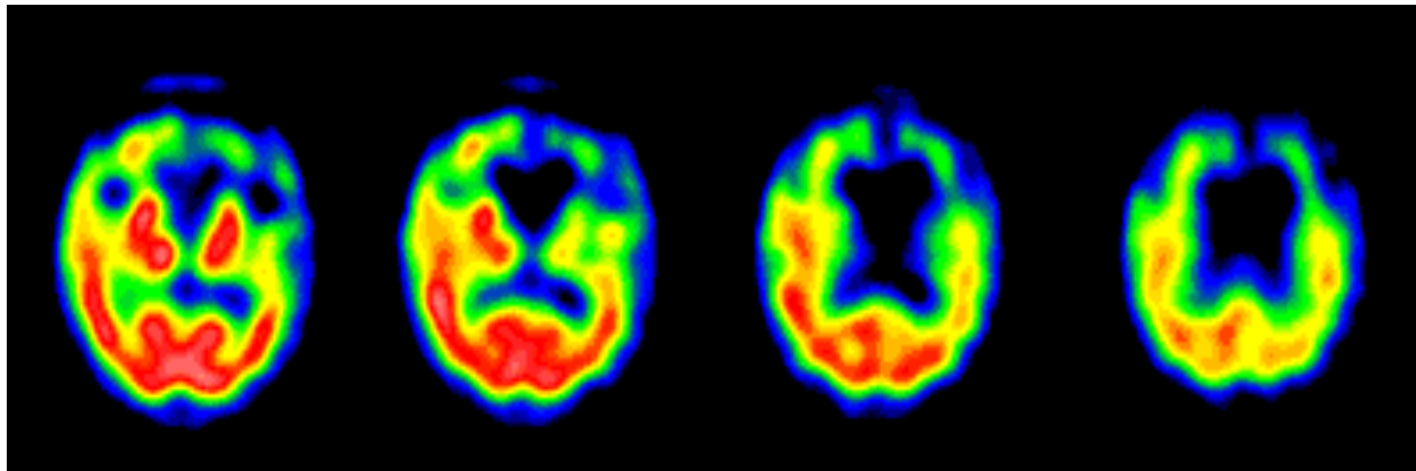
脳血流・脳機能検査

アルツハイマー病



^{99m}Tc -HMPA 両側側頭葉・後頭葉・頭頂葉の血流低下

ピック病



^{99m}Tc -HMPA 両側前頭葉の血流低下

核医学検査(単光子放出核種)

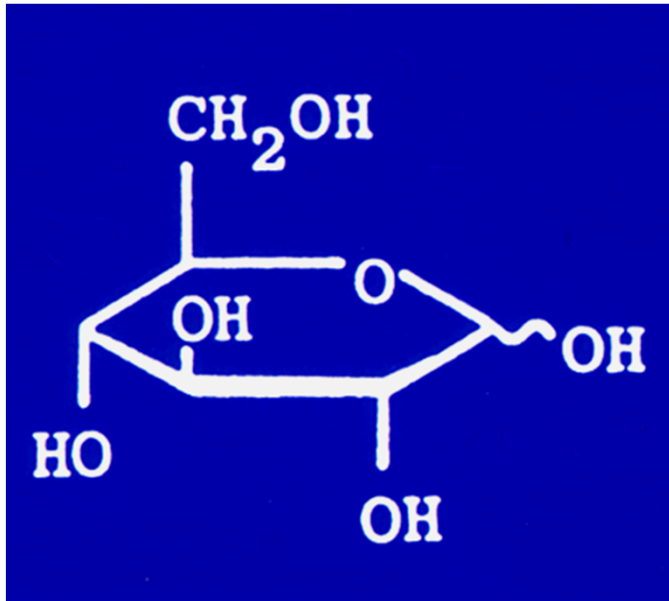
臓器 (目的)	放射性医薬品	投与量MBq		投与法	計測開始時間
脳 (循環動態)	^{99m}Tc -DTPA	370～	740	静注	20～30分
	$^{99m}\text{TcO}_4^-$	370～	740	静注	20～30分
脳血流	^{123}I -IMP	111～	222	静注	10分
	^{99m}Tc -HMPAO	370～	1,110	静注	10分
	^{99m}Tc -ECD	370～	1,110	静注	10分
	^{133}Xe ガス	740～	1,110	吸入	直後
	^{123}I -Iomazenil	111～	222	静注	2時間
神経受容体	^{111}In -DTPA	37～	111	腔内	15分～72時間
脳脊髄液腔	Na^{123}I カプセル	3.7～	7.4	経口	4～6時間
甲状腺	$^{99m}\text{TcO}_4^-$	74～	185	静注	30～60分
	^{131}I -アドステロール	18.5～	37	静注	6～9日
副腎皮質	^{131}I -MIBG	18.5～	37	静注	1～3日
副腎髄質	^{99m}Tc -MAA	74～	190	静注	直後
肺 (血流)	^{99m}Tc -コロイド	74～	185	吸入	直後
	^{99m}Tc -HSA	74～	185	吸入	直後
肺 (換気)	^{133}Xe ガス	74～	370	吸入、静注	直後
	^{81m}Kr ガス	185～	370	吸入、静注	直後
心筋 (血流)	$^{201}\text{TlCl}$	74～	111	静注	10分～30分
	^{99m}Tc -sestamibi	185～	740	静注	60分
	^{99m}Tc -tetrofosmin	185～	740	静注	30分
心筋 (脂肪酸)	^{123}I -BMIPP	111～	148	静注	30分
心筋 (神経)	^{123}I -MIBG	111～	148	静注	30分
心筋梗塞	^{99m}Tc -ピロリン酸	370～	740	静注	1時間
心プール	^{99m}Tc -HSA	370～	740	静注	直後
	^{99m}Tc -赤血球	370～	740	静注	直後
静脈	^{99m}Tc -MAA	74～	185	静注	直後
肝	^{99m}Tc -フチン酸	74～	185	静注	20～30分
	^{99m}Tc -スズコロイド	74～	185	静注	20～30分

核医学検査(単光子放出核種)

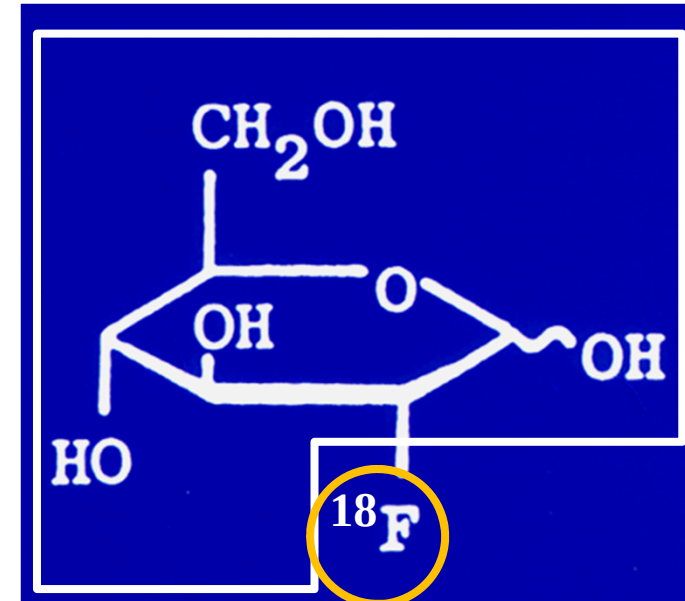
臓器 (目的)	放射性医薬品	投与量 MBq	投与法	計測開始時間
肝・胆道 唾液腺 Meckel憩室 消化管出血 腎	^{99m}Tc -HIDA	74～ 185	静注	直後
	^{99m}Tc -PMT	74～ 185	静注	直後
	$^{99m}\text{TcO}_4^-$	74～ 185	静注	直後～60分
	$^{99m}\text{TcO}_4^-$	74～ 185	静注	直後～60分
	^{99m}Tc -赤血球	370～ 740	静注	10分～24時間
	^{99m}Tc -DMAS	74～ 185	静注	1時間
	^{99m}Tc -MAG3	185～ 370	静注	直後
	^{99m}Tc -DTPA	185～ 370	静注	直後
	^{131}I -馬尿酸ナトリウム	7.4～ 18.5	静注	直後
	^{131}I -馬尿酸ナトリウム	185～ 5	静注	直後
辜丸	^{99m}Tc -HSA	37～ 370	静注	10分
胎盤	^{99m}Tc -HSA	37～ 185	静注	10分
	^{99m}Tc -赤血球	74～ 185	静注	20～30分
脾	^{99m}Tc -スズコロイド	190～ 185	静注	1時間
骨髓	^{99m}Tc -スズコロイド	74～ 370	静注	48時間
	$^{111}\text{In-Cl}_2$	74～ 110	皮下注	2～6時間
リンパ節	^{99m}Tc -レニウムコロイド	74～ 185	皮下注	2～6時間
	ド	370～ 185	静注	2～3時間
骨	^{99m}Tc -スズコロイド	370～ 740	静注	2～3時間
	^{99m}Tc -MDP	74～ 740	静注	48～72時間
	^{99m}Tc -HMDP	74～ 111	静注	10～30分
腫瘍	^{67}Ga -クエン酸ガリウム	110		
	ム			
	$^{201}\text{TlCl}$			

PET悪性腫瘍診断

ブドウ糖部分



ブドウ糖

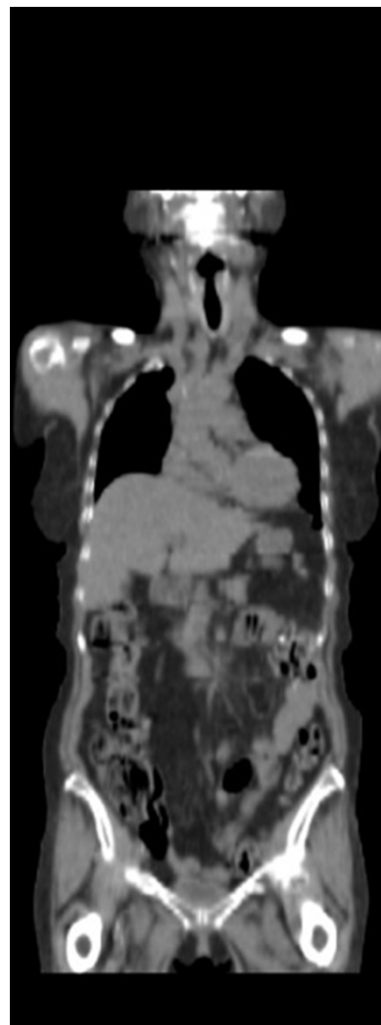
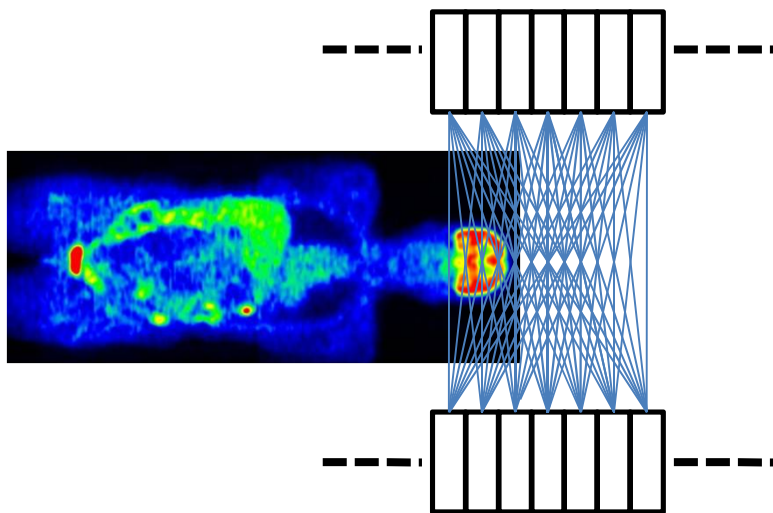


陽電子放出核種

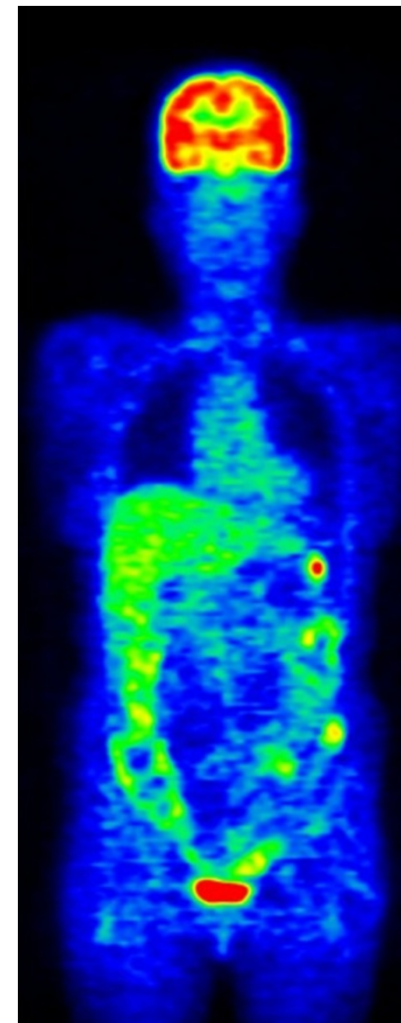
2-deoxy-2- ^{18}F fluoro-D-glucose
(疑似ブドウ糖)

PET-CTによる悪性腫瘍診断

高分解能・高感度臨床PET装置



CT

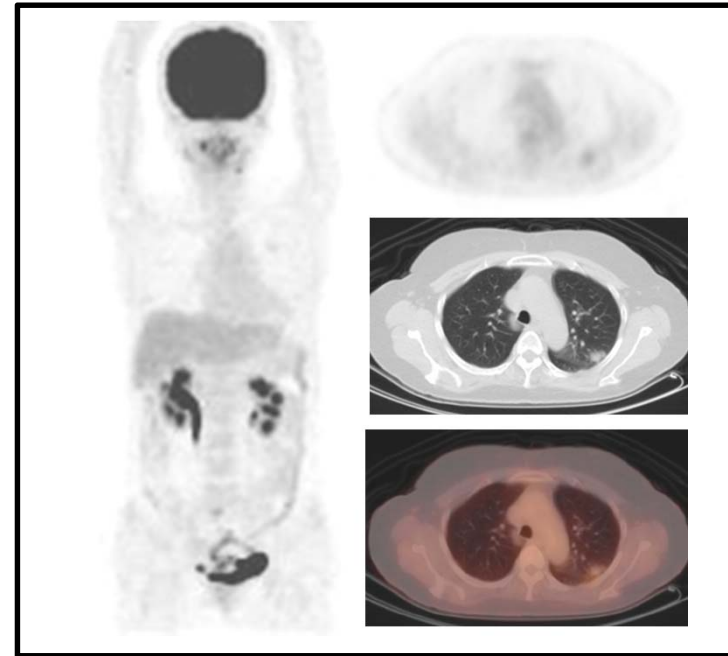


PET



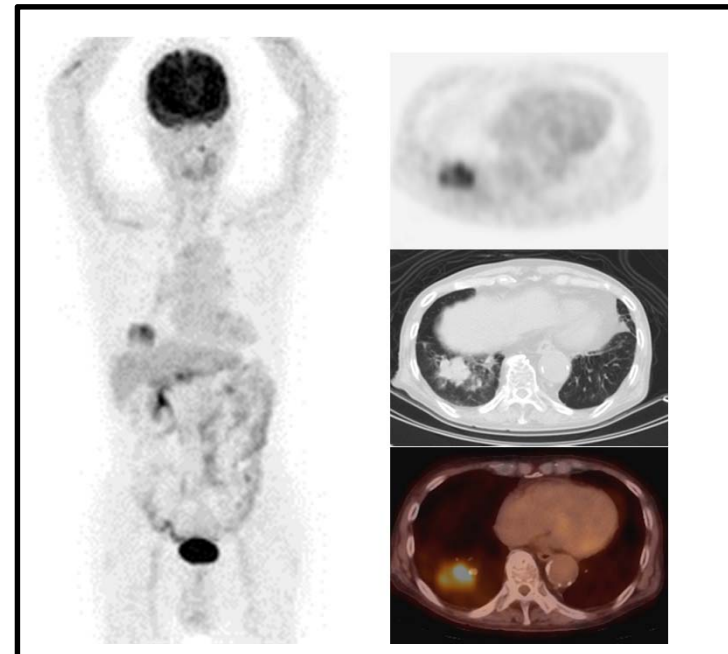
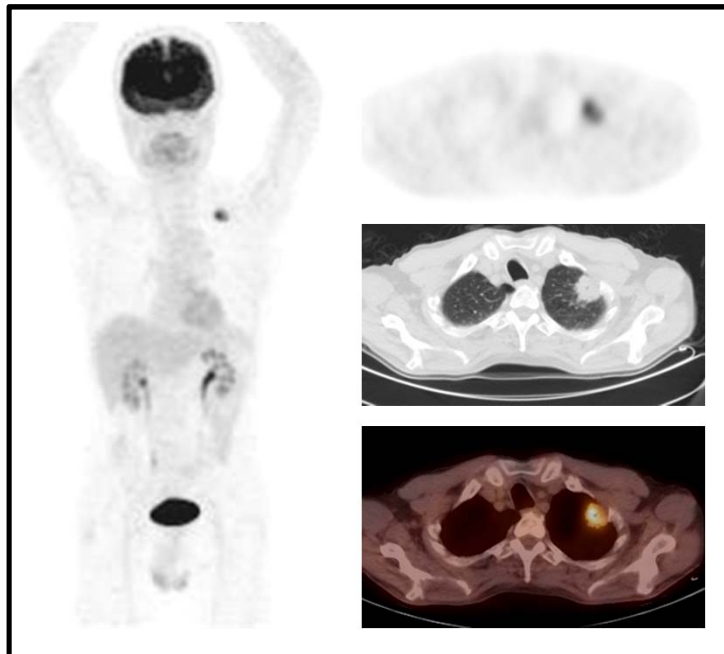
FDG-PET :

肺がんの臨床病期診断



1A
腺癌

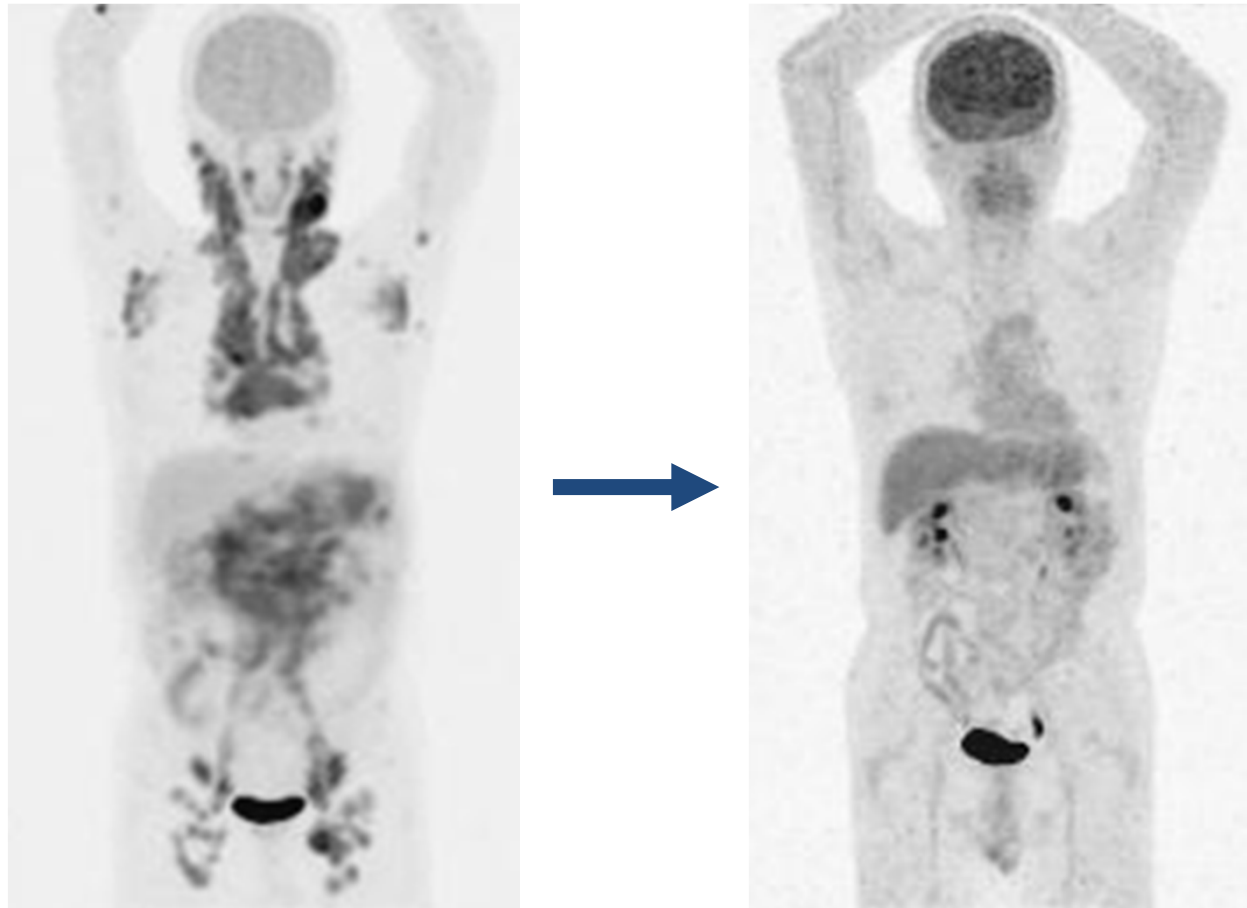
1B
腺癌



1C
扁平
上皮癌

FDG-PET：治療効果の評価

悪性リンパ腫 Stage IVに対する分子標的抗がん剤治療





診断精度と治療方針への影響

悪性腫瘍の種別	件数	(%)	正診率	治療方針の変更
肺がん	4877	27.3	90%	37% (病期診断)
悪性リンパ腫	2216	12.4	88%	21% (病期診断)
頭頸部がん	2045	11.5		
大腸がん	2007	11.2	94%	32% (病期診断)
乳がん	1682	9.4	90%	24% (病期診断)
原発不明がん	1368	7.7		
膵がん	804	4.5	92%	50% (鑑別診断)
食道がん	745	4.2		
子宮がん	616	3.5		
転移性肝がん	553	3.1		
卵巣がん	421	2.4		
悪性黒色腫	222	1.2		
脳腫瘍	191	1.1		

(日本核医学会2007年アンケート調査)

(Cambhir et al. JNM 2001)



核医学診断に用いる放射性同位元素

単光子放出核種 (中性子過剰)

^{99m}Tc (87% 推定90万件/年)
 ^{67}Ga (3%)
 ^{201}Tl (4%)
 ^{111}In (1%)
 ^{123}I (4%)
 ^{131}I (1%)
 ^{133}Xe (1%)

- γ 線のエネルギーはシンチレータによる検出に適している ($\sim 200\text{keV}$)
- 標識しやすい (^{99m}Tc , ^{111}In , ^{123}I , ^{131}I)
- 組織特異性がある (^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{131}I)
- 多核種同時検査が可能
- すべて医薬品企業からの供給
- 全国約1200医療機関、年間180万件

陽電子放出核種 (陽子過剰)

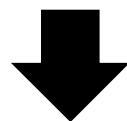
^{15}O (2%)
 ^{11}C (研究)
 ^{13}N (研究)
 ^{18}F (98% ^{18}F FDG 推定30万件/年)
 ^{82}Rb (研究)
 ^{124}I (研究)
 ^{62}Zn (研究)
 ^{64}Cu (研究)

- γ 線のエネルギーは $\sim 511\text{keV}$
- 生理的トレーサ (^{15}O ^{11}C ^{13}N)
- 多様な標識化合物
- 物理的半減期が短い
- 院内製剤 (^{18}F FDG以外)
- 全国約200医療機関、年間30万件
- 研究用

問題点（１）診断用放射性核種の供給

放射性医薬品	供給量(年) (TBq)	原料核種	半減期	生産方法	調達
Tc-99m	334	Mo-99	65.9時間	原子炉	輸入
Mo-99-Tc-99m	178				
Tl-201	26	Tl-201	72.9時間	加速器	国内製造
I-123	24	I-123	13.3時間	加速器	国内製造
Ga-67	16	Ga-67	3.3日	加速器	国内製造
In-111	9	In-111	8.0日	原子炉	輸入
Xe-133	7	Xe-133	5.2日	原子炉	輸入

２００９年 カナダの原子炉からの供給が停止、Mo-99の供給不足



核医学診療の危機



Mo-99製造の動向

高濃縮(90%以上)U-235を原子炉内に挿入し、核分裂生成物からMo-99を分離精製(核分裂法)

カナダ(30%)、オランダ、ベルギー、フランス(以上で40%)、南アフリカの5カ国の研究炉で95%以上

核不拡散上の面で、高濃縮U-235から低濃縮U-235への転換が試みられているがプルトニウムの生成はいずれも可能。

オランダ、ベルギー、フランスは老朽炉の更新を計画(核分裂法)

カナダ 現有の研究炉廃炉後、加速器による製造に転換

米国 低濃縮U-235核分裂法、中性子放射化法(Mo-98からMo-99)、加速器による製造法を検討

韓国 研究炉(KAERI)による核分裂法

中国 研究炉による核分裂法

インドネシア 核分裂法(高濃縮から低濃縮に転換)

日本 中性子放射化法(研究炉JMTR、発電炉を想定)

第51回日本核医学会シンポジウムより

問題点（２）治療用放射性核種の供給

核種	壊変形式	半減期	国内での利用
I-131	B ⁻	8.04 d	可（輸入）
Yo-90	B ⁻	64.1 h	可（輸入）
Lu-177	B ⁻	6.7 d	X
At-211	α		X
Re-188	B ⁻	16.9 h	X
Sr-89	B ⁻	50.5 d	可（輸入）
Sn-117m	IT	14.0 d	X
Sm-153	B ⁻	16.8 h	X
P-32			X

第4回世界放射性医薬品治療シンポジウム
2011.11.29-12.2 Ho Chi Minh City

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)普及へのプロセス

