

医療従事者の被曝 について

Radiation exposure in Medical workers

加藤千恵次

北大病院 核医学診療科

北大 保健科学研究所

保健・医療概論、2022. 6. 16
オンデマンドWeb講義です。
スライドを見て自習して下さい。
受講票を1週間以内に提出して下さい。

**放射線 Radiation とは
エネルギー である。**

放射線エネルギーを大量被曝すると
人体が悪影響を受ける場合があるが、
**医療従事者が、病院内施設で
大量被曝(100mSv以上)することはない。**
ほとんど 1mSv 以下で無害である。

放射線 (Radiation) は、2種類ある。

1. 電磁波 (X線、ガンマ線)

= 空間の振動エネルギー

2. 粒子線 (電子線、陽電子線 など)

= 高速に飛ぶ粒子 (質量をもつ)

X線、ガンマ線より人体への影響が大きい

放射能 (Radio-activity) とは、1秒間に

放出される放射線の数 (単位はベクレル)。

電磁波（X線、ガンマ線、光線、電波など）
は、空間の振動エネルギー。

空間（Universe）とは何もない所ではない。
空間とは、物理的実在物（構造物）である。

空間構造の振動が、
X線、ガンマ線、可視光線、電波などの
電磁波になる。

被曝量（線量）をあらわす単位

放射線を被曝して、人体に受ける
放射能エネルギーの強さの単位は、

シーベルト(Sv) $Sv = J/kg$

(線量 Dose の単位)

1Svは、体重1kg あたりに1ジュール(J)
のエネルギーを受ける放射能の強さ。

被曝は2種類ある。

1. 外部被曝

人体の外にある放射性物質,放射線発生装置から受ける被曝。

2. 内部被曝

放射性同位元素RI を吸入または経口摂取し、体内のRIから受ける被曝。

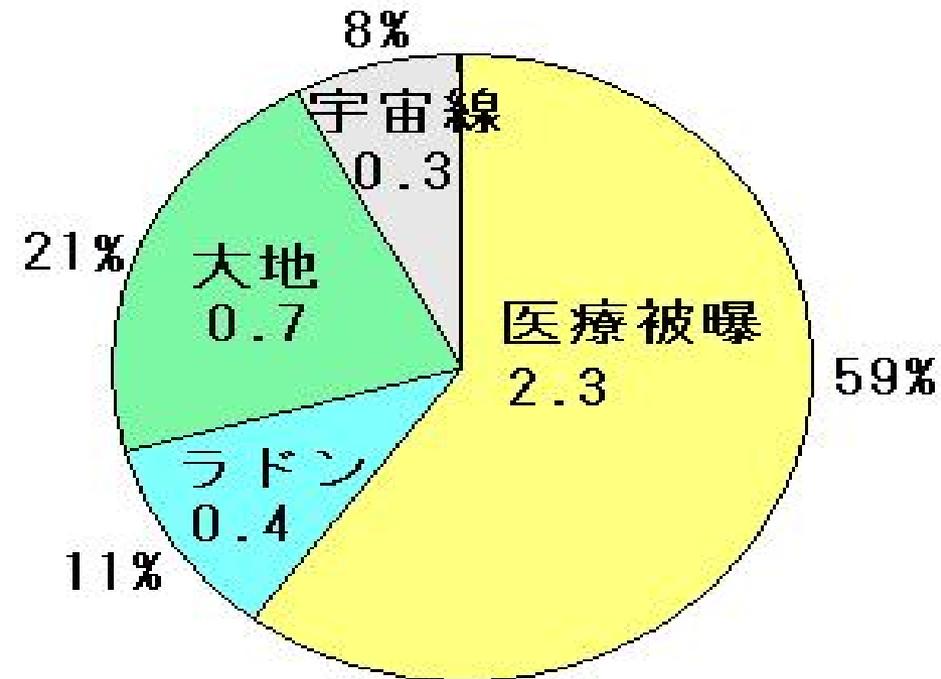
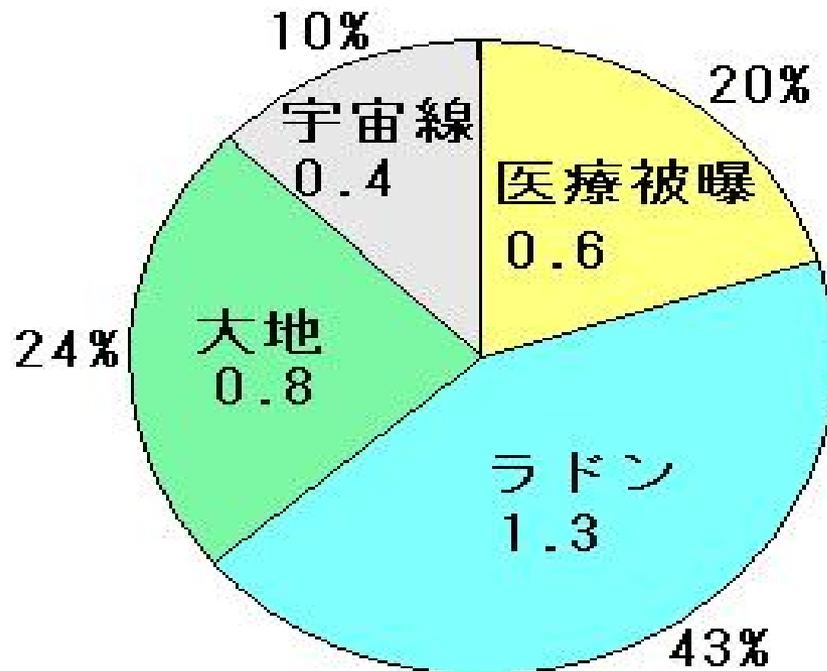
放射性物質取扱作業室ではRIの吸入、経口摂取の危険を避けるため **飲食、喫煙は禁止。**
(RI検査室にペットボトル飲料は持込み禁止)

我々は常に、毎年3~4mSv (0.003~0.004 Sv)の被曝を受けている

環境放射線

世界平均 3.0mSv

日本 3.8mSv

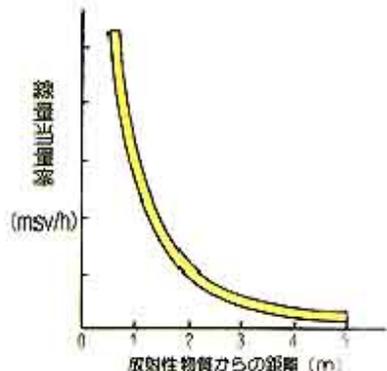
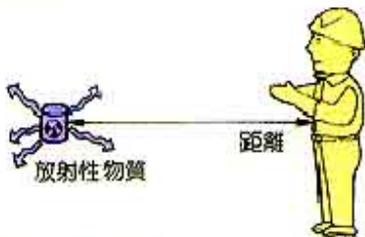


ラドン(^{222}Rn)は気体なので、島国の日本では、地面から出たラドンガスは偏西風に流され、あまり地表に残らない。

放射線防護の基本

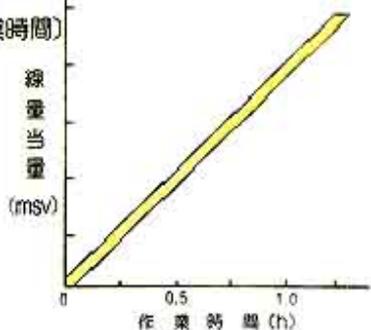
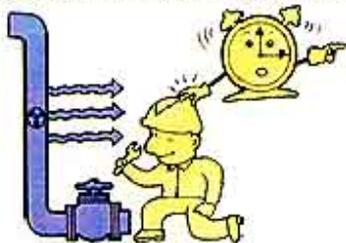
● 距離による防護

(線量当量率) $\propto 1/(\text{距離})^2$

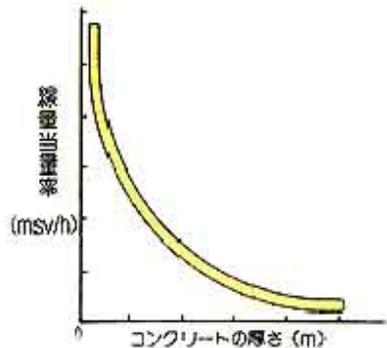
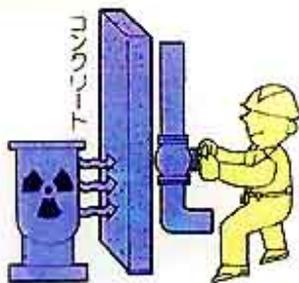


● 時間による防護

(線量当量) = (作業場所の線量当量率) × (作業時間)



● 遮蔽による防護



外部被曝を減らすための3原則

距離:

放射線源に近づかない

時間:

放射線源に近づく時間を減らす

遮蔽:

放射線源との間に遮蔽物を置く

対象による被曝の区分

放射線防護の観点から、被曝は3種類ある。

1. 職業被曝 Occupational exposure

実習や仕事上での被曝

2. 公衆被曝 Public exposure

一般公衆の実効線量限度は、 $1\text{mSv}/\text{年}$ 。

3. 医療被曝 Medical exposure

病気診断や治療のための意図的な被曝。

線量限度はない。患者介護者の被曝や研究目的のボランティア被曝も医療被曝。

職業被曝 Occupational exposure

放射線業務従事者または放射線診療従事者が、業務の過程で受ける被曝。職業被曝に対する防護の責任は、事業者と作業員自身にあり、職業被曝をする人々は被曝管理、健康管理、定期的な教育・訓練を受けることなどが義務づけられている。被曝線量に対しては、法令で線量限度が決められており、放射線業務従事者はサーベイメーターなどを装着し、線量限度を超えないようにしなければならない。

フィルムバッジ



ポケット線量計



個人用報告書 個人用報告書 個人用報告書

ご使用者名		加藤 千恵次		加藤 千恵次		加藤 千恵次		
		殿		殿		殿		
個人コード	58724656	58724656	58724656	58724656	58724656	58724656	58724656	
集計開始年月日	自05年02月01日	自05年01月01日	自05年01月01日	自04年04月01日	自04年04月01日	自04年04月01日	自04年04月01日	
集計終了年月日	至05年02月28日							
算定日	05年03月15日							
項目	使用期間 (mSv)	X件数	四半期計 (mSv)	X件数	年度計 (mSv)	X件数	年度計 (mSv)	
実効線量	0.1		0.2	00	1.8	00	1.8	
等価線量	水晶体	0.1	0.2	00	1.8	00	1.8	
	皮膚	0.1	0.2	00	1.8	00	1.8	
	腹部表面	0.1	0.2	00	1.8	00	1.8	
測定方法	放射線測定器使用		放射線測定器使用		放射線測定器使用		放射線測定器使用	
胸	モニタ名	ガラスバッジ	F S型ガラスバッジ					
	H1cm	0.1	0.2	00	1.8	00	1.8	
	H70µm	0.1	0.2	00	1.8	00	1.8	
モニタ名								
モニタ名								
H1cm								
H70µm								
2001年	1.40	4×	1.40	4×	1.40	4×	1.40	
2002年	2.80	0×	2.80	0×	2.80	0×	2.80	
2003年	2.50	0×	2.50	0×	2.50	0×	2.50	
2004年	1.80	0×	1.80	0×	1.80	0×	1.80	
2005年		×		×		×		
累積値	8.50	4×	8.50	4×	8.50	4×	8.50	

毎月、毎年の積算被ばく量 (mSv) を確認

放射線業務従事者の線量限度

男性緊急措置	250 mSv
男性実効線量限度	100 mSv／5年 (50 mSv／年)
女性	5 mSv／3月
妊娠中の腹部	2 mSv／妊娠中
一般公衆の実効線量限度	1 mSv／年

放射線被曝は、250mSv から危険。

10 mSv 以下 無害

100 mSv 以下 発癌増加は統計上なし。

(100 mSv 以下は確率的影響なし。)

100 mSv 胎児死亡の危険性あり

150 mSv 胎児奇形の危険性あり

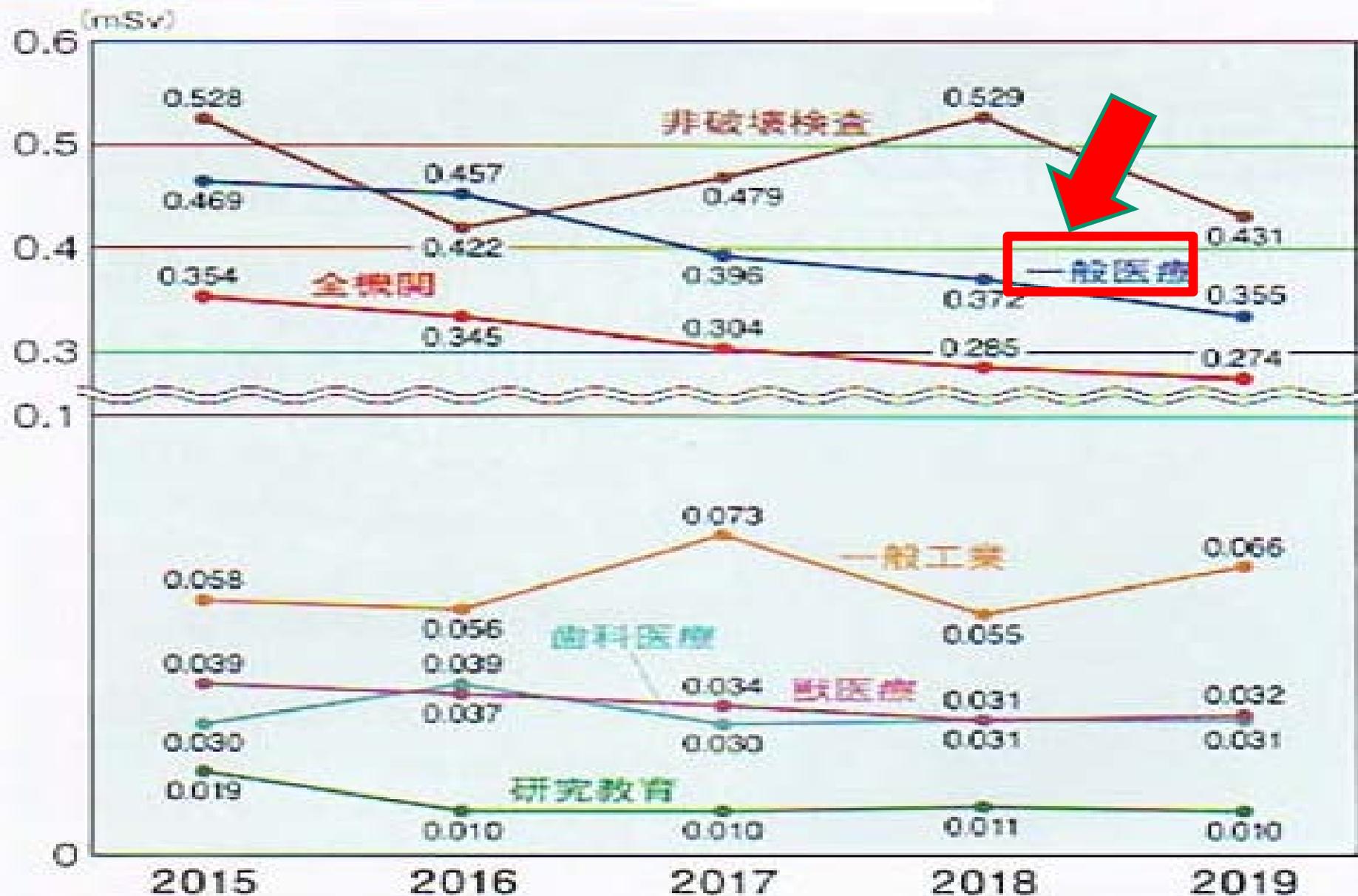
250 mSv リンパ球減少、免疫低下

(250 mSv 以上は非確率的影響あり。)

(皮膚紅斑、脱毛、白内障など)

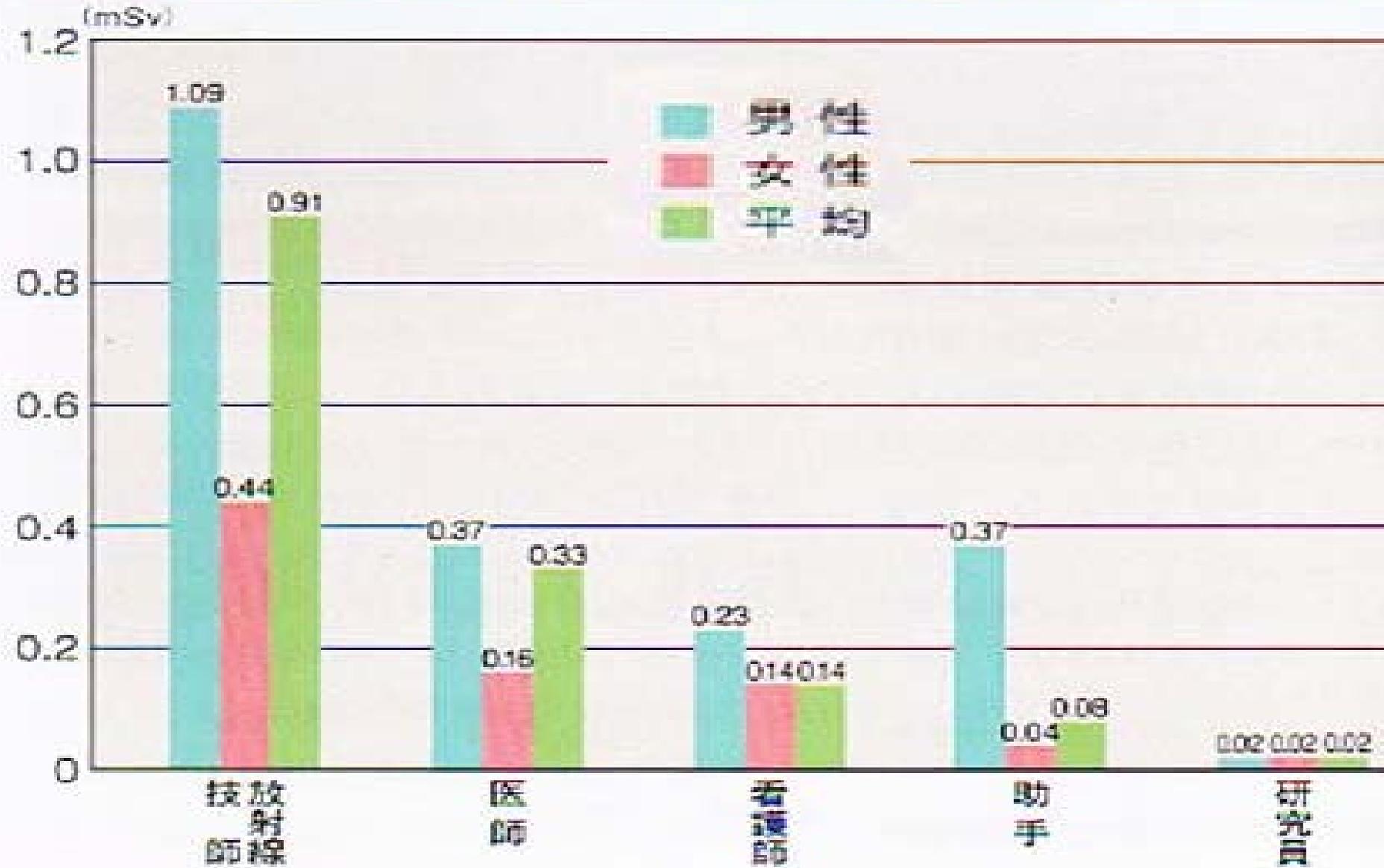
医療従事者は被ばくが多い。(減少傾向あり)

機関別年間平均実効線量



放射線技師、医師、看護師の被曝が多い

2019年度 職種別および男女別年間平均実効線量



胎児の被曝障害

受精～1週目 胚死亡 100 mSv

1週～8週目 奇形 150 mSv
(1週～8週目は器官形成期)

8週～15週 精神発達遅延 200 mSv
(8週～15週は神経組織形成期)

原爆被曝者の調査では、胎児被曝による奇形や小児癌増加は確認されていない。

放射性同位元素

RI :

Radio Isotope



ガンマ線、電子線(ベータ線)などの放射線を放出する元素。

核医学(RI)検査、核医学治療、小線源治療に用いられる。

ガンマカメラ

体内のガンマ線放出薬剤の
分布(シンチグラム)を
撮像する装置



骨シンチグラフィ

Bone scintigraphy

リン酸にガンマ線放出RIを
標識した薬剤の分布図。
骨転移に強く分布。

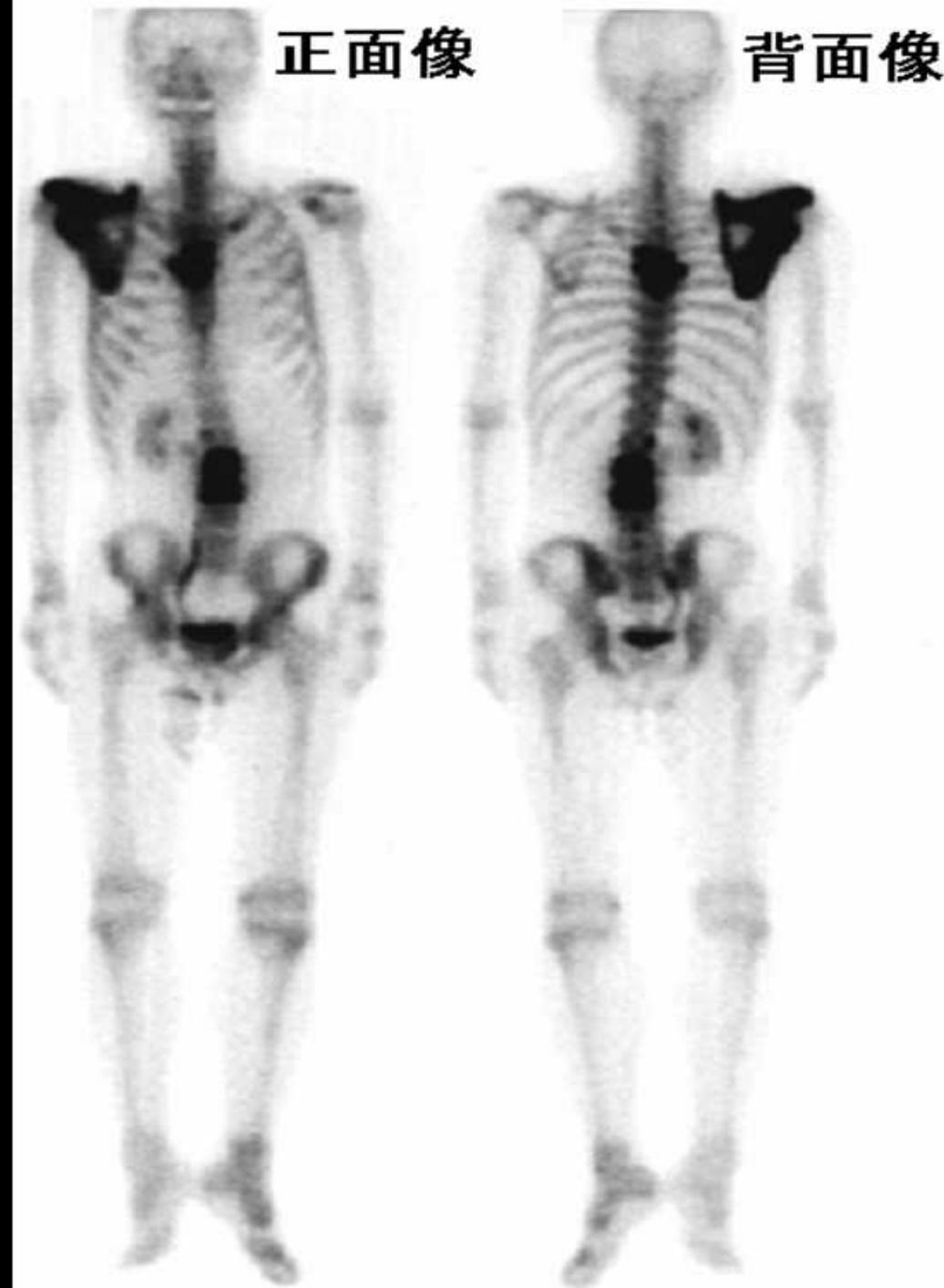
肺癌の骨転移症例。

右肩甲骨、胸椎、腰椎

Bone metastases

尿中への排泄が多いので

尿路、膀胱が描画されている。



核医学(RI)検査、核医学治療 が、
CTやX線撮影などと異なる点は、
放射性薬剤 を投与してから、
検査中 および 検査終了後も、
患者さんの体から 放射能が出ている。

検査終了後も、**尿、便、汗、呼気** に
放射性同位元素 が含まれている。



CT

**CT検査やX線撮影検査
前後における患者の
介助作業は被曝しない。
撮影中でないCT装置は
X線を出していない。**



ガンマカメラ

**RI検査前後における
患者の介助作業は
被曝する。患者から
ガンマ線が出ている。**

CT検査やX線撮影検査で、どうしても我々が患者の介助を撮影中に行わなければならない場合もある。

その場合は我々の被曝(職業被曝)を抑制するために、0.5mm厚の鉛を入れたエプロンを装着する。

CTなどのX線は、鉛1mmで半減する。
PET検査の γ 線は、鉛4mmで半減する。

^{18}F -FDG



放射性薬剤 (RI) は鉛容器で遮蔽されており、注射時も鉛ガラスによる遮蔽が行われる施設が多いが、

鉛ガラス



RI投与後の患者からガンマ線が多量に放射されていることに注意。

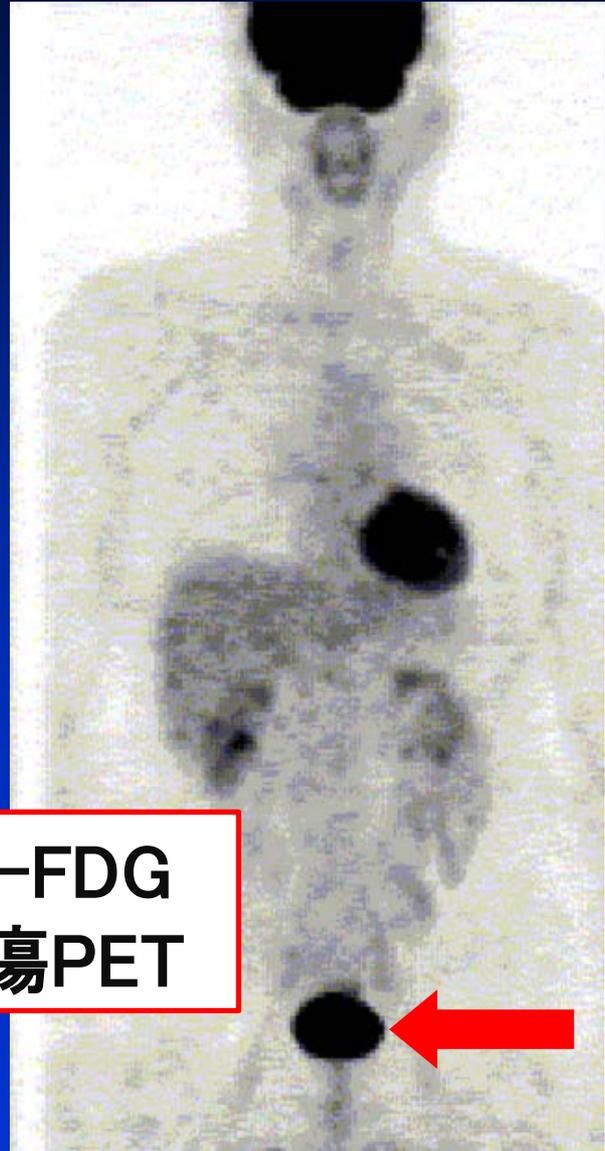
骨シンチ や PET検査を受ける患者の
RI 静脈注射作業で受ける被曝量は、

検査1回あたり、約 0.001 mSv

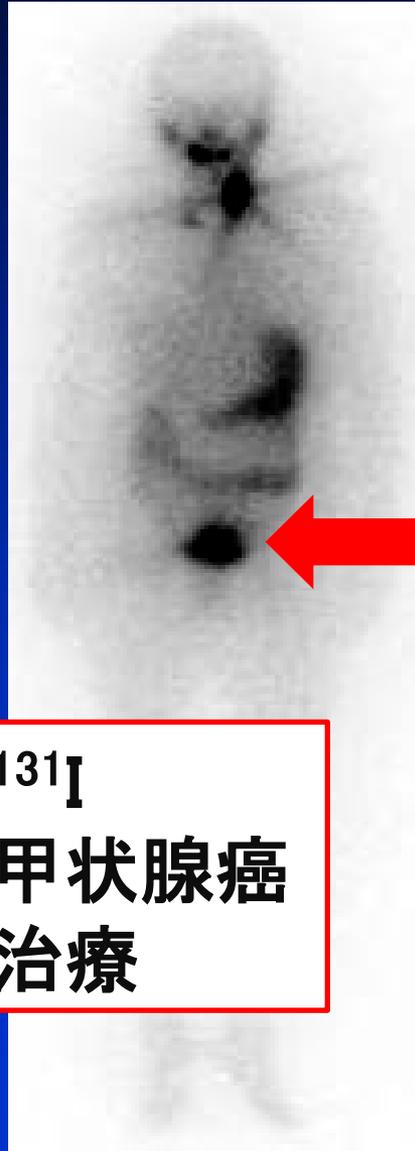
ただし、
注射漏れ、穿刺部位からの出血処置に
手間取ると、被曝量は数倍に増加する。

特に、RI 汚染した患者血液に
直接触れないように注意する。

放射性薬剤の多くは投与後に尿に排泄される。
オムツも放射能汚染物として扱われる。



^{18}F -FDG
腫瘍PET



^{131}I
甲状腺癌
治療



$^{99\text{m}}\text{Tc}$
骨シンチ

^{18}F -FDG 投与後の患者待合室

^{18}F -FDG を投与後、撮像まで

1時間の待機をしてもらう部屋。

トイレも貯留槽につながった特別な

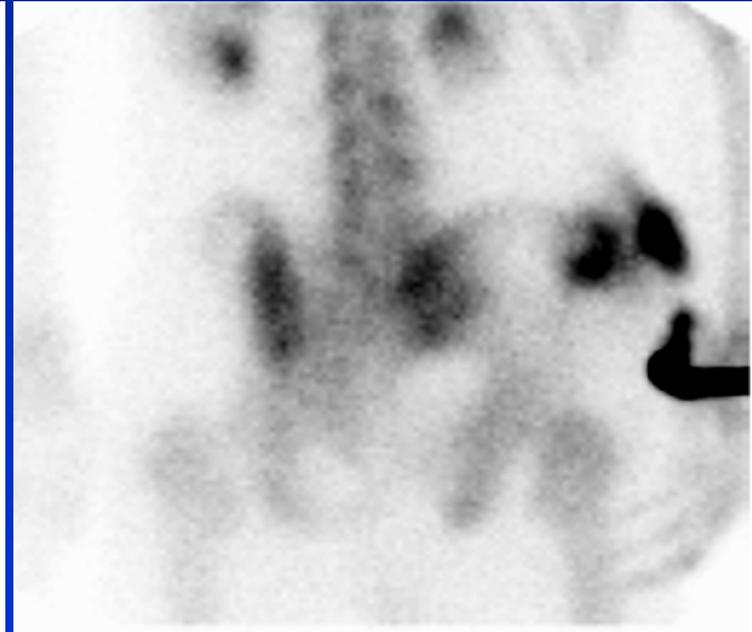
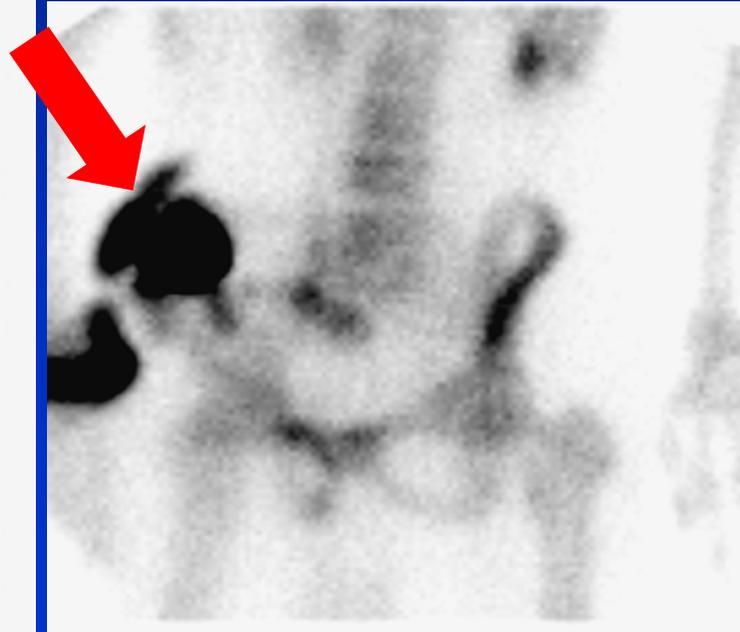
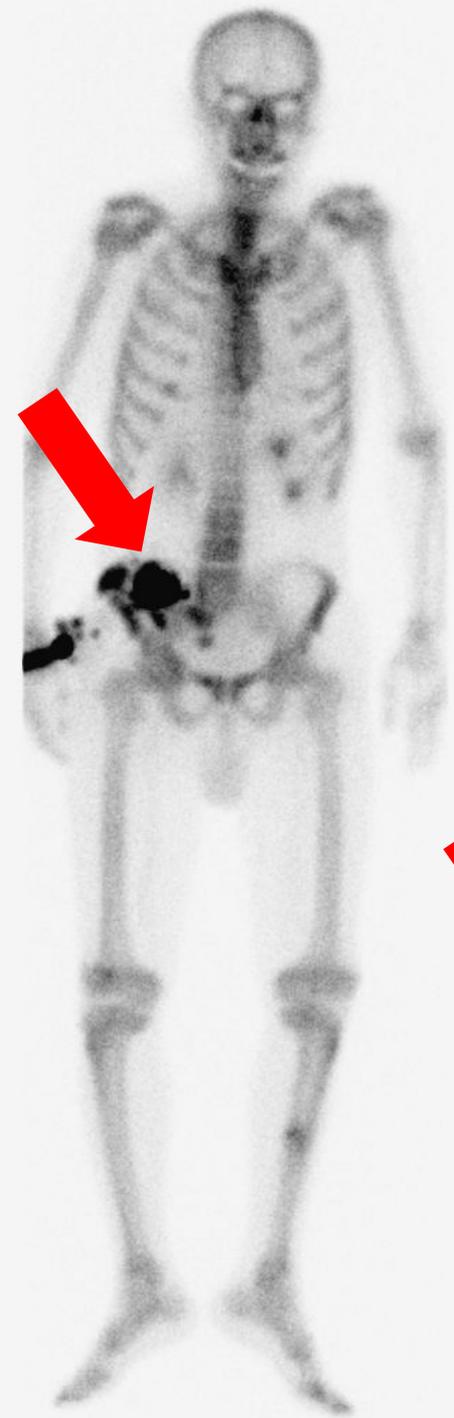
トイレを使用してもらう。



このトイレは注射した
患者さん専用です

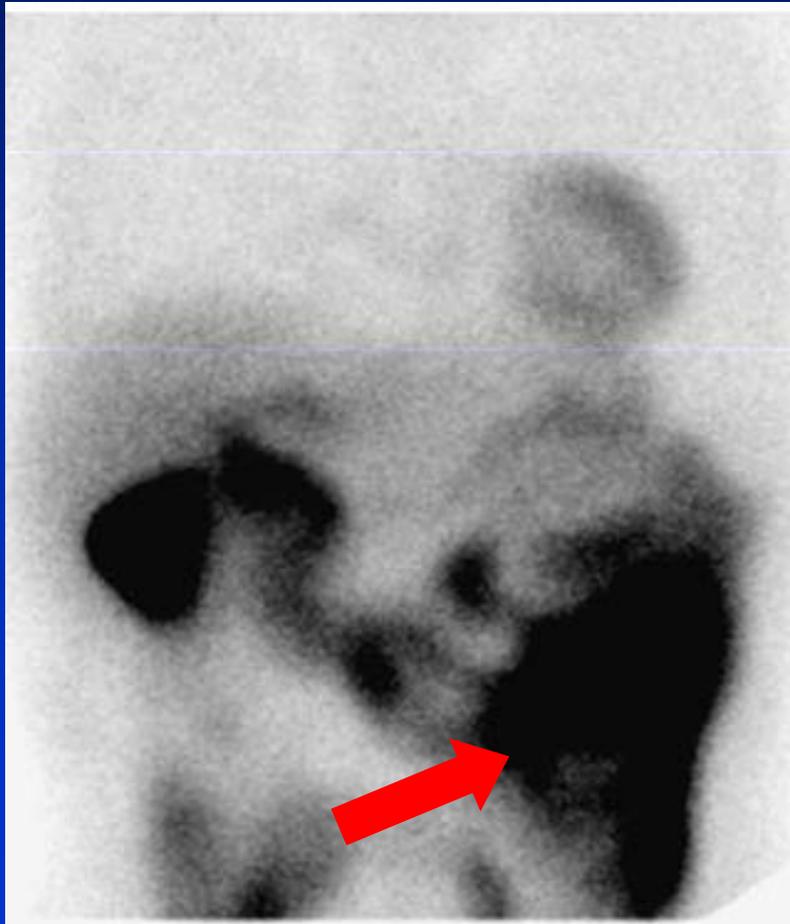


膀胱摘出術後の人工膀胱。
RI検査後、尿バッグにRIを
含む尿が貯留することに注意。

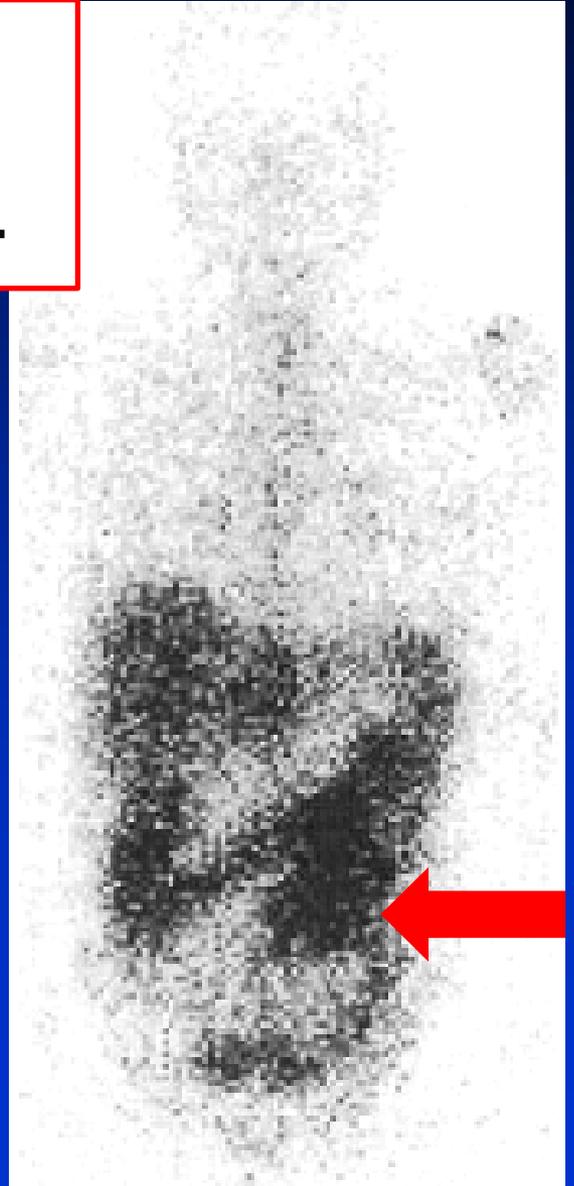


放射性薬剤の多くは投与後に便に排泄される。
オムツも放射能汚染物として扱われる。

^{99m}Tc -MIBI
心筋シンチ



^{67}Ga
(ガリウム)
腫瘍シンチ



前立腺癌骨転移患者の疼痛緩和に対する ラジウム223 (^{223}Ra) の投与治療。

商品名： **ゾーフィゴ** (2016年に承認)

^{223}Ra の物理的半減期は 11日。

アルファ線を放出し骨転移組織を消滅。

アルファ線は組織内では 0.1mmしか飛ばない。

ガンマ線を放出しないので、患者の体表面から放射能はほとんどない。

すぐ一般公衆へ退出できる。外来治療が可能。

^{223}Ra を4週間おきに静脈注射(最大6回まで)。

1回(約3~6MBq) で 68万円。

ラジウムがカルシウムと類似の性質を持ち、
骨に集積することを利用して、前立腺癌
の骨転移の疼痛緩和に効果がある。



前立腺癌 骨転移
骨シンチグラフィ
体内のリン酸の分布像



看護師の立場からみた PET 施設における 職業被ばく低減の取り組み

宮澤敬子, 高橋樹里, 望月芳和, 布袋田真大, 安斉 拓, 桑原健一郎, 渡邊博子, 川端由美子,
濱本恵子, 渡辺園美, 中村早美, 西間木昌美, 金山裕子, 三森はるみ, 宇野公一

医療法人社団清志会 西台クリニック画像診断センター
175-0082 東京都板橋区高島平 1-83-8

2005 年 11 月 7 日 受理



1日に 15~20名の PET検査の
RI 静脈注射作業で受ける被曝量は、

検査1回あたり、約 0.001 mSv

1日あたり、約 0.01~0.02 mSv

1週間あたり、約 0.05~0.1 mSv

1年あたり、約 3~4 mSv

放射線業務従事者の線量限度

女性

5 mSv/3月

妊娠中の腹部

2 mSv/妊娠中

26年 放射 国家試験 類似問題

^{18}F -FDGを静脈注射する看護師の被ばく量を算出する方法

^{18}F の実効線量率定数 ($0.14 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq}/\text{h}$) を用いる。

例えば、 200MBq の ^{18}F -FDGの静脈注射を、毎回3分間、1日20回 (= 1日1時間)、患者との距離を1mとして、3ヶ月で70日勤務した看護師の、3ヶ月間被ばく量を算出せよ。

3ヶ月間の被曝時間は 1時間 x 70 = 70 (h)
3ヶ月間の被曝線量は

$$0.14 \left(\mu \text{Sv} \cdot \text{m} \cdot \text{m} / \text{MBq} / \text{h} \right) \\ \times 200 \left(\text{MBq} \right) \times 70 \left(\text{h} \right) / 1 \left(\text{m} \right) / 1 \left(\text{m} \right) \\ = 1960 \left(\mu \text{Sv} \right) = 1.96 \left(\text{mSv} \right)$$

女性の職業被曝の線量限度
5 mSv/3月を超えていないと算出される。

被曝線量は、時間と比例する。
線源の放射能と比例する。
線源の実効線量率定数と比例する。
線源との距離の2乗と反比例する。

RI 検査を受けた患者の尿、便、吐物などを処分する作業に注意する。

ポリエチレン手袋をして、皮膚にRIが付着しないようにする。

患者から出るガンマ線を被曝するだけであれば、被曝量は非常に微量。

皮膚にRIが付着すると、被曝量が増える。
内部被曝 (RIを体内に吸収する) の危険がある。
ベータ線 (電子線) 被曝の危険あり。

RI の放射能 は 時間が経つと減衰する。

検査用の RI の半減期は短い。

^{18}F (PET検査) 110分 ガンマ線

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (骨シンチ等) 6時間 ガンマ線

治療用の RI の半減期は長い。

^{131}I (甲状腺癌など) 8日 ベータ線

^{89}Sr (骨転移) 50日 ベータ線

放射線検査による患者の被曝 (mSv)

核医学検査

骨シンチ 6 (胎児 4)

PET / CT 7 (胎児 3)

CT 7 ~ 50

血管造影 7 ~ 10 (1分で皮膚 0.5)

胃、消化管造影 3

単純X線撮影 0.1 (胸部) 0.2 (骨盤)

**医療従事者が、
放射線恐怖症（ Radiophobia ）に
ならないように、放射線や放射線
検査について正しい知識を
持つことが重要です。**

問題. (受講票に答えを記載。)

**医療従事者が被曝しないように
心掛ける点を2つ挙げよ。**

**(答えはたくさんあります。自分が大事だと思っ
たことを、2つ記述して下さい。)**

受講者からいただいた質問と回答

1. ラドンによる被曝の割合が日本では低い理由は。
ラドン(^{222}Rn)は、世界中の古い岩盤に存在するラジウムから発生する放射性元素。重いが気体である。島国の日本では偏西風のおかげで地上に留まらず太平洋上に流れるので影響が少ない。
2. RI はどんな仕組みで癌の骨転移に集積するのか。
全てのRIが骨転移に集積するわけでは無く、骨に集積し易い元素(リンやカルシウムに類似した体内分布をする元素)に放射性元素を結合させた薬剤を注射して、骨転移の画像表示を可能にする。

3. 妊娠中でなくても女性の1年の線量限度が低いのはなぜか。

卵巣内の卵子は、女性が生まれた時に既に生涯で使用するすべての卵子を持っている(約500個)。女性が被曝すると、卵子のDNAへの障害の蓄積が懸念される。(実際、高齢出産ほどダウン症の出生が多くなるのは、放射線や有害物質等の暴露による卵子のDNA損傷部位が年齢とともに増えるため。)

それに対して男性の精子は、毎日1億個以上産生され殆ど使い捨て。従って被曝したDNAを持つ精子が受精に使われることは、まず考えられない。

4. 放射線業務従事者はサーベイメータなどを装着し、線量限度を超えないようにしているとあったが、実際どれくらい超えることがあるのか。また、超えそうになった場合は、どう対処するのか。

通常 of 病院内業務では、年間1mSv以下の被曝しか受けませんが、事故時には注意が必要。

例えば、放射線照射治療中に照射室に入っていた、放射性薬剤を床にこぼした、放射性薬剤を投与した患者の血液や尿に触れたなどの事故は、生じたらすぐ上司に連絡することが重要。

現在では、PET検査の放射性薬剤の注射業務が3か月で5mSvを超えないよう管理、計算する作業が重要。超えそうな場合は実施者の交代を。

5. 女性の被曝線量限度が3か月毎になっているのは。法律(放射性同位元素等規制法)で、妊娠した女性は、妊娠期間中の被曝線量を記録する義務がある。男性のように年間被曝量だけを記録していると、それが不可能になる。従って、女性は3か月毎の被曝量を記録し、その限度を5mSvと定めている。

(実際には、男女別々の被曝台帳を作成するのは面倒なので、男女とも3か月毎の被曝記録台帳を作成している病院や研究施設がほとんどである。)

6. 放射線の説明で、1秒に放出される放射線の数と表記があるが、放射線は数えることができるのか。

放射線は2種類あり、粒子線(α 線、 β 線など)は、粒子が1秒間に測定器に入射した数を計数してベクレル(Bq)値を算出する装置がある(ガイガーカウンタ、電離箱など)。

一般的には電磁波(X線、 γ 線)で黒化するフィルム(レントゲンフィルム)と同等な仕組みのバッジを装着して、1か月毎に何mSv被曝したか測定している。

7. 被曝の3区分が述べられていたが、医療従事者が仕事の過程で受ける放射線などの医療被曝と職業被曝に明確な区別がない場合もあるのか。

実際には微妙な被曝がある。

例えば妊娠中の医療従事者の胎児の被曝は、公衆被曝と決められている。これは1mSvを超えることが無いように、妊娠中の腹部被曝量の線量限度が法律で定められている。

放射線による医療を受けた妊婦の胎児の被曝は、医療被曝である。これは1mSvを超える可能性があり、超えると公衆被曝では違反になるから医療被曝。(妊婦を治療しないと胎児も死ぬと考えれば、患者の胎児の間接的な被曝も医療被曝と解釈できる)

8. 胎児の被曝障害のところで「危険あり」とされているが、どのくらいの割合で起こり得るのか。

国際放射線防護委員会 (ICRP)

(International Commission on Radiological Protection)
という世界中の放射線防護の規定を定めている機関が
広島、長崎原爆、チェルノブイリ原発事故後の疫学調査
で、胎児は100mSv未満の被曝であれば影響は出ないと報告している。胎児の医療被曝は100mSv以下にするべきと勧告している。

100mSv以上の胎児被曝があれば奇形、発癌などの発症確率は被曝量に比例して上がるとされている。

250mSv以上の被曝は、大人も小児もリンパ球が減少し感染症等の危険が出現する。

9. 我々は毎年 3~4mSv の被曝を受けると記載されていたが、普段の生活する場に放射線源はあるか。

最大の自然放射能の発生源は地球の内部、岩盤。大理石などに含まれるラジウム(^{226}Ra)から放射線が出る。また、ラジウムが放射性ガスのラドン(^{222}Rn)を出す。欧米では大理石の建築物はラドン被曝を避けるため頻繁な換気を促している。

太陽、宇宙から地上に来る放射線も多い。

食品にはカリウムが多く含まれる。ほとんどは放射能のないカリウム39(^{39}K)だが、0.01%は放射能をもつカリウム40(^{40}K)。したがってすべての食品、生物、我々の体内にも放射性カリウムが存在する。

10. 検査終了後、尿などに放射性同意元素が含まれているとあったが、放射性同位元素は徐々に排出されていくのに、なぜ1年で被曝量の限界値が定められているのか。

尿にRIが蓄積されるのはRI検査を受けた患者のみ。これは医療被曝なので、医療被曝の制限はない。

放射線の被曝線量限度を定めている法律は放射性同位元素等規制法（RI規制法）であるが、この法律はRIだけでなく、X線などRIと無関係の放射線の規制もすべて定めている。

したがって、放射線のもとがRIであるか否かは無関係に、被曝線量限度が法律で規制されている。

11. 原爆被害者の調査で、胎児被曝による奇形や小児癌の増加が確認されなかったのはなぜか。

奇形出産が懸念される被曝を受けた妊婦もいたと考えるが、その場合は、妊婦も胎児も死亡したと推測される。死亡者が妊婦であったかどうかは被爆直後の状況では調査困難であったと思われる。

○ (死体の損傷が激しかった。)

被爆後に妊婦が生存し出産できた場合(250mSv以下の被曝)は、胎児被曝による奇形や小児癌の増加は確認されなかった、と解釈すれば当然の調査結果であると納得できる。

12. 医療従事者の被ばく線量が減少していることが示されていたが、これは技術の進歩により検出精度が上がったのか、安全に対する意識が向上したのか、他にも何か理由があるのか。

医療従事者の被曝が減少している第1の理由は、医療従事者に対する放射線被曝、防護の教育が徹底してきたため。

数年前から放射線に関する法律や条例が厳しくなり病院内での放射線防護講習受講を医療従事者に義務化した。

放射線装置や防護装置の技術的改良、進歩も放射線使用者の被曝減少に寄与している。

13. 日本で医療被曝が圧倒的に多いこと、ラドンによる被曝が抑えられていることの理由はあるのか。

日本の医療被曝が多い理由は、放射線を用いた検査料金が安いため。

例えば、CT検査は約1万円(保険3割負担で)。

米国では、約10万円(米国には公的保険なし)。

医療被曝の高いCT検査が日本では非常に多い。

ラドンによる被曝が日本で少ないのは、偏西風のためで、医療とは無関係だが、ラドン被曝の少なさが、医療被曝の多さを相殺しているという、日本の放射線科医から見ると、都合の良い事実はある。

14. 患者さんに放射性薬剤を投与し行う検査（骨シンチグラフィなど）で患者さんから放射線が出ているとあったが、患者さんの体の放射線はすぐに抜けるのだろうか。

骨シンチグラフィに使用する放射性薬剤は、リン酸（骨に集積する）とテクネチウムという放射性同位元素（ ^{99m}Tc ）を結合させたものを静脈注射する。半分程度は、数時間で尿に排泄される。骨に吸着したテクネチウムは患者体内に残るが、テクネチウムの放射能は6時間で半減するので、2、3日で放射能は、ほとんど消滅する。骨シンチグラフィによる医療被曝はCTの半分程度。

15. 注射後すぐ患者さんの体から γ 線が出るため鉛ガラス越しに注射するが、注射器も遮蔽剤でできているのか。

タングステンという金属(鉛より重い)と鉛ガラスでできたRI注射用の注射器がある。医療従事者の職業被曝低減に寄与する。

16. 原爆被害者の調査で、なぜ奇形や小児がんの増加が確認されなかったのか。

奇形や小児癌が増加する被曝を受けた被爆者は被爆死したためと考えます。

17. 医療従事者が鉛エプロンをつけたり、 ^{18}F -FDGを投与する検査では患者さんが隔離された部屋で待機することになると知って、検査を受ける患者さんは自分の健康は大丈夫なのかと不安に思うのではないかと思った。そのような不安を取り除くために説明など、何か対策は取られているのか。

^{18}F -FDG PET検査を受ける患者さんには、検査の説明、医療被曝の程度、検査前に隔離待期をお願いする理由など、文書を添えて口頭で説明し、承諾を得て署名をしていただいた患者さんにだけ、検査を実施します。当然、検査を拒否する患者さんもいますが、その場合は検査を実施しません。

18. 2011年の東日本大震災で問題になった原発事故の被曝で、野菜などの生産地が原発に近いものだと、その野菜から被曝する恐れがあると聞いたことがあるが、これは事実か。

原子力発電所が破壊されると、ウラン235(^{235}U)の分裂RIのストロンチウム90 (^{90}Sr) (半減期30年)、セシウム137 (^{137}Cs) (半減期30年)、ヨード131 (^{131}I) (半減期8日) など、人体や他の生物も吸収し易いRIが原発の近郊と上空に散布される。これらは水や雨に溶けやすく、原発の近郊または遠方でも、事故時に雨が降っていた地域の土壌にはRI汚染が生じた。そのため表面土壌の除去作業が数年かけて実施された。現在は、それらの区域の農地の土壌内RIは十分に減衰が確認され、そこでの農産物に自然放射能を超える値は検出されない。

意外と知られていない重要な事実

原発事故や原爆被弾があったら、数日間は、絶対に雨にあたらないようにしましょう。事故時に雨が降っていた地域には行かないように。その雨には、セシウム137、ストロンチウム90、ヨード131 など、危険な放射性同位元素が多量に含まれています（「黒い雨」と呼ばれる）。

雨にあたったら、速やかに衣服の交換、シャワー、うがいなどにより、体内にRIが入らないようにする。体内に入ったRIは30年以上、放射能を出し続ける。

福島原発事故時は、残念だが雨、雪が降っていた。