

(29) PET 検査における被ばく

赤羽 恵一

放医研 重粒子医科学センター

医療放射線防護研究室

1. はじめに

PET は高い診断能と患者に対する非侵襲性、そして装置の高性能化により、普及してきており、一般公衆に対する認知度も高くなってきた。しかし、医療従事者及び被検者が、必ずしもPETの特徴と被ばくに関する知識を持っているわけではない。そこで、放射線防護の観点から、PET 検査時の被ばく線量に関する情報を紹介する。

2. 被ばく線量評価方法

内部被ばく線量評価計算モデルに従い、投与後の体内動態計算（線源臓器の積分放射能）と、線源臓器から標的臓器に与えられる吸収線量計算（SEE）により、等価線量及び実効線量が評価される。ICRP Publ. 53 ”Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals” と 80 “Radiation Dose to Patients form Radiopharmaceuticals, Addendum 2 to ICRP Publication 53, Also includes Addendum 1 to ICRP Publication 72” に、核医学の患者の被ばく線量の計算モデル及び実効線量換算係数が示されている。 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F についても、換算係数が与えられている。

表 1. FDG Biokinetic Data (ICRP Publ. 53)

Organ (S)	F_s	T	a	A_s/A_0
Total body (excluding bladder contents)	1.0	12 min	0.075	2.13 hr
		1.5 hr	0.225	
		∞	0.7	
Brain	0.06	8 min	-1.0	8.9 min
		∞	1.0	
Heart wall	0.04	8 min	-1.0	5.9 min
		∞	1.0	
Kidneys	0.30			1.45 min
Bladder contents	0.30			19 min

表 2. ^{18}F による実効線量換算係数 (ICRP Publ. 53, 80)

実効線量 (mSv/MBq)

種類	成人	15歳	10歳	5歳	1歳
フッ化物	0.027	0.034	0.052	0.086	0.17
FDG (ICRP Publ.53)	0.027	0.032	0.047	0.073	0.13
FDG (ICRP Publ.80)	0.019	0.025	0.036	0.05	0.095

3. PET の被ばく線量

ICRP Publ. 80 及び UNSCEAR 2000 に示されている数値を下に示す。

表 3. F-18 FDG 投与時の被ばく線量換算係数 (Publ. 80)

臓器	成人	15歳	10歳	5歳	1歳
赤色髄 (mGy/MBq)	0.011	0.014	0.022	0.032	0.061
膀胱壁 (mGy/MBq)	0.16	0.21	0.28	0.32	0.59
実効線量 (mSv/MBq)	0.019	0.025	0.036	0.05	0.095

表 4. F-18 FDG 投与時の被ばく線量 (185MBq 投与時: Publ. 80)

臓器	成人	15歳	10歳	5歳	1歳
赤色髄 (mGy)	2.0	2.6	4.1	5.9	11
膀胱壁 (mGy)	30	39	52	59	110
実効線量 (mSv)	3.5	4.6	6.7	9.3	18

表 5. PET 診断による代表的実効線量 (UNSCEAR 2000: Administration of Radioactive Substances Advisory Committee. Notes for guidance on the clinical administration of radiopharmaceuticals and use of sealed radioactive sources. NRPB, Chilton (1998).)

放射性核種	化学形	検査	投与量(MBq)	実効線量(mSv)	子宮線量(mGy)
¹¹ C	L-メチル-メチオニン	脳腫瘍撮像	400	2	1
¹¹ C	L-メチル-メチオニン	副甲状腺撮像	400	2	1
¹³ N	アンモニア	心筋血流量撮像	550	2	1
¹⁵ O	水(ボーラス)	脳血流撮像	2000	2	1
¹⁵ O	水(ボーラス)	心筋血流量撮像	2000	2	1
¹⁸ F	FDG	腫瘍撮像	400	10	7
¹⁸ F	FDG	心筋撮像	400	10	7
¹⁸ F	フッ化物	骨撮像	250	7	5

4. ガイドライン等

PET に関する国内のガイドラインが幾つか出されている。

○院内製造された FDG を用いて PET 検査を行うためのガイドライン

日本核医学会 (2001 年)

○FDG-PET がん検診ガイドライン

日本核医学会・臨床 PET 推進会議編 (2004 年)

○院内製造された FDG を用いた PET 検査を行うためのガイドライン (第 2 版)

日本核医学会 (2005 年)

○FDG-PET 検査における安全確保に関するガイドライン (2005 年)

平成 16 年度 厚生労働省研究費補助金 医療技術評価総合研究事業:

PET 検査施設における放射線安全の確保に関する研究班編 (2005 年)

例えば、「FDG-PET がん検診ガイドライン (2004)」では、「1.3 被曝管理について」で受診者の被ばくに関し、

A. 受診者の被曝

- FDG-PET による被曝以外に、トランスミッションスキャン、PET/CT 装置の CT、あるいは PET 検査と組み合わされた胸部 CT による被曝など、検診一回あたりの合計被曝線量、またその被曝による確率的影響（リスク）をインフォームド・コンセントの際の説明内容に含めること。
- FDG 投与量は必要最低限とし、受診者の無用な被曝をさける。
- 被曝線量や、検査後の家族への被曝の影響などを事前に説明しておく。

と述べられている。

「院内製造された FDG を用いた PET 検査を行うためのガイドライン（第 2 版）」には、投与基準が「診断上の有益性が被ばくによる不利益を上回ると判断される場合に投与すること。また投与量は 5.6 に定める基準に従い、必要最小量とする」とされ

(1) 原則禁忌

- 一般状態が極度に悪い患者には投与しないこと。

(2) 妊婦への投与

- 妊婦または妊娠している可能性のある女性および授乳中の女性には、原則として投与しないことが望ましい。診断上の有益性が被ばくによる不利益を上回ると判断される場合のみ投与すること。

(3) 高齢者への投与

- 一般に高齢者では生理機能が低下しているので、患者の状態を十分に観察しながら投与すること。

(4) 小児への投与

- 診断上の有益性が被ばくによる不利益を上回ると判断される場合のみ慎重に投与すること

としている。

「FDG-PET 検査における安全確保に関するガイドライン（2005 年）」の「5.1 FDG-PET 検査に関する標準的な患者の吸収線量、実効線量」には、FDG を成人に 185MBq (5mCi) 投与した時の実効線量は 3.5mSv、⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 線源通常トランスミッションスキャンは 0.25mSv 程度、PET-CT における吸収補正用 X 線 CT 撮像は 1.4~3.5mSv（メーカー提供データ）、画像重ね合わせ用高画質 CT の広範囲撮影で 10mSv 以上になる可能性があり、これらの数値を参考にして必要最小限の被ばくにとどめるよう留意する必要があることが述べられている。

被ばく線量を考慮する例として、Publ. 80 のデータに基づく FDG 投与時の投与量と年齢の依存性を示す。

表 6. F-18 FDG 投与時の実効線量計算：投与量固定

投与量	成人	15歳	10歳	5歳	1歳
185MBq (5mCi)	3.5	4.6	6.7	9.3	18
444MBq (12mCi)	8.4	11	16	22	42

表 7. F-18 FDG 投与時の実効線量計算：体重に応じて投与量を調整

		成人 70kg	15歳 56.8kg	10歳 33.2kg	5歳 19.8kg	1歳 9.72kg
投与量(MBq)	3MBq/kg	210	170.4	99.6	59.4	29.16
	7MBq/kg	490	397.6	232.4	138.6	68.04
実効線量(mSv)	3MBq/kg	3.99	4.26	3.59	2.97	2.77
	7MBq/kg	9.31	9.94	8.37	6.93	6.47

5. 被ばくの実態

放医研の核医学実態調査（2004 年）では、調査対象の PET 施設数 55 中、回答 30 施設で、使用核種は ¹⁸F

が最も多く、¹⁵O、¹³N、¹¹C と続いていた。同一核種でも、投与放射能の値には患者により差があり、患者は幼児から高齢者まで、幅広い年齢層にわたっていた。

6. 終わりに

内部被ばく線量評価には大きな不確かさが含まれている。また、投与量も患者により差があり、半減期の長さも実際に体内に投与される放射能の量に影響を与えている。医療従事者は平均的な被ばく線量の値と、その幅・不確かさを踏まえた上で、患者及び自分自身の防護を考えていくことが大切であろう。

参考文献・URL

ICRP

Publication 53: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, 53, Annals of the ICRP Volume 18/1-4, 1988

Publication 80: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, 80, Annals of the ICRP Volume 28/3, 2000

・日本核医学会

PET 検査 Q&A

<http://www.jsnm.org/announcement/PETQ&A1.pdf>

FDG-PET がん検診ガイドライン

http://www.jsnm.org/report/FDG-PET_gaidorain2004_part3.pdf

院内製造された FDG を用いて PET 検査を行うためのガイドライン

<http://www.jsnm.org/report/gaidoline.pdf>

院内製造された FDG を用いた PET 検査を行うためのガイドライン (第 2 版)

<http://www.jsnm.org/cgi-bin/select.cgi?file=06020602&filetype=2>

・欧州連合

Radiation Protection 118: Referral guidelines for imaging

http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/118_en.pdf

・日本医学放射線学会

FDG-PET 検査における安全確保に関するガイドライン

http://www.radiology.or.jp/docs_hm/FDGPETguideline.pdf