
PET検査に伴う患者、介護者および医療従事者の
被ばく管理に関する基礎的検討

1 6 5 9 1 2 2 8

平成16年度～平成17年度科学研究費補助金

(基盤研究C) 研究成果報告書



平成18年3月

研究代表者 日下部 きよ子

(東京女子医科大学 医学部 教授)



〈 は し が き 〉

研 究 組 織

研究代表者 : 日下部 きよ子 (東京女子医科大学大学 医学部 教授)
研究分担者 : 近藤 千里 (東京女子医科大学大学 医学部 助手)
研究分担者 : 百瀬 満 (東京女子医科大学大学 医学部 助手)

交 付 決 定 額 (配分額) (金額単位: 千円)

	直 接 経 費	間 接 経 費	合 計
平成 16 年度	1, 6 0 0		1, 6 0 0
平成 17 年度	1, 1 0 0		1, 1 0 0
平成 年度			
平成 年度			
平成 年度			
総 計	2, 7 0 0		2, 7 0 0

研 究 発 表

(1) 学会誌等 (発表者名、テーマ等、学会誌名、巻号、年月日)

- ・ 日下部きよ子: PET とがん検診 身体の科学編集部, 日本評論社: 246 12-13 (2006)
- ・ 日下部きよ子: 「PET 検査における放射線管理」2) P E T 検査における被ばく管理, Isotope News 第 4 号 (2006)
- ・ 日下部きよ子, 牧正子: 良性内分泌外科疾患の治療成績「バセドウ病のアイソトープ治療成績」内分泌外科 第 23 刊 1 号 13-17 (2006)
- ・ 日下部きよ子: 医療人として知っておくべき被ばくの知識 6. PET 診療における被ばくと管理, Medical View 社 第 22 刊 2 号 194-199 (2006)
- ・ 日下部きよ子: 放射性医薬品と薬剤業務 PET を中心に, 「月間薬事」(2006)
- ・ 日下部きよ子: 「患者および医療者の被ばくの知識」薬事 第 48 29-32 号 (2006)
- ・ 日下部きよ子: 新医療インタビュー PET の今、これからの課題「放射線機器である P E T に求められる適正利用と健全な発展」月刊新医療, 第 3 号 48-50 (2006)
- ・ 日下部きよ子: 至誠会創立八十周年に寄せて 一この十年間の思い出, 社団法人至誠会十年史 (2006)
- ・ Yaichiro Hashimoto :Accuracy of PET for Diagnosis of Solid Pulmonary Lesions with ¹⁸F-FDG Uptake Below the Standardized Uptake Value of 2.5 . The Journal of Nuclear

Medicine (2006)

- ・日下部きよ子：RI 内用療法 ・アイソトープ治療 放射性ヨードによるパセドウ病と甲状腺癌の治療、ラジオロジー (2005)
- ・日下部きよ子：3. 甲状腺疾患 8) 放射性ヨード療法 「医学の世界」 (2005)
- ・日下部きよ子：放射線医薬品副作用事例調査報告第 26 報、核医学、42、(2005)
- ・日下部きよ子：PET 施設での放射線被ばく管理、新医療、3、(2005)
- ・森 豊、日下部きよ子：甲状腺癌およびパセドウ病の放射性ヨード治療におけるガイドライン、核医学、42、(2005)
- ・日下部きよ子：放射性医薬品副作用事例調査報告 26 報、核医学、42、(2005)
- ・日下部きよ子：医療放射線分野における法令整備等を含めた管理体制に関する研究、厚生労働科学研究費補助金医療安全医療技術評価総合研究事業報告書 (2005)
- ・日下部きよ子：アイソトープ治療 放射性ヨードによるパセドウ病と甲状腺癌の治療、ラジオロジー、(2005)
- ・Tahiro Okamoto: Probability of Axillary Lymph Node Metastasis when Sentinel Lymph Node biopsy is Negative in Women with Clinically Node Negative Breast Cancer : A Bayesian Approach. Breast cancer (2005)
- ・日下部きよ子：核医学における被ばくと防護、Radiology Frontier、7、(2004)
- ・日下部きよ子：放射線医薬品副作用事例調査報告第 25 報、核医学、41、(2004)
- ・Chisato Kondo Myocardial perfusion imaging in pediatric cardiology Annals of Nuclear Medicine Vol.18 No. 7 (2004) 551-561
- ・日下部きよ子、横山邦彦、御前隆、厚生労働省班研究、研究課題 13-17 「高精度小線源治療の開発及び評価に関する研究」非密封 RI 治療 甲状腺癌の放射性ヨウ素療法、研究報告書、(2004)

(2) 口頭発表(発表者名、テーマ名、学会等名、年月日)

- ・日下部きよ子：装置開発、今後の展開と期待」臨床核医学の立場から、平成 17 年度次世代 PET 装置開発研究報告会 放射線医学研究所 2006 3 月
- ・日下部きよ子：**教育講演** 放射線診断における被ばくと安全管理、第 14 回関東脳 PET/SPECT 研究会 2006 3 月
- ・日下部きよ子：**教育講演** 甲状腺癌の放射性ヨード療法、放射線治療談話会 2006 4 月
- ・日下部きよ子：放射性同位元素の取り扱い、及び PET に係わる医療従事者の被ばく管理、日本核医学会主催臨時 PET 研修セミナー、2005 1 月
- ・日下部きよ子：被ばく管理 臨時 PET 研修セミナー **教育講演** I. 基礎・安全管理 日本核医学会 2005 1 月
- ・日下部きよ子：**教育講演** 放射線に関する最近の動向 国立病院機構平成 16 年度放射

線防護研修会 2005 3月

- ・ 日下部きよ子：**教育講演** 甲状腺分化癌のR I内用療法 第64回日本医学放射線学会 2005 4月
- ・ 日下部きよ子：がん診断の新兵器“PET”（ポジトロン断層画像）荒川区医師会 2005 4月
- ・ 日下部きよ子：**教育講演** 放射線の安全管理 放射性同位元素の取り扱い、及びPET検査に係わる医療従事者の被ばく管理、日本核医学会春季合同セミナー 2005 5月
- ・ 日下部きよ子：**シンポジウム** 甲状腺癌における放射性ヨード療法 ー我が国のエビデンス作成に向けてー 第38回 腫瘍・免疫核医学研究会 2005 7月
- ・ 日下部きよ子：市民公開講座 がん診断と治療におけるPETの役割 第45回日本核医学会総会 2005 9月
- ・ 日下部きよ子：核医学・PET診療における適正な安全管理に向けて **シンポジウム**「我が国に於ける課題と対策」1. 問題提起 第45回 日本核医学会総会 2005 11月
- ・ 日下部きよ子：「PET 検査における被ばく管理」、日本核医学会第4回春季合同セミナー、2004 5月
- ・ 日下部きよ子：「放射線内用療法およびPET検査等の被ばく・放射線防護」、第25回千葉ベイシティカンファランス、2004 7月
- ・ 日下部きよ子：「バセドウ病のI-131治療のガイドライン」、放射性ヨード療法シンポジウム日本アイソトープ協会主催、2004 9月
- ・ 日下部きよ子：「PETでわかる新しいがん診断」、社団法人至誠会 公開健康講座、2004 9月
- ・ 日下部きよ子：甲状腺癌の診断から治療まで、第37回甲状腺外科研究会、2004 10月
- ・ 日下部きよ子：最先端画像“PET”、第6回世田谷区目黒区臨床消火器病研究会、2004 10月
- ・ 日下部きよ子：甲状腺外科検討会第1回**教育セミナー** 甲状腺分化癌の診断から治療まで 画像診断と放射線治療 放射性内用療法 2004 10月
- ・ 日下部きよ子：甲状腺癌のI-131大量療法における長期経過観察のデータ解析中間報告、第37回腫瘍・免疫核医学研究会、2004 11月
- ・ 日下部きよ子：核医学診療における放射線防護、第44回日本核医学会総会、2004 11月

(3) 出版物 (著者名、署名、出版者名、年月日)

- ・ 臨床に役立つ 内分泌疾患診療マニュアル、高野加寿恵、紫芝良昌、医学の世界社、2006
- ・ 心臓核医学検査ガイドライン、Circulation Journal 2005
- ・ 核医学用語辞典、放射線診療研究会、医薬ジャーナル 2004
- ・ 甲状腺疾患 治療マニュアル、高見博、森昌朋、日下部きよ子、南江堂 2004
- ・ 放射線防護手引き 放射線被ばくと防護核医学における被ばくと防護、日下部きよ子 2004

(1) 学会誌等 (発表者名、テーマ等、学会誌名、巻号、年月日)

分担研究者 近藤千里

・近藤千里: 小児で心筋シンチグラフィーはどのような場合に施行したらいいのでしょうか?
また、核種選択はどのようにするのでしょうか?

小児内科 2006;37(12):1721-1725

・近藤千里、立石 実: 先天性心疾患の3次元画像診断

Annual Review 循環器 2006 中外医学社 p316-321

・玉木長良、日下部きよ子、久保敦司、隈崎達夫、島本和明、千田彰一、利波紀久、西村恒彦、松崎益徳、丸山幸夫、山崎純一、石田良雄、岩藤泰慶、近藤千里、中嶋憲一、中田智明、橋本 順、森田浩一、矢尾板裕幸、山科昌平、山本 健:

循環器病の診断と治療に関するガイドライン 2003-2004 年度合同研究班報告

心臓核医学検査ガイドライン Circ J 2005;69 (Suppl. IV):1125-1202

・百瀬 満、近藤千里: 虚血性心疾患: FDG-PET による心筋バイアビリティの評価

臨床医 2005;31:1590-1596

・森 慎一郎、遠藤真弘、近藤千里: 2 5 6 列 CT が可能とする医療 4 次元診断から 4 次元治療へ 新医療 2005 年 10 月号 p63-65

・Hashimoto Y, Tsujikawa T, Kondo C, Maki M, Momose M, Nagai A, Ohnuki T, Nishikawa T, Kusakabe K. Accuracy of positron emission tomography for diagnosis of solid pulmonary lesions with ¹⁸F-fluorodeoxyglucose uptake below the standardized uptake value of 2.5. *J Nucl Med* 2006;47:426-431

・Kondo C, Mori S, Endo M, Kusakabe K, Suzuki N, Hattori A, Kusakabe M. Real-time volumetric imaging of human heart without electrocardiographic gating by 256-detector row computed tomography: initial experience. *J Comput Assist Tomogr* 2005;29(5):694-698.

・Mori S, Kondo C, Suzuki N, Nakajima H, Kusakabe M, Endo M. Volumetric coronary angiography using the 256-detector row computed tomography scanner: comparison of in vivo and in vitro Imaging with porcine models. *Acta Radiol* 2006;47:186-191.

・Mori S, Kondo C, Suzuki N, Yamashita H, Hattori A, Kusakabe M, Endo M. Volumetric cine imaging for cardiovascular circulation using prototype 256-detector row computed tomography scanner (4-dimensional computed tomography). *J Comput Assist Tomogr* 2005;29(1):26-30.

・Kondo C. Myocardial perfusion imaging in pediatric cardiology. *Ann Nucl Med* 2004;18(7):551-561.

(2) 口頭発表(発表者名、テーマ名、学会等名、年月日)

分担研究者 近藤千里

- ・近藤千里:「256列 CT を用いた実時間立体 CT による心臓の評価」、第16回 日本心血管画像動態研究会 ランチョンセミナー 2006.1.20-21 大阪 第16回 日本心血管画像動態研究会抄録集 p58
- ・近藤千里:「小児冠動脈障害の核医学による評価」、第14回日本心臓核医学会総会・学術大会 ランチョンセミナー 2005.11.13 東京 心臓核医学 2005;7(3):14
- ・百瀬 満、金谷信一、福原幸規、金谷和子、水戸信彦、近藤千里、日下部きよ子、三橋紀夫:球状ファントムを用いた PET 癌検出能のシミュレーション、第45回日本核医学会総会 2005.11.11-13 東京 核医学42巻3号297頁 2005.9
- ・増淵充世、近藤千里、百瀬 満、日下部きよ子、笠貫 宏:薬物負荷 T1 心筋シンチにおける一過性左室拡大の規定因子、核医学42巻3号298頁 2005.9
- ・渋谷清貴、西井規子、中島崇智、百瀬 満、近藤千里、桑鶴良平、三橋紀夫、日下部きよ子、笠貫 宏:肥大型心筋症における T1-BMIPP dual SPECT の血流代謝パターンと心臓 MRI 遅延造影所見との対比、核医学42巻3号299頁 2005.9
- ・多田祐輔、近藤千里、板橋道朗、小川真平、亀岡信悟、百瀬 満、日下部きよ子:大腸送気後 PET/CT による大腸癌術前病変診断の試み、核医学42巻3号333頁 2005.9
- ・福島賢慈、百瀬 満、近藤千里、日下部きよ子、三橋紀夫、笠貫 宏:高血圧性心不全ラット摘出灌流心における Tc-99m sestamibi の心筋内挙動 核医学42巻3号335頁 2005.9
- ・近藤千里、中西敏雄、百瀬 満、日下部きよ子:進行性筋ジストロフィーにおけるカルベジロール、ACE 阻害剤併用療法:QGS による評価 核医学42巻3号336頁 2005.9
- ・辻川哲也、百瀬 満、福島賢慈、近藤千里、日下部きよ子、笠貫 宏、三橋紀夫:BMIPP/T12核種同時 SPECT による非心臓手術周術期の心事故リスク評価、核医学42巻3号366頁 2005.9
- ・中島崇智、渋谷清貴、西井規子、作田晶子、百瀬 満、近藤千里、桑鶴良平、三橋紀夫、日下部きよ子、笠貫 宏: $^{201}\text{Tl}+^{123}\text{I}$ -BMIPP 心筋 SPECT の集積低下と造影 MRI 遅延造影像との比較—不整脈と虚血性心疾患の検討—、核医学42巻3号367頁 2005.9
- ・西井規子、中島崇智、渋谷清貴、町田治彦、百瀬 満、近藤千里、木村文子、桑鶴良平、笠貫 宏、日下部きよ子、三橋紀夫:拡張型心筋症における MRI 遅延造影効果 —T1, BMIPP dual SPECT 所見との比較—、核医学42巻3号367頁 2005.9
- ・Tetsuya Tsujikawa, Chisato Kondo, Yaichiro Hashimoto, Mitsuru Momose, Masako Maki, Norio Mitsuhashi, Kiyoko Kusakabe
Accuracy of positron emission tomography for diagnosis of pulmonary lesions with low ^{18}F -fluorodeoxyglucose uptake less than 2.5 instandardized uptake value

核医学 42 卷 3 号 287 頁 2005. 9

- ・窪田和雄、奥 真也、小澤幸彦、織内 昇、近藤千里、鈴木天之、寺澤晃彦、中川敬一、中本祐士、目黒兼一：FDG-PET 検査の適正利用に関する検討、核医学 42 卷 3 号 278 頁 2005. 9
- ・近藤千里：最先端画像 PET がん診断と治療における役割 PET によるがん診断 45 回日本核医学会総会 市民公開講座 2005. 10. 8 東京
核医学 42 卷 3 号 S37 頁 2005. 9
- ・森 慎一郎、近藤千里：「256 列 CT を用いた立体 CT による心臓の評価」、53 回日本心臓病学会学術集会 モーニングセミナー 2005. 9. 19 大阪 J Cardiol 2005;46(suppl 1):189
- ・福島賢慈、近藤千里、百瀬 満、日下部きよ子：FDG-PET 上の非生存心筋部位に対する冠血行再建により著明な収縮機能と糖代謝の改善を認めた陳旧性心筋梗塞の 1 例、第 63 回日本核医学会関東甲信越地方会 2005. 7. 9 東京
- ・近藤千里：「SPECT, PET を用いた心筋血流評価と小児循環器疾患の接点」、第 41 回日本小児循環器学会総会・学術集会 ランチョンセミナー 2005. 7. 7 東京
- ・近藤千里、中西敏雄、日下部きよ子：進行性筋ジストロフィーに伴う心機能障害に対する carvedilol の慢性効果：QGS による検討、第 5 回関東小児核医学研究会 2005. 6. 4 東京
- ・近藤千里、百瀬 満、福島賢慈、増川 愛、金谷信一、牧 正子、日下部きよ子：心電図同期 FDG-PET による心筋糖代謝と心機能の同時評価 第 62 回日本核医学会関東甲信越地方会 2005. 1. 22 東京 核医学 42 卷 2 号 142 頁 2005. 5
- ・増川 愛、近藤千里、百瀬 満、福島賢慈、金谷信一、牧 正子、日下部きよ子 悪性褐色細胞腫の診断における FDG-PET の役割、第 62 回日本核医学会関東甲信越地方会 2005. 1. 22 東京 核医学 42 卷 2 号 142 頁 2005. 5
- ・近藤千里、百瀬 満、日下部きよ子、三橋紀夫：201Tl 心電図同期心筋 SPECT による心筋 viability 推定における壁厚増加率の意義、第 44 回日本核医学会総会 2004. 11. 4-6 京都 核医学 41 卷 3 号 358 頁 2004. 9
- ・松山優子、百瀬 満、近藤千里、西井規子、笠貫 宏、日下部きよ子：123I-BMIPP, 210Tl 2 核種同時収集における QGS の左室容積と駆出率の評価、核医学 41 卷 3 号 358 頁 2004. 9
- ・橋本弥一郎、近藤千里、百瀬 満、牧 正子、日下部きよ子、三橋紀夫：LSO 装置による FDG-PET の肺癌診断精度、核医学 41 卷 3 号 305 頁 2004. 9
- ・近藤光子、近藤千里、兼村俊範、日下部きよ子、大貫恭正、永井厚志：LSO 搭載 FDG-PET を用いた肺結節影の肺癌診断精度の検討、第 45 回日本肺癌学会 2004. 10. 25-26 横浜 肺癌 44 卷 5 号 395 頁 2004. 10
- ・近藤千里、中澤 誠、日下部きよ子、菌部友良：負荷心筋 SPECT 虚血陽性の川崎病に対する β 遮断剤長期投与の臨床成績、第 4 回 関東小児核医学研究会 2004 年 5 月 29

東京

(1) 著書、(発表者名、テーマ等、学会誌名、巻号、年月日)

分担研究者 百瀬 満

- ・百瀬 満：心臓核医学コンプリートマニュアル 監修：西村重敬、小林秀樹 正しい診断のための Quality Control 40-41 メジカルセンス 2004
- ・百瀬 満：インフォームドコンセントのための心臓核医学アトラス 監修：矢崎義雄、廣江道昭、山崎純一 虚血性心筋症 30-30 メジカルセンス 2004
- ・百瀬 満：症例から学ぶ ACC/AHA/ASNC の心臓核医学ガイドライン監修：中田智明、近森大志郎 大動脈弁閉鎖不全 142-142 メジカルセンス 2004
- ・百瀬 満：EBM 循環器疾患の治療 監修：三田村秀雄、山科章、川名正敏、桑島巖 交感神経イメージングは必要か？ 206-210 中外医学社 2005

学術論文

- ・百瀬 満：FDG-PET による心筋バイアビリティの評価 臨床医 31 1590-1596 2005

(2) 口頭発表(発表者名、テーマ名、学会等名、年月日)

- ・百瀬 満：甲状腺癌転移の検索における FDG PET の役割 第60回日本核医学会関東甲信越地方会 平成16年1月17日 東京
- ・百瀬 満：High Incidence of Myocardial Involvement in Patients With Diabetic Nephropathy at the Initiation of Hemodialysis 第68回日本循環器学会総会 平成16年3月27日 東京
- ・百瀬 満：冠動脈CT画像と心筋SPECT短軸像との fusion による領域診断の試み 第44回日本核医学会総会 平成16年11月4日 京都
- ・百瀬 満：悪性黒色腫における ^{18}F -FDG PET 検査の有用性 第19回日本皮膚外科学会総会・学術集会 平成16年8月28日 東京
- ・百瀬 満：球状ファントムを用いた PET 癌検出能のシュミレーション 第45回日本核医学会総会 2005.11.10 東京
- ・百瀬 満：PET とはどんな検査か 第45回日本核医学会総会市民公開講座 2005.10.8 東京
- ・百瀬 満：FDG-PET を用いた心筋 viability 評価の実際 フォーシーズンズカンファレンス 2005.11.26 東京
- ・百瀬 満：PET/CT によるがん診断 第3回 Radiology Update 学術講演会 指名講演 2005.11.5 東京
- ・百瀬 満：心筋 SPECT 画像の適切な 画像表示のための提言 第8回心臓核医学フォーラム 2005.4.東京

研 究 成 果 に よ る 工 業 所 有 権 の 出 願 ・ 取 得 状 況

無

研究要旨

PET 診療における被ばく管理の徹底化と安全管理マニュアルの作成に向けて、基礎的検討を行うと共に医療従事者の被ばく線量を測定し、下記の結果を得た。

1. 基礎的検討の結果から、ポジトロン核種 (511KeV γ 光子) は、
 - ① 鉛半価層が 4.1 mm、タングステンによる半価層が 2.61mm である。
 - ② 防護エプロン (0.5mmPb) の遮蔽効果は 6% で、遮蔽効果はない。
 - ③ 標準シリンジシールド (1.6mm タングステン) の遮蔽効果は 34.3% である。
 - ④ PET 検査 (1 検者当りの FDG 使用量は 185-196MBq) における放射線医療従事者の被ばく線量は、1.0 以下 (μ Sv/件) であるが、介助を有する症例では数 μ Sv/件程度に増す可能性がある。

以上から、医療従事者は、PET 検査においては、511keV の γ 線用の遮蔽物と距離により防護された専用施設を使用し、時間・距離・遮蔽物・取り扱い技術などのソフト面を整えて安全管理を行う必要がある。医療従事者の被ばく線量は被検者数に比例して増加する。累積放射線量は年間 5mSv 以内に抑えるように配慮することが重要である。PET 診療では介護者、並びに一般公衆の被ばく管理にも配慮し、生活指導を含めたマニュアルを整える必要がある。

キーワード

- | | | | |
|-----------|---------|-------------|-----------|
| (1) PET | (2) FDG | (3) ポジトロン核種 | (4) 放射線防護 |
| (5) 医療被ばく | (6) 遮蔽物 | (7) 小型線量計 | (8) 被ばく線量 |

PET検査に伴う患者、介護者、および医療従事者の被ばく管理に関する基礎的検討

Measurements of occupational exposure for a technologist performing FDG PET scans

Objectives: The FDG PET is a potent diagnostic tool in oncology. Its use is continually increasing and it is become a routine procedure in nuclear medicine department.

The positron emitter F-18, due to its β emission and two resulting high energy annihilation photons, produce higher energy gamma rays than conventional isotopes. Consequently, new occupational radiation safety problems must be resolved. The radiation dose associated with F-18 FDG PET in a technologist was evaluated.

Methods: One PET performing 3.7MBq/kg body weight of F-18 FDG imaging procedures were measured in a clinical setting using TLD badge. FDG was handled with tungsten shielded syringes. And, shields with 35mm thick lead were used for radiation protection. The technologist wears TLD badges placed chest during the whole working day everywhere.

Results: The resulting doses inside of lead protector with 35mm thick and outside of protector were $0.38 \pm 0.28 \mu\text{Sv}$ and $0.86 \pm 0.28 \mu\text{Sv}$ at the time of FDG injection, respectively. The doses obtained in the setting of patients for images were $7.7 \pm 0.16 \mu\text{Sv}$. Extrapolated to 2000 examinations per year, the resulting effective dose measured with TLD would be within 5mSv with shielded.

Conclusions: The radiation doses to which one PET technologist was exposed while performing 100 FDG procedures were measured. The use of shielding for the handling the FDG dose is an easy and efficient solution resulting in addition significant decrease of the effective dose.

PET検査に伴う患者、介護者、および医療従事者の被ばく管理に関する基礎的検討

I. はじめに

21世紀に入り、FDG (F-18 標識フルオロデオキシグルコース) による PET (ポジトロン放出断層撮影) ががん診療の最先端技術として急速に普及している。本邦では、この PET 検査が人間ドッグを等の検診にまで取り入れられつつある。超短半減期核種と呼ばれる臨床用のポジトロン核種は物理的半減期が短く、被検者の被ばく線量は胃腸透視 1 回分程度である。しかし、ポジトロン核種の放出する γ 線エネルギーは 511KeV と高く、これを投与された患者自身についても、一時は放射線源となり得る。そこで、我が国の国土・環境事情を考慮すると、検査後の被検者を取り巻く一般公衆も間接的に微量の放射線に曝される可能性がある。

国際放射線防護委員会 (ICRP) では、低線量被ばくについても閾値のない確率的影響を考慮して放射線管理を行うよう提唱している。最先端医療として発展している核医学診療においても、有益な医療行為を妨げることなく、いかに放射線を安全に管理するか、きめ細かな体制作りが求められている。本研究の目的は PET 検査における安全管理を徹底化させる上で必要な実測データを提示し、各施設で作成されるマニュアルの基礎資料を提供することである。

II. 基礎的検討

1. 被ばく線量測定に於けるポジトロン核種の特性、一点線源と容積線源における線量率の違い

高エネルギー γ 線を放出するポジトロン核種の測定精度を評価するため、人体全身像を見立てたファントムの容積線源による 1cm 線量当量率を測定し、点線源における測定結果と比較した。

方法；下記ファントム、放射性核種、測定機器を使用して測定。

1) 容積ファントム；成人を想定した身長 170cm、体重 70kg からなる全身のボトル型マネキン (BOMAB ; Bottle Manikin Absorption, @NCRC) を使用。全内容量は 50[L] である。本ファントムは頭部、頸部、胸部、下腹部、上肢 2 部位、大腿部 2 部位、下腿部 2 部位の計 10 部位から構成されている。

2) 使用核種；FDG-PET 検査における成人での通常使用量 F-18、185MBq をファントム内に封入。ファントムの各部位への F-18 封入量は、FDG-PET 検査における健常人の正常分布を参考にして決定した。

3) 測定機器；電離箱サーベイメータ (ICS-321、ALOKA)、およびシンチレーションサーベイメータ (TCS-171、ALOKA) を使用

4) 測定法；ポジトロン核種を封入した容積ファントムを設置し、各測定器にてファント

ム周辺の 1cm 線量当量率 (の $\mu\text{SV/hr}$ 単位) を測定した。結果は F-18 の物理的半減期 (109.8min) の減衰補正を加えて投与量 (185MBq) 当たりに換算して表示した。

測定範囲はファントム中心に 4x4m の範囲では 25cm 間隔で、その外側は 50cm 間隔で 6x5m まで測定した。サーベイメータは常に 80cm の高さでファントム中心に向けて設置し測定した。

結果

F-18 を封入した成人等身大の容積線源を用いた測定から、下記の結果を得た。

- 1) FDG の分布は上半身で全体の約 75% を占める。そして、身体の横方向の線量率が最も高くなる。これはファントム内の自己吸収の影響と考えられる。
- 2) 距離 100cm における線量率はファントムの頭側が最も高い。これは、FDG の脳の分布が高いことに起因すると考えられる。
- 3) 体内分布の影響を受ける容積線源で安定した線量値を得るには、線源から 200cm 以上離れた距離を要する。これは、被ばく線量を測定する上で、点線源と大きく異なる点である。
- 4) 容積ファントムの横方向 100cm 距離以内に於ける実測値は点線源より低値となる。これは測定器の有限立体角、並びに方向依存性の影響を受けることに起因すると考えられる。

結語

以上のファントム実験結果から、ポジトロン核種の測定においては、体内分布の他、サーベイメータの立体角、測定方向に配慮し、これらの影響を受けない線源から 200cm 以上離れた距離にて行うこと。通常の FDG 使用量 (185MBq) が体内残存量と仮定すると、1cm 線量等量率が 10mSv/hr 以下となるのは投与された人体表面から 100cm 以上の距離、さらに 5mSv/hr 以下となるのは 200cm 以上の距離の地点であることが判明した。

2. ポジトロン核種の検出能の評価

PET、並びに PET/CT におけるポジトロン核種の物理的検出能を把握し、測定精度を評価するため、小球形の容積を設置できる球状ファントムを使用し、バックグラウンドとの影響を含めて微量の放射能を測定した。

方法；下記のファントム、放射性核種、測定機器を使用。

- 1) ファントム：直径 4mm 大 (0.031ml) ~ 31mm 大 (16.0ml) まで 10 種類の球状容積を備えたファントム (Flanged Jaszczak ECT Phantoms, Data Spectrum Corporation)
- 2) 使用核種：F-18 をバックグラウンド (BG) として各 0、3、5、8.4kBq/ml を封入し、この BG 濃度/球内濃度を 0.28 に調整して測定
- 3) 測定機器：PET カメラ (Siemens 社製 Accel, FWHM 6.3mm)、PET/CT (Siemens 社製 Biograph

16 FWHM 6.3mm)

4) 測定法；ポジトロン核種を封入した容積ファントムを設置。PETは密封線源（Ge-68）による吸収補正データの2分収集に続いて、ファントムの3D収集を2分/10分で行った。またPET/CTはX線による吸収補正データ収集に続いて、ファントムの3D収集を2分/10分で行った。

結果

- 1) 吸収補正を密封線源で行うPETとX線CTで行うPET/CTとの間に、検出能に明らかな差は見られなかった。
- 2) BGなしの条件下において、球形ファントムの放射能は31mm大を100%とした時、10mm大で36%、6mm大で8%に過小評価されることが判明した。
5mm大の球状ファントム内の放射能は検出不能であった。
- 3) BGが存在する体内分布において、10mm未満の大きさの放射能は過小評価されることが示唆された。

結語

以上の結果から、通常のPET検査では直径10mm大以下の球形病巣は過小評価され、定量性に乏しい。そして、5mm大の大きさの病変は検出限界となる可能性が高いことが判明した。

4. 平成14年度、15年度の研究において得られている基礎的検討事項

1) 線量計の測定精度

①ポケット線量計（アロカ社製PDM-111）の方向依存性

垂直面測定で後方からの検出感度が低下する他は、ほぼ均一な検出能を示す。

②小型線量計の測定精度

小型線量計（DOSE3千代田テクノル社製）は低エネルギー核種Tc-99m、高エネルギー核種I-131、ポジトロン核種F-18を投与された患者（腹部に装着）において、放射線強度が10~10000 μ Sv/m~30mの1cm線量当量で高い直線性を保つ。

2) 遮蔽

①金属による遮蔽効果：鉛半価層は、Tc-99mで0.26mm、511KeVの γ 光子で4.1mmである。タングステンによる半価層はTc-99mで0.23mm、F-18で2.61mmである。

②防護エプロン（0.5mmPb）の遮蔽効果；F-18の遮蔽効果は約6%である。

③シリンジシールドの遮蔽効果：標準のシリンジシールド（1.6mmタングステン）の遮蔽効果はF-18で34.3%である。

④防護衝立の遮蔽効果；511Kev γ 線の遮蔽効果は鉛35mm厚防護衝立で88%、含鉛アクリル3mm厚防護衝立で57%である。

Ⅲ 臨床的検討

1. PET 検査における医療従事者の被ばく線量（一部、平成 14 年度 15 年度研究成果を含め評価）

PET 診療に携わる医療従事者・介護者の被ばく線量の測定は、直読型ポケット線量計を使用して累積放射線量と作業内容について経時的に記録し評価した。

方法

- 1) PET 作業の就業に当たり、予め放射線防護の基礎について実地訓練を受ける。
- 2) 被計測者は医師、放射線技師、臨床検査技師、看護師、薬剤師、サイクロトロン運転員、そして事務員など
- 3) 小型線量計は胸部（女性では腹部）ポケットに装着
- 4) FDG-PET 検査は、PET カメラ 1 台当たり 1 日 10 件前後で週 5 日間就業。
- 5) 予め、被検者に問診を行い、検査の適応、検査上の注意、検査の導線、検査後の生活の注意などについて説明し、同意を得る。

尚、介助を要する症例については、緊急時を除き、予め同意を得た家族などに依頼することを原則としている。

- 6) FDG 投与量は 37MBq/体重(10kg)を基準に調剤・分注して準備される。

多くの症例は 180-300MBq の量が投与されている。

- 7) FDG 薬剤の静注は担当医師 1 名で行い、予め確保された静脈の翼状針を通じて FDG を投与。

処置時にはタングステン製シリンジシールドの他、35mm 厚鉛防護衝立などを適宜、使用。

- 8) 撮像に関する作業は、PET 装置 1 台当たり放射線技師 2 名で担当。

接遇には可能な範囲で音響装置などを利用した遠隔操作を取り入れ、適宜、35mm 厚鉛防護衝立などを使用し、必要最小限の接触時間になるように心がける。

結果

- 1) FDG 薬剤の静注を行う医師の被ばく線量（表 1）

PET 検査に携わる医師の被ばく線量（ $\mu\text{Sv}/\text{件}$ ）は、胸部で平均 0.58、腹部で 0.38 と、小型線量計の設置部位により明らかな差が見られた（ $P=0.013$ ）。中でも、胸部に設置されたポケット線量計の線量は、身長が高い医師（ $n=20$, $0.86\mu\text{Sv}/\text{件}$ ）と比較的身長の低い医師（ $n=11$, $0.40\mu\text{Sv}/\text{件}$ ）との間に明らかな差が見られ（ $P<0.0001$ ）、胸部が遮蔽されない医師で大きくなった。これは、FDG の静注と共に脳に多く集まるという体内分布に大きく起因すると考えられた。使用している防護衝立（35mm 鉛相当）は、被検者からの被ばく線量を約 1/2 に遮蔽する効果を有すると推定された。

2) 放射線技師の被ばく (表 2、3)

撮像に伴う被検者の固定と介助などの作業時の被ばく線量 ($\mu\text{Sv}/\text{件}$, $n=85$) は 0.44 であった。そして、PET 装置 1 台当たりの作業体制が 1 人 ($n=17$) と 2 人 ($n=50$) では被ばく線量 ($\mu\text{Sv}/\text{件}$) に各 0.77 と 0.29 と明らかな差が見られ、2 名体制で低かった ($P<0.0001$)。

3) PET 撮像に伴う放射線技師の 1 日被ばく線量 ($n=31 \mu\text{Sv}/\text{日}$)

PET 撮像における被検者の固定、並びに解除に要する時間 ($n=60$) は各 59.4 秒、31.2 秒であった。1 日平均症例数は 10 例で FDG の 1 日総投与量は平均 2025MBq (1 症例 199.2MBq) であった。1 日の放射線技師の被ばくは技師 A, 技師 B で各 $4.39 \mu\text{Sv}$ 、 $4.01 \mu\text{Sv}$ と $5 \mu\text{Sv}$ 以下の線量であった。

4) 接遇・介助を有する患者などにおける放射線技師被ばく (表 5)

車椅子等の介助を要する患者の接遇時の放射線技師の被ばく線量 ($n=19 \mu\text{Sv}/\text{件}$) は、1.34 と通常の撮像業務時よりも高かった。

5) 接遇・介助を有する患者における介護者の被ばく (表 6)

接遇を要する被検者に付きそう介護者 ($n=4$) の被ばく線量は、FDG 投与から 2 時間の検査時間内で $3.8\sim 13.3 \mu\text{Sv}/\text{件}$ (平均 8.3) であった。この間の介助は必要最小限とし、可能な限り被検者との距離を開けるように指導した。

6) 被検者の被ばく線量

FDG176MBq を投与された 1 被検者の被ばく線量は、投与後 2~9 時間で $267 \mu\text{Sv}$ であった。また 196MBq 投与された他の 1 被検者の 2~10 時間の累積線量は $600 \mu\text{Sv}$ であった。

考察

ICRP の 90 年勧告¹⁾では、放射線を医療に利用する上でも放射線のリスクを可能な限り低くする (ALARA : as low as reasonably achievable) よう提言している。我が国で急速に増加している FDG-PET のがん検査施設では、高エネルギー (511KeV) γ 線を放出するポジトロン核種の使用量も桁違いに多い。医療従事者の低線量被ばくを無視できず、いかに安全管理体制を構築するかが大きな課題となっている。

医療被ばくにおける防護体系は、①行為の正当化 (被ばくする個人に直接の便益をもたらすこと) ②防護の最適化 (診断目標を達成するのに必要な最小限の患者被ばくとし、正常組織の被ばくは合理的に達成できる限り低いものとする) ③線量限度からなる。この内、線量限度については、「放射線被ばくの原因となる有益な行為を不当に制限することなく、人を防護するための適切な基準を与えること」という基本的概念から、患者の被ばくについては適用されない。即ち、医療に放射線を利用する上で、被ばく線量を考慮に入れた“慎重な適応決定”がなされることが大前提となる。

IAEA (International Atomic Energy Agency、国際原子力エネルギー機構) の「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準 (BSS²⁾)」の「医療被ばく

における放射線防護の基準（BSG：Draft Safety Guide DS 2000³⁾）では、“医療被ばく”について、医療、歯科診療・治療の一部として患者が受ける被ばくと定義している。適用範囲は“ひと”とされ、患者の他に患者の家族や看護人、ボランティアなどの介護者も含めている。被ばくの種類には、この患者の被ばくの他に、職業被ばくと公衆被ばくがあるが、特に防護用具を利用することの難しい公衆被ばくについては、線源において管理することが基本となる。そこで、核医学の中でも高エネルギーの γ 線を利用する放射性ヨード療法（I-131）については、IAEAのマニュアル⁴⁾等に習って我が国でも退出基準が設けられている。PET診療においてもこれに準じ、第三者の被ばくをも考慮に入れた安全管理が求められる。

医療従事者の職業被ばくについては、年間に平均すると20mSv（100mSv/5年）という線量限度（100mSv/5年間）が示されている（表1）。また、女性作業員については、3ヶ月管理（5mSv）が我が国独自に義務づけられている。そして、妊娠女性については、妊娠を申告した時点から出産までの期間（腹部表面）の線量限度が2mSv（実効線量限度1mSv）とされている（表2）。PET検査を専門とする施設では、医療従事者の被ばく線量が年間5mSv程度に達する可能性があり、妊娠を申告しやすい環境を整えることが管理責任者の重要な任務となる。また、介助する家族や看護人、ボランティアには、1行為当たり5mSvという線量拘束値を適応することが可能である。特に介助を要する症例のPET検査においては、適宜、同意を得た介護者の協力を得ながら検査を全うさせることも可能である。

平成17年6月に厚生労働省からPET検査に関する省令改正（厚生省令第119号）が出され、「陽電子断層撮影診療」として施設基準と行為基準が示された。その主な内容は、①PET検査薬が医療法施行規則に定められ、届け出の対象となった。②使用室等の構造設備基準が定められ、作業を行う各室について、院内製造を行う場合は障害防止法の規定する室を設け、小分けをする陽電子準備室、投薬をする陽電子診療室、そして投与後の“安静”には陽電子待機室を置く事が義務付けられた。③PETに関する予防措置としては、安全管理の体制の確立を目的とした委員会などの設置が義務付けられ、核医学を3年以上経験して所定の研修を終了している常勤の医師をPET診療に関する安全管理の責任者とする事、所定の研修を終了して専門の知識及び経験を有する診療放射線技師を安全管理に専ら従事させる事、薬剤師を置き、医師等との連携が充分図られるように努めることが望ましい等とされている。

また、廃棄に関する新制度として、医療に用いられた放射性廃棄物の中で、PET4核種については、F-18についても1Bqとなる1週間保管をして廃棄することが可能となった。欧米の放射性廃棄物の“減衰待ち保管”に習い、我が国のクリアランス制度の突破口と理解されている。

PET核医学が、今や分子イメージングまで、最先端医療に不可欠の手法であることに疑問を挟む余地はない。ポジトロン核種の高エネルギー（511KeV） γ 線の取り扱いの習熟は、安全管理の基本となる。

本研究結果から、4.1 mm の鉛半価層、2.61mm のタングステン半価層を有するポジトロン核種の安全管理の基本は、時間、距離、そして汚染管理で決定される。殊に、脳と尿路系に多く分布する FDG の生物学的特性は、医療従事者の低線量被ばくを防ぎきれない。

今回、人体等身大の容積ファントムを用いて、点線源における線量評価との違いについて検討した。これには、1999 年に報告 (DOSE3D: J Nucl Med40: 1517-1523) されたモンテカルロ方式に基づくコンピュータソフトを利用し、PET 検査時の線量測定を行った。その結果、1cm 線量等量率の分布は放射能分布の偏り、ファントム内の自己吸収の影響を受け、FDG-PET 検査では縦方向、頭側方向、尾側方向の順で減少した。そして、通常の FDG 使用量 (185MBq) が体内に残存していると仮定すると、1cm 線量等量率が 10mSv/hr 以下となる距離は投与された人体表面から 100cm 以上、さらに 5mSv/hr 以下となるのは 200cm 以上の地点であることが判明した。

そこで、可能な限り、被検者から 100cm 以上の距離を置き、短時間の接触時間にすることを念頭に、接遇においても習熟して接することが基本となる。医療従事者の実際の測定値は、PET 検査 1 件当たり $2\mu\text{Sv}$ 以下である。1 日 10 件程度の FDG/PET 検査に従事して年間 250 日作業を行っても 5mSv 程度であり、決して問題となる線量ではない。但し、被ばく線量が増加する機会は常に存在しており、いかに作業員個人が自己管理して確実に分担作業を行うかにより、累積線量は決定される。

また、我が国でも介護者の線量拘束値は 1 回 5mSv と設定されており、介助を要する症例の検査においては、同意を得た家族などの協力の下に進めることも一案である。

PET 検査時の接遇における介護者の被ばく線量は、 $20\mu\text{Sv}$ 以下/件であり、検査後の付き添いにおける線量を積算しても、 $0.1\text{m}\mu\text{Sv}$ /件を超える可能性は低いと推定される。退出後の一般公衆の被ばくについても、通常的生活である限り無視できる範囲と推定されるが、被検者毎に住宅事情などを配慮して適切な指導を行うことが管理者の義務となる。

以上、ポジトロン核医学の診断的価値を構築していく上で、ICRP の提唱する低線量被ばくをも考慮に入れ、放射線の安全管理システムを構築することが急務である。

下記の項目について、各施設にあった具体的なマニュアルを作成することが望ましい。

①資格を有する放射線管理責任者の下に運営されること。②就業前に健康管理、教育・訓練を行うこと。③十分な放射線防護能を有する使用施設にて取扱うこと。④医療放射線の防護の原則 (行為の正当化、防護の最適化、ALARA) に則った適応決定、投与量算出を行うこと。⑤一般公衆への被ばくをも考慮に入れた説明・指導を予め被検者に行うこと。⑥診療に携わる作業員の被ばくモニターを行うこと。中でも、妊娠届出から出産時までの女性の線量拘束値の概念について日常診療に浸透させ、届け出し易い職場環境を整えておくこと。

被検者のみならず、医療従事者、介護者、そして一般公衆まで、放射線被ばくについて保証し、いかに安心、且つ確実な診断技術に結びつけるか、PET を含めた核医学診療では社会的問題にも責任をもって対応していく姿勢が求められている。

文献

- 1) International Commission on Radiological Protection, (1991) 1990 Recommendation, Publication 60, Annals of the ICRP 21:1-3, Pergamon Press, Oxford
- 2) International Atomic Energy Agency, (1996) Basic Safety Standards International Atomic Energy Agency, 1996 Vienna Austria
- 3) International Atomic Energy Agency, (2002) Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation, Safety Guide No. RS-G-1.5, International Atomic Energy Agency, Vienna Austria
- 4) International Atomic Energy Agency (1992), Manual on Therapeutic Uses of Iodine 131, Practical Radiation Safety Manual, International Atomic Energy Agency, Vienna

表1 PET検査における医師の被ばく線量 (μ Sv/件)

n	胸部	腹部
	平均値 (SD)	平均値 (SD)
31	0.58 (0.35)*	0.38 (0.28) **
胸部が遮蔽される		
20	0.40 (0.20)*	0.30 (0.30)
胸部が遮蔽されない		
11	0.86 (0.28)*	0.49 (0.14) **
* : ** P=0.013 * : * P<0.0001 * : ** P=0.0015		

表2 PET検査における放射線技師の被ばく線量 (μ Sv/件)
(1PET当たり2人作業体制)

技師	n	平均値 (SD)	中央値
	85	0.44 (0.15)	0.44

表3 PET検査における放射線技師の被ばく線量 (μ Sv/件)

	n	平均値 (SD)	中央値
2人作業	50	0.29 (0.09)	0.28 *
1人作業	17	0.77 (0.16)	0.78 **
(*: ** P<0.0001)			

表4 PET撮像に伴う放射線技師の1日被ばく線量 (μ Sv/日)

n=31	平均値 (SD)	中央値
患者数	10 (2.11)	10
総投与量	2025 (499.9)	2128
1検査投与量	199.2 (14.5)	199.1
技師A	4.39 (1.81)	4.20
技師B	4.01 (1.11)	4.06

所要時間 (n=60) ; 固定 59.4 秒、解除 31.2 秒

表5 介助作業における放射線技師の被ばく線量 (μ Sv/件)

<u>n</u>	<u>平均値 (SD)</u>	<u>中央値</u>
19	1.31 (0.24)	1.40

表6 PET 検査 (2 時間) における介護者の被ばく線量
(μ Sv/件)

<u>n</u>	<u>平均値</u>
4	8.3 (3.8~13.3)