

乳房専用 PET 装置の Positron Emission Mammography (PEM) における術者の被ばくの現状と低減に向けた対策

野澤 慶子 田崎洋一郎

島 孝次 山本 弥生

医療法人社団ゆうあい会 ゆうあいクリニック

To Evaluate and Manage the Radiation Exposure to
Technologist in Positron Emission Mammography
(PEM), Dedicated Breast PET System

Keiko NOZAWA, Youichiro TASAKI,
Kouji SHIMA and Yayoi YAMAMOTO
Yuai Clinic

(article received : Aug 10, 2016)

Key words : Positron emission mammography, Radiation exposure, Technologist

1. はじめに

乳房専用 positron emission tomography (PET) 装置とは、乳房専用の近接撮像型 PET 装置である。これまで全身 PET では、乳癌は FDG (^{18}F -fluorodeoxy glucose) 集積がそれほど高くないことや、小さい癌が検出されにくいことから^{1,2)}、原発巣の診断はマンモグラフィや超音波、MRI によってなされてきた。しかし、乳房専用 PET 装置ではその高い空間分解能によりこれまで検出が困難であった小さい乳癌や、一部の非浸潤癌を描出することが可能となった³⁾。乳房専用 PET 装置には現在、対向型乳房専用 PET 装置とリング型乳房専用 PET 装置がある³⁾。この内当院で用いている対向型乳房専用 PET 装置の 1 つの positron emission mammography (PEM) では、マンモグラフィと同様に乳房を 2 枚の圧迫板ではさみ、内外斜位 (MLO) 方向あるいは頭尾 (CC) 方向に乳房を圧排した画像が得られるため、マンモグラフィとの比較が容易である。PEM 検査は全身 PET 検査後に続けて行う。この時 FDG の追加投与はなく、PEM 検査では吸収補正も行っていない

ため、患者の被ばく線量は全身 PET 検査に準ずる³⁾。しかし診療放射線技師 (以下技師) は患者の乳房を手動的にポジショニングするため、全身 PET 検査と比較し長時間患者の近くに接することになり、1 回の検査における被ばく線量が多くなると考えられる。だがその実態は明らかとなっていない。本稿では、PEM 検査を行う技師の実効線量を測定し、線量増加に関係する因子について検討を行った。

2. 対象と方法

2-1. 対象

当院にて平成24年11月から平成26年3月の間に PEM 検査を行った224名 (平均年齢51.4, 26歳~84歳)。倫理委員会の承認を得て、患者からは、学術研究への利用に関し書面で同意を得た。同一対象に対し複数の技師で検査を行った症例は除外した (4例)。安全管理体制は全身 PET 検査に準じて行った。

2-2. 使用機器

乳房専用 PET 装置は、PEM Flex SoloII (Naviscan PET system, Naviscan, Inc., San Diego, CA,

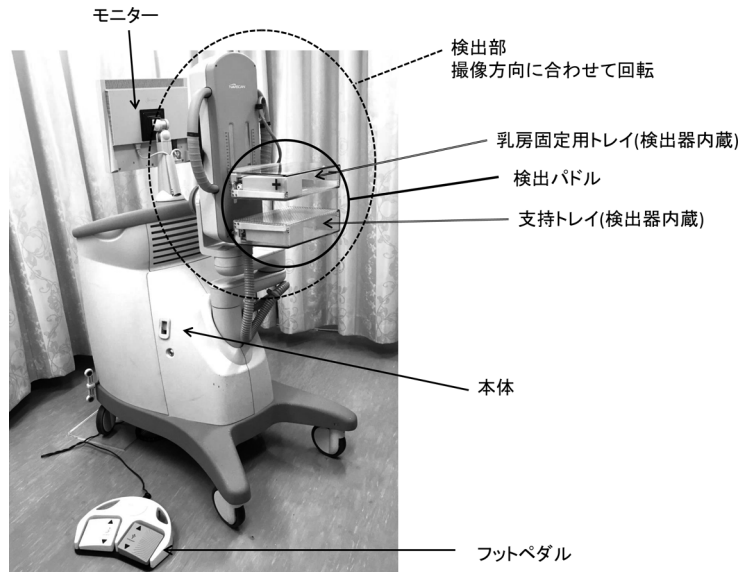


Fig. 1 PEM Flex SoloII 外観。

USA.) (Fig. 1) を用いた。PEM は、本体、モニター、検出部が一体となっている。検出部は上下するアーム部と、左右に回転するパドル部よりなる。パドル部には、検出器を内蔵した平板状のトレイが上下に 2 枚設置されており、そのうち下方

の支持用トレイは固定され、上方の固定用トレイはフットペダルにより上下する。挟角 3D 収集断層撮像で、乳房内の放射性トレーサーの分布を画像化する。FOV は最大 24×16.3 cm である。検出器は $2 \times 2 \times 13$ mm のルテチウム・イットリウ

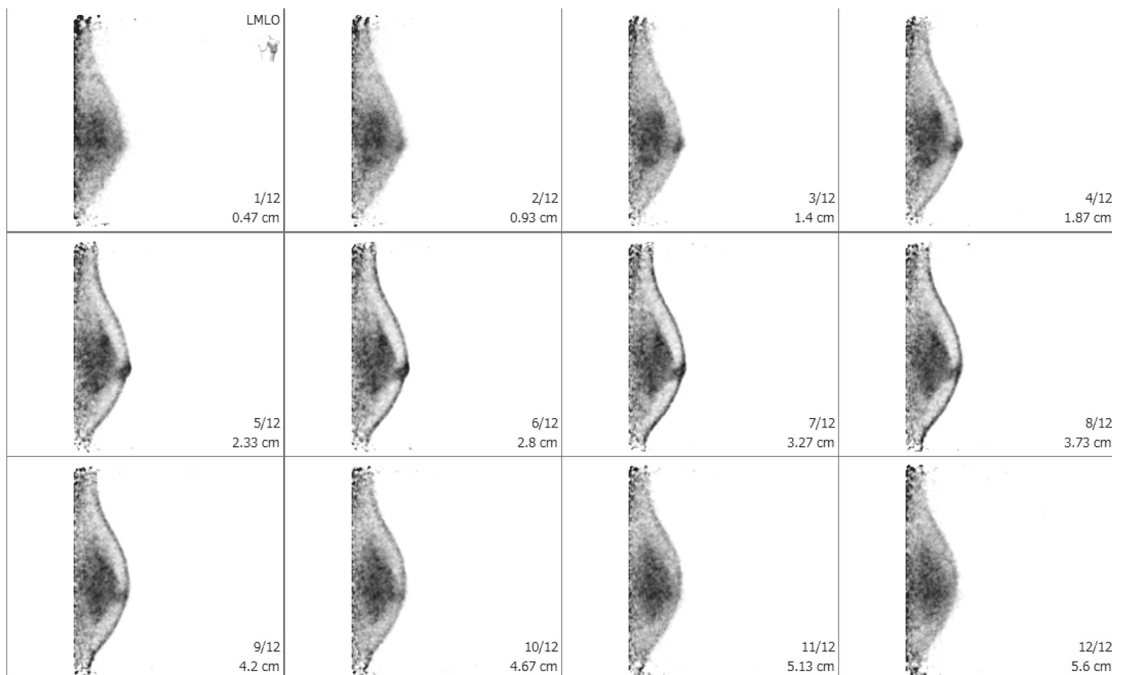


Fig. 2 PEM 検査で得られる12枚の断層画像。

ムオキシオルソシリケート (LYSO) クリスタルが配列している。乳房をはさむ 2 枚の検出器と平行 12 枚の断層画像を表示し、画像は DICOM 保存される (Fig. 2)。保守管理はガイドラインに準じて行っている³⁾。

外部被ばく線量の測定には、半導体式ポケット線量計 (マイドーズブック MODEL EPD-101) (日立社製 校正最終日 平成 22 年 4 月) を用いた。ポケット線量計は技師の腹部に装着し実効線量を算出した。

2-3. 検査方法

院内のサイクロトロンで製造した FDG を使用し、投与放射エネルギーは当院の PET 装置の特性を考慮し、患者の体重に応じて、体重 20~50 kg の患者では 150 MBq、50~70 kg では 180 MBq、70~90 kg では 250 MBq、90 kg 以上では 300 MBq と設定した (平均 3.25 MBq/kg、138.9~303.0 MBq)。FDG を自動投与装置にて経静脈的投与 60 分後に全身 PET 検査を行い、90 分後に PEM 検査を行った。PEM 検査は被験者 1 名に対し、女性技師 1 名が担当した。被験者の体位はパドル正面と正対した座位とし、乳房のポジショニングはマンモグラフィとほぼ同様で、内外斜位方向 (MLO) を基準とし、それを補完する頭尾方向 (CC) も必要に応じて追加した。MLO 撮像は、まず支持用トレイと大胸筋外側が平行になるようにパドル部を回転し、支持トレイの上部が上腕下部に沿うような高さに設定した。続いて乳房外側を十分に前方内側に持ち上げ、乳房を下垂させず引き上げ胸壁から離し、乳腺組織が最大限に描出されるよう手で広げ、固定用トレイで撮像中乳房がパドル部から抜けないよう固定し撮像した。CC 撮像は検測乳房が支持トレイ中央にくるようにアーム位置を設定し、支持トレイの高さは inframammary fold (乳房下部組織) の位置になるよう調整した。乳房を前方へ引き出し手で乳腺組織を広げながら固定用トレイで乳房が抜けないよう固定し撮像した。さらに撮像中の患者の体動を防ぐため、患者の背中や腰と椅子の隙間に補助具を挿入した。技師はポジショニング終了後速やかに検査室から退室し、スキャン時は検査室外で被験者をモニターした。スキャン終了後再び入室し、乳房の固定を解除、次のポジショニングを

行った。1 方向あたりの撮像時間は 8 分とした。撮影方向は検診を目的とした患者は左右 MLO の 2 方向 (83 名)、臨床検査では左右 MLO と病側の CC を加えた 3 方向 (42 名) をルーチンとした。そのほか片側の MLO のみ 1 方向 (3 名)、左右 MLO と左右 CC の 4 方向 (66 名)、さらに追加撮像を含めた 5 方向 (26 名)、6 方向 (4 名) の撮像を行った。

2-4. 検討項目

1) 今回対象とした患者 224 名に投与された放射エネルギーと実効線量の相関関係の有無を検討した。2) 患者が検査室へ入室してから退室するまでの検査全所要時間と、1 ポジショニングの所要時間をそれぞれ計測し、実効線量との相関関係の有無について検討した。3) 両側乳房または左右いずれかにおいて MLO、CC 両方の撮像を行った患者に対し、各ポジショニング時のポケット線量計によるトレンドデータから 1 分毎の実効線量を算定し比較を行った。ただし、ポジショニングの順序による減衰を考慮し、全てのスキャンを FDG 投与 90 分後に収集開始したものとする減衰補正を、測定された実効線量に対して行い評価に用いた。4) 今回の検討で検査を担当した 6 名の技師の内、マンモグラフィ撮影および PEM 検査の経験年数が 3 年以上の者 2 名、3 年未満の者 2 名を対象とし、経験年数による実効線量の比較を行った。ただし、撮像件数の少なかった 2 名はこの検討項目では除外した (13 例)。

2-5. 統計

投与放射エネルギー、検査全所要時間と実効線量の関係の検討には相関係数を用いた。MLO、CC 各ポジショニング時の実効線量の比較、技師のマンモグラフィ撮影または PEM 検査の経験年数が 3 年以上の群と 3 年未満の群の実効線量の比較は、Student の t 検定を用いた。P 値は 0.05 以下を有意とした。

3. 結果

1 検査あたりの実効線量は平均 $4.8 \mu\text{Sv}$ (平均 3.2 スキャン、最小値 2、最大値 6) であり、1 スキャンあたりの実効線量は平均 $1.5 \pm 0.6 \mu\text{Sv}$ ($0.5 \sim 7.0 \mu\text{Sv}$) であった。1) 投与放射エネルギーと実効線量の相関関係の検討結果を Fig. 3 に示す。

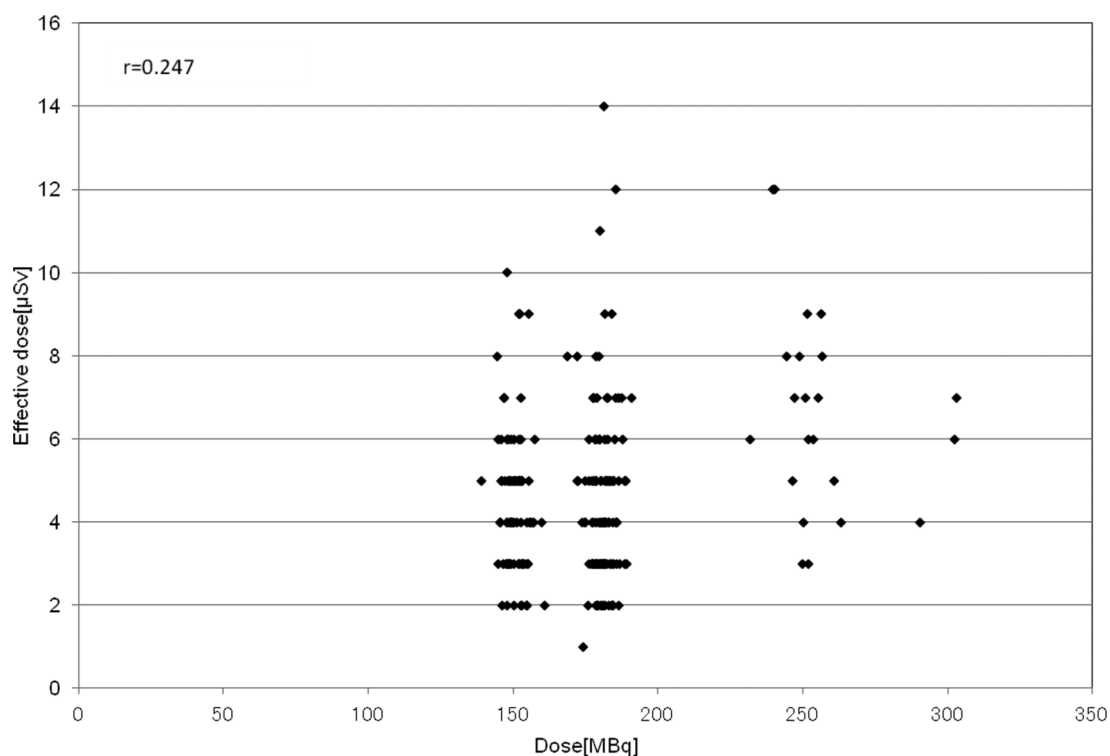


Fig. 3 投与放射量と実効線量の相関関係。両者に強い相関関係は認められなかった。

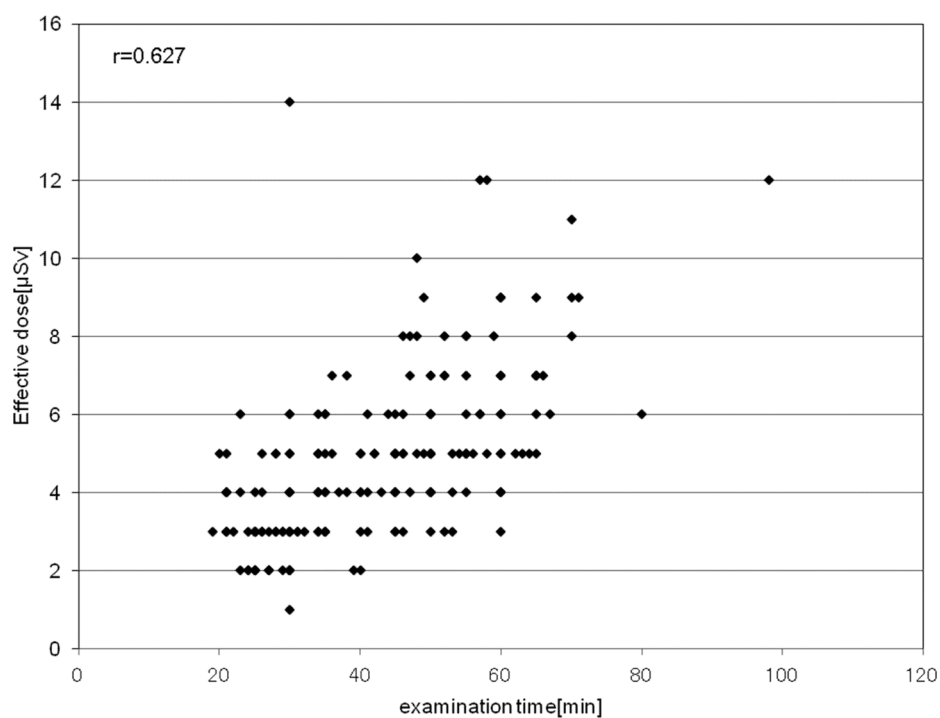


Fig. 4 検査全所要時間と実効線量の相関関係。両者の間に弱い相関関係が認められた。

$r=0.247$ であり、両者に強い相関は認められなかった。2) 検査全所要時間と実効線量の相関関係の検討結果を **Fig. 4** に示す。 $r=0.627$ であり、弱い相関が認められた。検査全所要時間の平均は 41 分 26 秒 (19 分～98 分) であり、1 ポジショニングの平均は 3 分 36 秒 (2 分～6 分) であった。3) MLO, CC 各ポジショニング時の実効線量の比較では MLO は平均実効線量が $2.2 \pm 1.1 \mu\text{Sv}$ ($1.2 \sim 3.7 \mu\text{Sv}$)、CC は $1.8 \pm 0.8 \mu\text{Sv}$ ($0.9 \sim 4.0 \mu\text{Sv}$) であり、ポジショニングによる実効線量に有意差は見られなかった ($P=0.12$) (**Fig. 5**)。ポジショニングの平均所要時間は MLO が 3 分 46 秒、CC は 3 分 10 秒であった。4) マンモグラフィ撮影および PEM 検査の経験年数による実効線量の比較では経験年数が 3 年以上の技師では 1 患者あたりの実効線量の平均が $3.8 \pm 1.6 \mu\text{Sv}$ ($1.0 \sim 9.0 \mu\text{Sv}$)、3 年未満の技師では 1 検査あたりの実効線量の平均が $5.5 \pm 2.2 \mu\text{Sv}$ ($2.0 \sim 14.0 \mu\text{Sv}$) であり (**Fig. 6**) 有意差が認められ ($P=0.001$)、また 1 ポジショニング毎の平均実

効線量は前者が $1.2 \pm 0.4 \mu\text{Sv}$ ($0.5 \sim 2.5 \mu\text{Sv}$)、後者が $1.8 \pm 0.7 \mu\text{Sv}$ ($0.75 \sim 7.0 \mu\text{Sv}$) であり (**Fig. 7**)、有意差が認められた ($P=0.001$)。平均検査全所要時間は前者が 40 分 26 秒、後者が 43 分 06 秒であり、経験年数が多い群が 3 分 20 秒短かった。

4. 考 察

乳房専用 PET 装置は 2013 年に全身 PET 検査との併用で保険適用となり、現在乳癌診療に用いられている。乳房専用 PET 装置はリング型乳房専用 PET 装置と対向型乳房専用 PET 装置の 2 種類がある³⁾。PEM は、欧米で開発された装置であり、海外でも広く用いられている。乳癌の感度、特異度はそれぞれ 91%、93% と報告されている⁴⁾。分解能が相対的に低い全身用 PET 装置では癌が小さいほど部分容積効果の影響で腫瘍細胞が残存していても SUV 値は低くなり、正確な評価は困難になる。しかし高分解能な乳房専用 PET 装置での評価であれば、SUV 値の大小を用

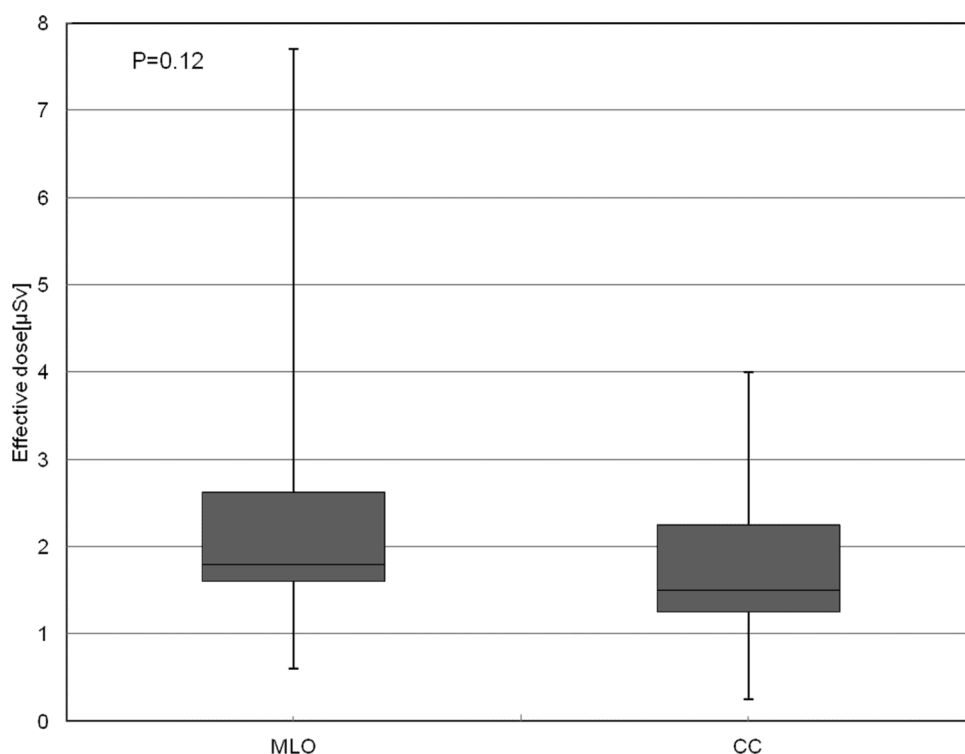


Fig. 5 MLO, CC 各ポジショニング時の実効線量の比較。ポジショニングによる実効線量に有意差は見られなかった。

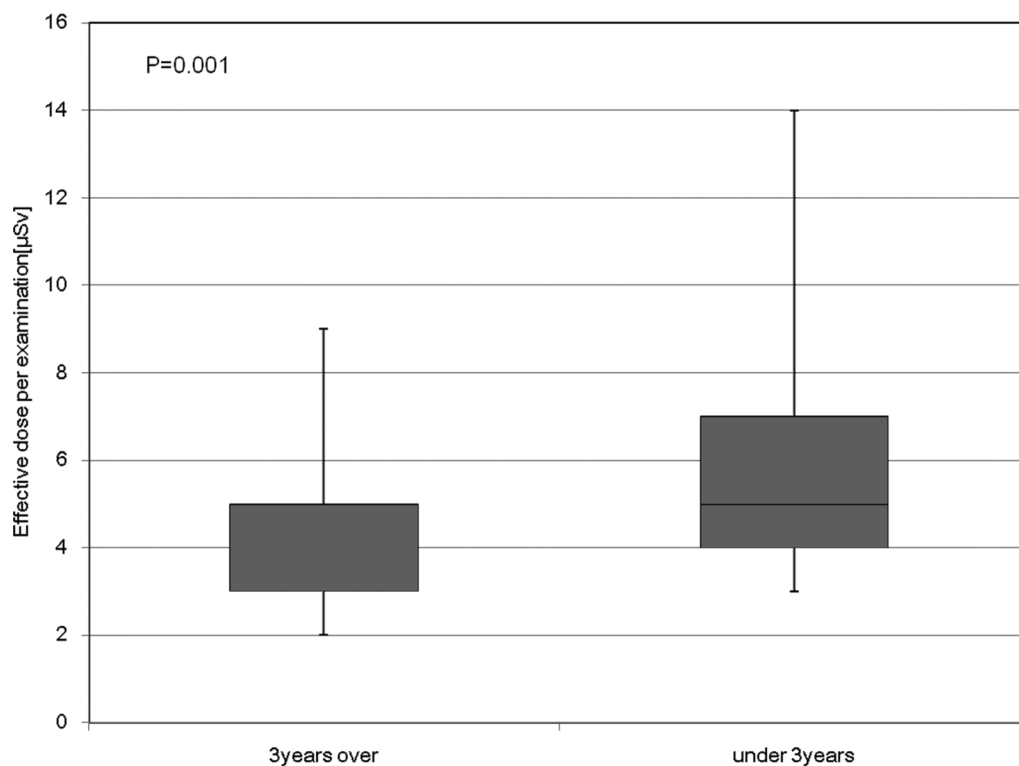


Fig. 6 マンモグラフィ撮影および PEM 検査の経験年数による 1 検査当たりの実効線量の比較。実効線量は経験年数 3 年以上の技師が有意に低かった。

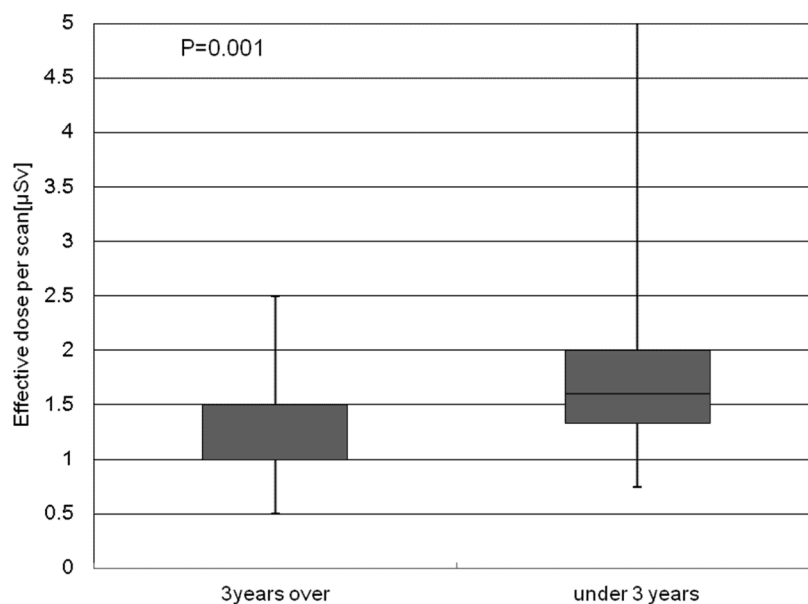


Fig. 7 マンモグラフィ撮影および PEM 検査の経験年数による 1 ポジショニング当たりの実効線量の比較。経験年数の多い群の実効線量が有意に低かった。

いた病変の有無だけではなく、更に詳細な集積パターンなどの情報が、治療方針決定に大きく寄与できるのではないかと考える。PEM はマンモグラフィと同様の手法で撮像するため、マンモグラフィとの比較が容易である。しかし、患者の乳房を手動的にポジショニングするため、ポジショニング時に患者と接する時間が長くなり、技師の被ばくの増加は避けられない。乳房専用 PET 診療ガイドライン³⁾では、被ばくの低減を図るよう推奨しているが、これまで日本国内で実際の被ばく量について述べた論文はない⁵⁾。Luo らは PEM 検査における技師の被ばく線量を $13 \pm 8 \mu\text{Sv}/\text{検査}$ であったと述べている⁵⁾。平均 6.4 ± 1.6 スキャン撮影されていることから、1 スキャン平均 $2 \mu\text{Sv}$ 程度である。我々の検討では 1 スキャン平均 $1.5 \mu\text{Sv}$ であり、ほぼ同程度と考えられた。全身 PET 検査と比較するとやや高い値だが、1 回の検査時間（患者が入室し、撮像を終え退室するまで）は 20～60 分と全身 PET 検査より長く、1 人の技師が 1 日に対応する検査数が限られる。そのため 1 日の総被ばく線量はそれほど高くないと思われた。また、今回ポジショニングに際し、患者との距離を決めずに行ったが、Luo らは、ファントムを用いた実験で撮影者とファントムの距離を 15 インチから 24 インチに離すことで、被ばく線量が $1.7 \mu\text{Sv}$ から $1.1 \mu\text{Sv}$ へ低減したと述べている⁵⁾。実際の検査では、患者と技師の距離を離れた事によりポジショニングが不十分になる事も懸念されるため、患者との距離をとりながらポジショニングを行う方法を慎重に検討していく必要があると思われた。

本検討では、検査全所要時間の方が投与放射エネルギーよりも実効線量との相関が見られた。検査全所要時間は主にポジショニングとスキャンにより構成され、スキャン時間は全検査で一定のため、検査全所要時間はポジショニングの時間によって変動する。従って、ポジショニングの時間を短縮することが実効線量の低減に影響すると考えられた。MLO と CC では平均実効線量、所要時間に有意差は見られなかった。ポジショニングの時間は、マンモグラフィまたは PEM 検査の経験年数が 3 年以上の群で有意に短く、実効線量も低かった。PEM 検査はブドウ糖の代謝による差を描出

するため、マンモグラフィのように乳腺の重なりによる偽陽性は生じにくい。しかしながら、乳腺を十分に圧排伸展させ、ブラインドエリアの少ない画像をとることは病変の検出や、位置情報を正確に伝える上で重要である。黒蔵らは、マンモグラフィの撮影技術向上には撮影頻度が寄与しており、総合的な画像管理には技術講習会の受講が重要であったと報告している⁶⁾。マンモグラフィの技術講習会では乳癌の基礎知識の習得や撮影技術実習が行われる。PEM 検査においても被ばくをコントロールしつつ撮影経験を積むことや、マンモグラフィの技術講習会などによる知識の習得も撮影技術向上に有効な手段と思われた。また検査前に他検査の情報を元に撮像方法を検討し、さらに乳房専用 PET 診療ガイドライン³⁾にあるように担当する技師を複数とし、ローテーションを組み、被ばくの分散を図ることも重要である。

5. 結 語

PEM における技師の被ばく実効線量は、1 スキャン平均 $1.5 \mu\text{Sv}$ 、1 検査あたり $4.8 \mu\text{Sv}$ (平均 3 スキャン) であった。検査時間と実効線量に弱い相関が認められ、熟練した技師では熟練度の低い技師と比較し実効線量の低下がみられた。撮影技術を向上させ、検査時間を短くするとともに、患者との距離をとりながら良好な画像を得るためのポジショニング方法の工夫など、被ばく低減のためさらに検討していく必要があると思われた。

文 献

- 1) Avril N, Rose CA, Schelling M, et al: Breast imaging with positron emission tomography and fluorine-18 fluorodeoxyglucose: use and limitations. *J Clin Oncol*, **18**(20): 3495-502, 2000
- 2) Rohren EM, Turkington TG, Coleman RE: Clinical applications of PET in oncology. *Radiology*, **231**(2): 305-332, 2004
- 3) Hosono M, Saga T, Ito K, et al: Clinical practice guideline for dedicated breast PET. *Ann Nucl Med*, **28**(6): 597-602, 2014
- 4) Berg WA, Weinberg IN, Narayanan D, et al: High-resolution fluorodeoxyglucose positron emission tomography with compression ("positron emission mammography") is highly accurate in depicting primary breast cancer. *Breast J*, **12**(4): 309-323,

2006

- 5) Luo W, Matthews C, Schilling K, et al: Positron emission mammography (PEM) imaging: Radiation exposure to technologist. The Journal of Nuclear Medicine, **51**(Supplement 2): 1202, 2010
- 6) 黒炭邦夫, 春木英俊, 菅野普子: マンモグラフィの精度管理の工夫—検診機関における撮影技術の精度管理について—. 日本乳癌検診学会雑誌, **14**(1): 24-29, 2005