臨床技術

論文受付
2013年7月4日

論文受理
2014年6月13日

Code No. 300

肝 SNR を用いたデリバリ¹⁸F-FDG 使用時の PET 画像に影響を及ぼす因子および収集時間の検討

甲谷理温^{1,2} 大西英雄² 滝川 厚³ 吉川邦彦⁴
佐内弘恭¹ 三村浩朗¹ 柳元真一¹

¹ 川崎医科大学附属病院中央放射線部

² 県立広島大学大学院総合学術研究科生命システム科学専攻

³ 県立広島大学保健福祉学部

⁴ 川崎医科大学放射線医学(核医学)

緒言

悪性腫瘍組織は、正常人体組織に比べ糖代謝が活発な場合が多い。2-deoxy-2-[¹⁸F] fluoro-D-glucose (FDG) を使用した positron emission tomography/computed

tomography (PET/CT) 検査はこの糖代謝を画像化することによって全身のがんの早期発見、病期診断、および転移再発診断に非常に有用な検査の一つとされている^{1~4)}。PET 検査は、人体に放射性医薬品の投与を行

Evaluation of Potentially Influential Factors for Positron Emission Tomography Image Quality in Liver Signal-to-noise Ratio Utilizing a Delivery ¹⁸F-fluoro-2-deoxy-D-glucose Study on Bi₄Ge₃O₁₂-Positron Emission Tomography/Computed Tomography

Yoshiharu Kangai,^{1,2*} Hideo Onishi,² Atsushi Takigawa,³ Kunihiro Yoshikawa,⁴ Hiroyasu Sanai,¹ Hiroaki Mimura,¹ and Shinichi Yanagimoto¹

¹Department of Radiology, Kawasaki Medical School Hospital

²Program in Biological System Sciences, Graduate on School of Comprehensive Scientific Research, Prefectural University of Hiroshima

³Department of Health and Welfare, Prefectural University of Hiroshima

⁴Department of Nuclear Medicine, Kawasaki Medical School

Received July 4, 2013; Revision accepted June 13, 2014

Code No. 300

Summary

The purpose of this study was to evaluate the relationship of body habitus, blood glucose level and injected dose, respectively, with BGO (Bi₄Ge₃O₁₂) positron emission tomography (PET) image quality using commercially available 2-deoxy-2-[¹⁸F] fluoro-D-glucose (FDG). We also evaluated the relationship between PET image quality and acquisition time for each weight group. *Method*: One hundred twenty-five patients (66 male, 59 female) were enrolled in the study. We adopted liver signal-to-noise ratio (liver SNR) as an image quality index, derived from the region of interest (ROI) placed on the axial image of the liver. *Results*: The correlation coefficient between liver SNR and dose per weight was 0.502. The liver SNR indicated a negative relationship with body weight, body mass index (BMI) and cross sectional area of the patient's body, with the correlation coefficients of -0.594, -0.479 and -0.522, respectively. For all weight groups, an extended acquisition time of at least 60 s/bed was necessary to improve liver SNR. *Conclusion*: The findings of this study are potentially of use for designing imaging protocols for the BGO-PET/CT system when using commercially available FDG. It is easy to obtain good image quality for patients of low to average body size with the standard injection dose. However, large patients should be injected, wherever possible, with an FDG dose of up to 5 MBq/kg. The acquisition time in overweight and obese patients should be as longer as possible than in standard weight patients.

Key words: liver signal-to-noise ratio (liver SNR), acquisition time, positron emission tomography (PET) image quality, commercial fluoro-D-glucose (FDG)

*Proceeding author

い、人体から放出された消滅放射線を計測し画像化を行っているため、その放射エネルギーや被検者体型によって画質が異なることが知られている^{5,6)}。このように PET 画像はさまざまな要因の影響を受けることが知られているが、体格、血糖値、投与量および収集時間を総合的に評価した報告はあまり見受けられない。

本邦における FDG-PET および PET/CT 検査は、サイクロトロンを所有し自施設にて FDG の合成を行い、被検者に投与を行う施設と、放射性医薬品メーカーが工場にて製造した FDG (デリバリ FDG) を使用し、被検者に投与を行う施設の 2 種類に分けられる。前者は、被検者ごとに FDG の投与量の増減が可能であることから、良好な PET 画像を提供するために患者の体重や body mass index (BMI) などの体格にあわせて FDG の投与量の調整を行っている⁷⁻⁹⁾。さらに、体格の大きい被検者に対しては収集時間の延長を行っている^{10, 11)}。一方、デリバリ FDG 使用施設では、検定時刻において液量 2 ml、放射エネルギー 185 MBq と定められた FDG を使用しているため、体格の小さい被検者の場合には、液量の調整、もしくは FDG の減衰を待つことによって投与量を調整しなければならない。また、体格の大きい被検者の場合は、良好な PET 画質を担保できる放射エネルギー¹²⁾を投与することが不可能な場合が生じてくる。そのため、多くのデリバリ FDG 使用施設では収集時間を延長することで画質を担保しているのが現状である。2013 年 1 月の本邦の PET および PET/CT 施設は 318 施設あり、そのうちサイクロトロン所有施設は 142 施設となっている¹³⁾。つまり、わが国ではデリバリ FDG 使用施設がサイクロトロン所有施設よりも多くなった。

過去の研究において、PET の画質向上は、FDG の投与量を患者の体重にあわせて調節する方法⁷⁻⁹⁾およびデータ収集時間を調整する方法^{10, 11)}などが用いられている。しかし、これらの報告のほとんどは、サイクロトロン所有施設で行った検討および海外での研究であるため、FDG の投与量が多く現在のわが国における FDG-PET 検査の現状には適さない場合がしばしば見受けられる。

本研究の目的は、放射性医薬品メーカー供給 FDG かつ Bi₄Ge₃O₁₂ (BGO) 検出器搭載 PET/CT 装置使用施設における、PET 画像の画質と被検者固有の因子である体格、血糖値および FDG の投与量との関係の検討を行い、体重ごとの PET データ収集時間と画質の検討を行うことである。

1. 使用機器および対象

PET/CT 装置は Discovery ST Elite (GE Healthcare 社

製) を使用し、データの解析装置および表示として Advantage Workstation 4.3 (GE Healthcare 社製) を使用した。Discovery ST Elite の CT 装置は、8 列のマルチディテクタが搭載され、PET 部の検出器には BGO が使用されている。PET 部の主な構造部を Table に示す¹⁴⁾。

対象は、2009 年 5 月から 2010 年 7 月までに川崎医科大学附属病院において PET/CT 検査を施行された被検者 125 名 (男性 66 名、女性 59 名、年齢 66.3±11.3 歳、体重 62.9±17.1 kg、投与量 216.8±31.9 MBq、血糖値 110±27.1 mg/dl、FDG 投与から PET 撮像開始時間 61.1±5.1 分) とした。これらの対象者は、肝臓周囲に異常集積がない者とした。なお対象者は 5 時間以上の絶食とし、前日、前々日の運動は行っていないことを書面にて確認した。

本研究は、川崎医科大学・同附属病院倫理委員会の承認を得ている。

2. 方法

対象者に FDG を投与し、約 60 分間安静の後に検査開始した。収集時間は肝臓部を含むベッドのみ 1 ベッドあたり 3 分 (180 秒)、その他の部位は 1 ベッドあたり 2 分 (120 秒) のリストモード収集を行った。収集時間による画質の違いの検討を行うために、得られたデータを 30 秒から 180 秒まで 30 秒ごとのデータに再編集を行った。PET 画像は、CT による減弱補正および散乱線補正が組み込まれた逐次近似画像再構成法 (VUE Point Plus™) を用いて再構成された。画像再構成条件は、マトリクス 128×128 (ピクセルサイズ 3.9×3.9 mm)、subset 20、iteration 2、post filter には Gaussian filter (FWHM : 5.14 mm) を使用した。

PET 画像の物理評価指標は肝信号雑音比 (肝 signal-to-noise ratio: 肝 SNR) を用いた¹⁵⁾。本邦における PET の画質評価は、視覚評価と相関する被検者雑音等価計数 noise equivalent count patient (NEC_{patient})¹⁶⁾ や、より高い相関を有する被検者雑音等価計数密度 noise equivalent count_{density} (NEC_{density})¹⁷⁾ を用いて行われていることが多い。しかし、NEC_{density} は、被検者の体積を算出するための画像処理装置が必要であるため¹⁸⁾ すべての施設において算出可能ではない。また、NEC_{density} は画像再構成前の入力信号である同時計数から算出される値である。さらに PET 画像は、画像再構成法および後処理フィルタなどによって、出力される画質が異なることが知られている¹⁹⁾。したがって今回われわれは、すべての施設において実施可能であること、画像再構成後における出力画像の画質評価を行うという点から肝 SNR を画質評価指標として採用した。

Table Technical parameters for Discovery ST Elite PET/CT system

PET characteristics	
Detector material	BGO ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$)
Crystal size (mm^3)	4.7 (transaxial)×6.3 (axial)×30 (radial)
Detector ring diameter (mm)	886
Number of crystals/ ring	560
Number of crystals	13440
Transaxial field of view (mm)	700
Axial field of view (mm)	157
Number of image plane	47
Axial sampling interval (mm)	3.27
Coincidence window width (ns)	9.3
Energy window (keV)	425–650

肝 SNR を算出するために、CT 画像上、肝臓が最も大きく描出されている横断面と同一断面およびその前後の断面の PET 画像上に直径 3 cm の円形の関心領域 (region of interest: ROI) を設定した。ROI の位置は、CT 画像を参照し、胆嚢および主要な血管系を含まず、かつ、呼吸の影響を避けるため肝臓上部を含まないように設定した。3 断面の ROI の standardized uptake value (SUV) の平均値 (SUV_{mean}) および標準偏差 ($\text{SUV}_{\text{s.d.}}$) を読み取り、以下に示す式(1)を用いて肝 SNR を算出し、3 カ所の平均値を算出した。

$$\text{肝 SNR} = \frac{\text{SUV}_{\text{mean}}}{\text{SUV}_{\text{s.d.}}} \dots\dots\dots (1)$$

3. 評価方法

3-1 視覚評価と肝 SNR の関係

肝 SNR の値が PET 画像の画質を正しく反映できているかの評価を行うため、当院で通常行われている収集時間である 120 秒における肝臓部横断面の PET 画像の肝 SNR と視覚評価の関係を Spearman の順位相関 (r_s) を用いて検討した。なお、相関係数の検定は t 検定を用い、有意水準を 0.05 とした。視覚評価と ROI 設定を行った横断面は同一断面である。視覚評価は、日本核医学専門医 1 名 (PET 読影経験 7 年)、核医学専門技師 2 名 (PET 経験 4 年) および診療放射線技師 (PET 経験 1 年) の合計 4 名で行った。視覚評価のスコアは、肝臓が最も大きく描出されている PET 横断面を使用し、均一性がよく雑音が少ない画像を高画質として、非常に良好 (5 点)、十分に読影に堪えうる (4 点)、読影可能 (3 点)、読影に誤診の可能性が生じる (2 点)、読影できない (1 点) の 5 段階評価とした。4 名の平均値を使用し、視覚評価と肝 SNR の相関係数 (r_s) を評価した。なお、肝 SNR が極度に高値または低値を示した場合は、

Fig. 1 Measurement method of ellipsoidal cross sectional area.

ROI 設定不良などが考えられるため、われわれは、肝 SNR が平均値 ± 3 標準偏差から外れる値をはずれ値として検討を行った。

視覚評価を行った 4 名には、結果を本論文にて発表することの承諾を得た。

3-2 各指標と肝 SNR の関係

PET 画像に影響を及ぼす因子の検討を行うため、120 秒収集の PET 画像の肝 SNR と対象者の身長、体重、BMI、断面積、血糖値、投与量、および体重あたりの投与量とのそれぞれの相関係数 [Pearson の相関係数 (r)] を算出しその関係の検討を行った。なお、相関係数の検定は t 検定を用い、有意水準を 0.05 とした。断面積の算出方法は、Fig. 1 に示すように肝臓が最も大きく見える横断面を使用し、人体の断面を楕円と仮定して、両腕を含む横径と縦径を計測し、以下に示す式(2)

を使用し断面積を算出した。

$$S = \pi ab \quad \dots\dots\dots (2)$$

S は楕円断面積, π は円周率(3.14), a は短軸の半径, b は長軸半径とした。

3-3 収集時間と肝 SNR の関係

PET データの収集時間と肝 SNR との関係の検討を行うために, 30 秒ごとに異なる収集時間を有する PET データを画像再構成し, PET 画像の肝 SNR の比較をすべての収集時間群において行った。対象は, 後述する体重群別の対象者数を統一するために, 全対象者 125 名のうち 68 名を抽出した。

異なる体重群による肝 SNR と収集時間の関係の検討を行うために, 対象者を 60 kg 未満, 60 kg 以上 70 kg 未満, 70 kg 以上 80 kg 未満, 80 kg 以上の 4 群に分け, 異なる体重 4 群による収集時間と肝 SNR の関係の検討を行った。なお, 対象被検者数は, 各群 17 名の層化抽出とした。収集時間ごとの肝 SNR の有意差検定は, Statcel 3[オーエムエス出版(有)]の Kruskal-Wallis 検定(多重比較検定は Steel-Dwass 法)を使用し, 有意水準を 0.05 とした。

4. 結果

4-1 視覚評価と肝 SNR の関係

Fig. 2 に視覚評価と肝 SNR との関係を示す。視覚評価スコアと肝 SNR の間には, 中等度の相関($r_s=0.638$, $p<0.001$, $n=122$)が認められた。なお, 対象者 125 名のうち 3 名は, 肝 SNR が 14.0 以上(平均値 ± 3 標準偏差から外れる値)を示したため, データから削除した。

4-2 各指標と肝 SNR の関係

Fig. 3 に各指標と肝 SNR の関係を示す。身長と肝 SNR の相関係数(r)は, -0.343 の弱い負の相関が認められた。体重, BMI, および断面積と肝 SNR の相関係数は, それぞれ -0.594 , -0.479 , -0.522 と中等度の負の相関が認められた。血糖値と肝 SNR の相関係数は, -0.232 の弱い負の相関, 投与量と肝 SNR の相関係数は, 0.266 の弱い相関が認められた。体重あたりの投与量と肝 SNR の相関係数は, 0.502 と中等度の相関が認められた。

4-3 収集時間と肝 SNR の関係

Fig. 4 に 68 症例における収集時間と肝 SNR の関係を示す。収集時間が 30 秒の場合の肝 SNR の中央値は 3.82 を示し, 収集時間の延長に伴い肝 SNR は向上し,

Fig. 2 Relationship between visual score and liver SNR obtained from 122 patients' PET images. A moderate linear correlation was observed ($r_s=0.638$, $p<0.001$).

180 秒での肝 SNR の中央値は 9.07 を示した。30 秒ごとの収集時間における肝 SNR は, 120 秒と 150 秒, 150 秒と 180 秒の間には有意差が認められなかったが, その他の収集時間では有意差が認められた。

Fig. 5 に体重群別における収集時間ごとの代表例の画像を提示する。なお, 4-2 項の結果から, 体重あたりの投与量によって画質が異なるため, 体重あたりの投与量がほぼ同じ対象者の代表例を示す。どの群においても収集時間が長いほうが, 均一性がよく雑音の少ない画像となった。また, 同じ収集時間の場合, 体重の重い群ほど均一性が悪く雑音が多い画像の傾向が認められた。

Fig. 6 に体重群別の収集時間と肝 SNR の関係を示す。体重が 60 kg 未満群の肝 SNR は, 収集時間の延長に伴って上昇傾向を示したが, 60 秒と 90 秒, 120 秒と 150 秒, 120 秒と 180 秒, 150 秒と 180 秒の間には有意差が認められなかった。他の 3 群においても 60 kg 未満群と同様, 収集時間の延長に伴って肝 SNR は上昇傾向を示したが, 90 秒以上の収集時間の場合, 30 秒の短い収集時間延長では, 肝 SNR の有意な上昇は認められなかった。また, 120 秒の収集時間の肝 SNR を基準とし, 収集時間を延長させても, 体重 70 kg から 80 kg の群以外の群は, 180 秒まで収集時間の延長(60 秒の収集時間延長)を行っても肝 SNR は有意に向上しなかった。

5. 考察

本研究は, BGO-PET/CT 装置を使用したデリバリ

Fig. 3 Correlation between respective characteristics and liver SNR.
 (a) Height and liver SNR, (b) Weight and liver SNR, (c) BMI and liver SNR,
 (d) Cross sectional area and liver SNR, (e) Blood glucose level and liver SNR, (f) Dose and liver SNR,
 (g) Dose per weight and liver SNR

Fig. 4 Improvement of liver SNR with increased acquisition time. No significant difference was identified in liver SNR between 120 s and 150 s, or between 150 s and 180 s.

Fig. 5 PET images of patients with different body weights. Injected dose per weight of ^{18}F -FDG was approximately the same. Images of lighter weight patients had better quality measured using liver SNR, but heavier and obese patients' images were noisy and poor in quality.

FDG 使用施設という条件のもと行われた。われわれは、PET 画像の物理評価指標として肝 SNR を用いて被検者の体格および血糖値、また FDG の投与量が PET 画像に与える影響についての検討を行った。さらに、適切な PET データ収集時間を検討するために肝 SNR と収集時間の関係の検討を行った。

肝 SNR と視覚評価の関係は、中等度の相関 ($r_s=0.638$) が得られた。PET の画質評価指標には、肝 SNR のほかに $\text{NEC}_{\text{patient}}$ ¹⁶⁾ や $\text{NEC}_{\text{density}}$ ¹⁷⁾ が用いられている。しかし、われわれが今回採用した肝 SNR は、出力画像から評価可能であり、かつすべての PET 施設で使用可能な画質評価指標である。また、Mizuta らの報告¹⁷⁾

Fig. 6 Relationship between acquisition time and liver SNR in each weight group.

Median liver SNR for an acquisition time of 90 s in the under 60 kg group was 8.50. To obtain a comparable median liver SNR for the 60–70 kg and 70–80 kg groups required acquisition times of 150 s and 180 s with a liver SNR of 8.93 and 8.65, respectively.

(a) Under 60 kg

(b) 60–70 kg

(c) 70–80 kg

(d) Over 80 kg

でも、視覚評価と肝 SNR の間には高い相関($r=0.81$)が得られていることから、われわれは肝 SNR を臨床 PET 画像の評価指標として用いた。

身長と肝 SNR の相関係数は、 -0.343 の弱い負の相関が認められたことから、身長が高いと若干の画質低下の要因になることが示唆された。被検者の体重が等しい場合、身長が高い被検者は、投与された FDG が体軸方向に分布するため、撮像範囲内の放射エネルギーが低下する。したがって、高身長は、わずかな画質の低下の要因になると考えられる。体重、BMI および断面積と肝 SNR の相関係数は、それぞれ -0.594 , -0.479 , -0.522 といずれも中等度の負の相関が認められた。これらの結果は、 $\text{Lu}_2\text{SiO}_5[\text{Ce}]$ (LSO) 装置の報告であるが Nagaki ら²⁰⁾ の報告と同様、被検者から発生する現象として、体格が大きい(腹囲が大きい)被検者は、偶発同時計数が増加するため PET の画質が低下したと考えられる。

血糖値と肝 SNR の相関係数は、 -0.232 と弱い負の相関が認められた。FDG が細胞内に取り込まれる割合は、細胞外に分布するブドウ糖に依存する。つまり、FDG は、血糖値が高ければ競合の結果、細胞内への集

積が低下すると考えられている²¹⁾。今回の検討では、血糖値が高い場合、FDG の肝臓部への集積が低下したため、肝臓部の統計雑音が増加することによって肝 SNR が低下したと考えられる。本検討における血糖値が 150 mg/dl 以上の被検者は、糖尿病または糖尿病の疑いがあり、食事(糖分)摂取による高血糖ではない。食事による高血糖と糖尿病による高血糖では FDG の分布が異なる²²⁾ため、単純に血糖値の高低を画質評価の指標としてはならない。

投与量と肝 SNR の相関係数は、弱い相関($r=0.266$)であった。また、体重あたりの投与量は肝 SNR と中等度の相関($r=0.502$)が得られた。PET で計測される信号は、正しい信号とされている真の同時計数と、雑音成分となる散乱および偶発同時計数とがある。装置によって計数率特性は異なるが、一般的に FDG の投与量を増加させると、全同時計数に占める雑音成分である偶発同時計数の割合が増加する²³⁾。したがって、単純に投与量を増加させただけでは、わずかな画質向上しか得られない。一方、Everaert ら²⁴⁾ の報告と同様、体重あたりの投与量を増加させることは、PET の画質向上に繋

がると考えられる。しかし、Fig. 3(g)の体重あたりの投与量と肝 SNR の散布図から、体重あたりの投与量を 5.0 MBq/kg 以上に増加させても、肝 SNR は、回帰直線より低い値を示す傾向が認められた。この結果から、デリバリ FDG 使用施設における BGO-PET/CT を用いた PET/CT 検査では、体重あたりの投与量を 5.0 MBq/kg 以上に増加させても画質向上は困難であることが推察された。この結果は、FDG PET, PET/CT 診療ガイドライン 2012¹²⁾の体重あたりの投与量(2.0~5.0 MBq/kg)の上限と一致した。以上のことから、デリバリ FDG 使用施設における PET/CT 検査では、体格の大きい被検者は、通常の投与量でも画質のよい PET 画像を得ることは容易であるが、体格の大きい被検者は、体重あたりの FDG の投与量を 5 MBq/kg を上限に、できるだけ多く投与することによって画質が向上すると考えられる。しかし、投与量増加は、直接的に被検者の被ばく増加につながるため、投与量増加は慎重に考える必要がある。

PET データ収集時間と肝 SNR の関係は、Fig. 4 に示すように収集時間を延長するほど高い肝 SNR が得られた。収集時間の延長は、計測される信号量が増加するため、結果として画像の統計雑音が減少する。このことから、われわれは、収集時間を延長することによって、ノイズの少ない PET 画像を得ることができると考える。しかしながら、収集時間が 120 秒以上の場合、延長時間が 30 秒では画質の向上は認められなかったため、60 秒以上の収集時間延長(180 秒の収集時間)を行う必要があると考えられる。

体重群別の収集時間と肝 SNR の関係から、同じ収集時間の場合、体重が重い被検者はノイズが多く肝 SNR が低値を示す画像となった。収集時間が 90 秒の肝 SNR の中央値は、体重が 60 kg 未満では 8.50、60 kg 以上 70 kg 未満では 6.97、70 kg 以上 80 kg 未満では 5.99、80 kg 以上では 4.89 を示した。90 秒収集における 60 kg 未満の被検者と同程度の肝 SNR(8.50)を得ようとする、60 kg 以上 70 kg 未満では収集時間を 150 秒(肝 SNR : 8.93)、70 kg 以上 80 kg 未満では 180 秒(肝 SNR : 8.65)に設定することで、ほぼ同程度の肝 SNR を得ることが可能となる。この結果は、Nagaki ら²⁰⁾、坂井²⁵⁾の報告と同様、体重が重い被検者は、体重が軽い被検者よりも PET データ収集時間を延長することによって PET 画質の向上が可能であると考えられる。しかし、今回検討を行った収集時間では、80 kg 以上の群ではその肝 SNR(8.50)に該当する収集時間は存在しなかった。これらのことから、BGO-PET/CT 装置かつデリバリ FDG 使用施設では、体重が 80 kg 以上の

被検者の画質は、収集時間を延長することによって向上するが、60 kg 未満の被検者と同等の画質を得ることが困難であることが示唆された。しかし、Fig. 6(d)の結果から、収集時間を延長することによって、肝 SNR の中央値はわずかではあるが上昇傾向が認められた。本検討では 180 秒を最大収集時間に設定したが、80 kg 以上の被検者は、さらに収集時間を延長させることによって画質向上の可能性があると考えられる。

過去の臨床研究において体格の大きい被検者に対する最適な収集条件は、LSO 検出器での検討ではあるが、Halpern ら^{5, 10)}は、体重あたりの投与量が 7.77 MBq/kg、1 ベッドあたり 5 分収集(全身撮像において 35 分間収集)、Masuda ら¹¹⁾は、投与量が 3.72 MBq/kg、収集時間が 1 ベッドあたり 5 分(全身 35 分)としている。しかし、これらの報告は、自施設で合成した FDG を使用する場合には設定可能な条件であるが、デリバリ FDG を使用している施設では実施困難な投与量と収集時間である。FDG-PET 検査は、糖代謝を画像化しているために、すべての被検者において FDG 投与から PET データ収集開始時刻を一定にすることが望ましい¹²⁾。そのため、体重の重い被検者に対して通常より収集時間を延長させる場合には、次の被検者への投与時刻を遅らせなければならない。デリバリ FDG は、決められた検定時刻において 185 MBq の放射エネルギーであるため、投与時刻を遅らせることは、必然的に次の被検者への投与量が減少する。したがって、これらの報告の収集時間は、デリバリ FDG 使用施設では設定困難な長い検査時間となっている。また、一般的に PET 収集時間は、島田ら¹⁸⁾の報告にあるように、標準体型で 120 秒を基準とし、体格の大きい被検者に対してはそれより収集時間を延長させる方法が用いられている。われわれと同様にデリバリ FDG かつ BGO 検出器を使用した坂井²⁵⁾の報告は、体格が大きく体重あたりの投与量が少なくなった患者に対する収集時間を、最長 120 秒の設定にしている。この収集時間では体格の大きい被検者の PET 画質を担保できないことが推察される。

したがって、本研究のようにデリバリ FDG を使用する施設における PET 収集時間は、標準体型における収集時間を短縮するのではなく、体格の大きい被検者の収集時間を可能なかぎり延長させることが望ましいと考えられる。

6. 結 語

われわれは、デリバリ FDG を使用している BGO-PET/CT 装置における、PET 画像に影響を及ぼす因子と適切な PET データ収集時間の検討を行った。体格の

大きくない被検者は、よい画質の PET 画像を得ることは容易であるが、体格の大きい被検者は、FDG の投与量を 5 MBq/kg を上限とし、できるだけ多く投与することが望ましい。さらに、PET 画像の画質向上のためには、体重にあわせて収集時間を可能な限り延長させることが重要である。

謝 辞

本研究に際しご指導、ご協力をいただきました、デジタル画像評価研究会の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Uesaka D, Demura Y, Ishizaki T, et al. Evaluation of dual-time-point ^{18}F -FDG PET for staging in patients with lung cancer. *J Nucl Med* 2008; 49(10): 1606-1612.
- 2) Swisher SG, Erasmus J, Maish M, et al. 2-Fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography imaging is predictive of pathologic response and survival after preoperative chemoradiation in patients with esophageal carcinoma. *Cancer* 2004; 101(8): 1776-1785.
- 3) Romesser PB, Qureshi MM, Shah BA, et al. Superior prognostic utility of gross and metabolic tumor volume compared to standardized uptake value using PET/CT in head and neck squamous cell carcinoma patients treated with intensity-modulated radiotherapy. *Ann Nucl Med* 2012; 26(7): 527-534.
- 4) Sanli Y, Kuyumcu S, Ozkan ZG, et al. Increased FDG uptake in breast cancer is associated with prognostic factors. *Ann Nucl Med* 2012; 26(4): 345-350.
- 5) Halpern BS, Dahlbom M, Auerbach MA, et al. Optimizing imaging protocols for overweight and obese patients: a lutetium orthosilicate PET/CT study. *J Nucl Med* 2005; 46(4): 603-607.
- 6) Alessio AM, Sammer M, Phillips GS, et al. Evaluation of optimal acquisition duration or injected activity for pediatric ^{18}F -FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2011; 52(7): 1028-1034.
- 7) Lartizen C, Comtat C, Kinahan PE, et al. Optimization of injected dose based on noise equivalent count rates for 2- and 3-dimensional whole-body PET. *J Nucl Med* 2002; 43(9): 1268-1278.
- 8) Inoue K, Kurosawa H, Tanaka T, et al. Optimization of injection dose based on noise-equivalent count rate with use of an anthropomorphic pelvis phantom in three-dimensional ^{18}F -FDG PET/CT. *Radiol Phys Technol* 2012; 5(2): 115-122.
- 9) Watson CC, Casey ME, Bendriem B, et al. Optimizing injected dose in clinical PET by accurately modeling the counting-rate response functions specific to individual patient scans. *J Nucl Med* 2005; 46(11): 1825-1834.
- 10) Halpern BS, Dahlbom M, Quon A, et al. Impact of patient weight and emission scan duration on PET/CT image quality and lesion detectability. *J Nucl Med* 2004; 45(5): 797-801.
- 11) Masuda Y, Kondo C, Matsuo Y, et al. Comparison of imaging protocols for ^{18}F -FDG PET/CT in overweight patients: optimizing scan duration versus administered dose. *J Nucl Med* 2009; 50(6): 844-848.
- 12) 細野 眞, 佐賀恒夫, 伊藤健吾, 他. FDG PET, PET/CT 診療ガイドライン 2012. 日本核医学会, 2012.
- 13) PET・PET/CT・サイクロトロン設置施設名簿. 月刊新医療 2013; 40(3): 153-157.
- 14) Teräs M, Tolvanen T, Johansson JJ, et al. Performance of the new generation of whole-body PET/CT scanners: Discovery STE and Discovery VCT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007; 34(10): 1683-1692.
- 15) 福喜多博義, 林万寿夫, 鈴木一史, 他. がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン. 核医技 2009; 29(2): 195-235.
- 16) McDermott GM, Chowdhury FU, Scarsbrook AF. Evaluation of noise equivalent count parameters as indicators of adult whole-body FDG-PET image quality. *Ann Nucl Med* 2013; 27(9): 855-861.
- 17) Mizuta T, Senda M, Okamura T, et al. NEC density and liver ROI S/N ratio for image quality control of whole-body FDG-PET scans: comparison with visual assessment. *Mol Imaging Biol* 2009; 11(6): 480-486.
- 18) 島田直毅, 大崎洋充, 村野剛志, 他. FDG-PET/CT 検査における物理学的指標に基づいた収集時間の最適化. 日放技学誌 2011; 67(10): 1259-1266.
- 19) Chang T, Chang G, Clark JW, et al. Reliability of predicting image signal-to-noise ratio using noise equivalent count rate in PET imaging. *Med Phys* 2012; 39(10): 5891-5900.
- 20) Nagaki A, Onoguchi M, Matsutomo N. Patient weight-based acquisition protocols to optimize ^{18}F -FDG PET/CT image quality. *J Nucl Med Technol* 2011; 39(2): 72-76.
- 21) Boellaard R, O'Doherty MJ, Weber WA, et al. FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour PET imaging: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010; 37(1): 181-200.
- 22) 細川正夫 監, 伊藤和夫 編. F-18FDG PET/CT 検査必携. メディカルレビュー社, 東京, 2012: 11-15.
- 23) 大崎洋充, 鈴木一史, 福喜多博義, 他. 三次元 PET 収集における計数率が画質に及ぼす影響. 日放技学誌 2008; 64(4): 407-416.
- 24) Everaert H, Vanhove C, Lahoutte T, et al. Optimal dose of ^{18}F -FDG required for whole-body PET using an LSO PET camera. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003; 30(12): 1615-1619.
- 25) 坂井洋登. デリバリー FDG を用いた PET 検査における画質の技術的検討. 日放技学誌 2007; 63(8): 895-902.

問合せ先

〒701-0192 倉敷市松島 577
川崎医科大学附属病院中央放射線部 甲谷理温