ノート

論文受付
2013年3月13日

論文受理
2013年5月9日

Code Nos. 151
390, 922

二種類のFDG-PETガイドラインに対応した 解析ソフトウェアパッケージの開発

松本圭一 遠藤啓吾

京都医療科学大学医療科学部放射線技術学科

緒言

陽電子放出断層撮影(positron emission tomography: PET)は、陽電子放出核種で標識されたPET薬剤を用いた核医学画像診断法の一つである。 ^{18}F -2-deoxy-2-fluoro-D-glucose(^{18}F -FDG)を用いたPET検査は、組織のグルコース代謝の亢進を画像化できる唯一無二の画像診断法であるため、臨床的有用性の高い腫瘍診断法として、現在300施設を超える施設で施行されている。また、2009年のresponse evaluation criteria in solid tumor(RECIST)改訂¹⁾によって、近年では新しい抗がん

剤治療法の治験において ^{18}F -FDG PET検査が評価基準として用いられることもしばしばあり、一定の画質を保証することがきわめて重要となってきた。

一方、PET装置は偽の同時計数低減と高い空間分解能を実現するためにマトリクス状に配列した小型結晶と光電子増倍管を結合させたブロック検出器を円周上に多数配置した構成である。このため、他の医療機器と比較して設置環境の影響を受けやすく、経年変化によっても物理学的性能が劣化するため日常の点検や性能維持管理が重要である^{2,3)}。また、PET装置は同じ製

Development of Analysis Software Package for the Two Kinds of Japanese Fluoro-D-Glucose-Positron Emission Tomography Guideline

Keiichi Matsumoto* and Keigo Endo

Department of Radiological Technology, Faculty of Medical Science, Kyoto College of Medical Science

Received March 13, 2013; Revision accepted May 9, 2013

Code Nos. 151, 390, 922

Summary

Two kinds of Japanese guidelines for the data acquisition protocol of oncology fluoro-D-glucose-positron emission tomography (FDG-PET)/computed tomography (CT) scans were created by the joint task force of the Japanese Society of Nuclear Medicine Technology (JSNMT) and the Japanese Society of Nuclear Medicine (JSNM), and published in Kakuigaku-Gijutsu 27(5): 425-456, 2007 and 29(2): 195-235, 2009. These guidelines aim to standardize PET image quality among facilities and different PET/CT scanner models. The objective of this study was to develop a personal computer-based performance measurement and image quality processor for the two kinds of Japanese guidelines for oncology ^{18}F -FDG PET/CT scans. We call this software package the "PET quality control tool" (PETquact). Microsoft Corporation's Windows™ is used as the operating system for PETquact, which requires 1070×720 image resolution and includes 12 different applications. The accuracy was examined for numerous applications of PETquact. For example, in the sensitivity application, the system sensitivity measurement results were equivalent when comparing two PET sinograms obtained from the PETquact and the report. PETquact is suited for analysis of the two kinds of Japanese guideline, and it shows excellent spec to performance measurements and image quality analysis. PETquact can be used at any facility if the software package is installed on a laptop computer.

Key words: positron emission tomography (PET), guideline, quality assurance/quality control (QA/QC), positron emission tomography (PET) quality control tool, PETquact

*Proceeding author

造販売元であっても幾何学的な仕様や各種画像処理に依存して画質が異なるため⁴⁾、使用する装置や被検者の体格ごとに投与量や撮像時間を最適化する必要がある⁵⁾。前述の背景から、PET 装置の安全性や性能維持および標準的な画像を得ることを目的に関連学会などが協力して二種類のガイドラインが策定され^{6,7)}、ガイドラインが示す推奨値を用いた撮像時間の最適化も進んでいる⁸⁾。

しかし、専門的な用語や理論を主体に記述してあるガイドラインの内容を十分に理解したうえで PET 測定とデータ解析を行うことは、診療放射線技師の業務が拡大するなかで困難になってきていると予想される。また、いくつかの項目では多数の関心領域を設定してデータ解析しなければならないため膨大な時間を必要とするだけでなく、PET 装置付属のデータ処理部で解析することも困難である。日本核医学会が策定した「PET イメージングにおける撮像の標準化とデータの品質管理および撮像の施設認証」⁹⁾の枠組みの中で、装置の品質管理および撮像法の精度管理の重要性を説いており、PET の臨床現場で働く診療放射線技師の責務が益々大きくなってきている。

本論文では、PET 装置付属のデータ処理部で解析困難であった二種類のガイドラインが規定する性能および画質評価項目すべてをデータ解析して装置の品質管理を行うとともに、煩雑なデータ解析が必要な撮像法の精度管理を容易にし、かつ複数機種で測定されたデータの比較検討も可能にした PET 性能・画質解析ソフトウェアパッケージ「PET quality control tool」(PETquact)を personal computer 上で構築したので報告する。

1. 方法

1-1 開発のコンセプト

PETquact の開発に際して、各性能・画質評価項目および graphical user interface(GUI)は使用者主体で行い、①「FDG-PET 検査における撮像技術に関するガイドライン」(以下、性能評価ガイドライン)と「がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン」(以下、撮像法ガイドライン)に準拠した性能および画質評価解析、②装置固有の処理は PET 装置付属のデータ処理部に委ねる、③ガイドラインで正しく測定されたデータに対応、④初心者でも容易な操作性の実現、⑤関心領域の設定は簡便かつ最小限、⑥装置の保守管理に対応、を開発のコンセプトにした。

1-2 仕様およびアプリケーション

PETquact は、多用されている Windows NT 系を

Fig. 1 An initial screen image of the PET quality control tool (PETquact) with 11 main processing buttons (left side) and menu bars (upper side).

operating system に採用し、laptop computer での使用も想定して画面の解像度を 1070×720 画素にした。また性能評価ガイドラインの引用規格が National Electrical Manufacturers Association (NEMA) であり、撮像法ガイドラインの概要も英文誌に掲載されていることから GUI の表記は英語表記とした。なお、プログラミング言語として、C および Visual C++ の 32 ビットプログラミングデータモデルを用いた。Fig. 1 に PETquact 起動時における主画面を示す。GUI は各種評価項目ボタンとメニューバーに大別した。画面上段に配置した「メニューバー」には、すべての評価項目で共通となる画像読込ボタン (Target と Reference)、Report ボタン、および画像表示に関連するボタンを複数配置し、画像読込ボタンを押すと画像読込プログラムが、また Report ボタンを押すと結果報告書用のプログラムが起動する。

画面左端に縦列された各種評価項目ボタンは、性能評価ガイドラインで規定された性能評価 7 項目と撮像法ガイドラインで規定された画質評価 3 項目が配置され、合計 12 種類のアプリケーションが搭載されている。各種評価項目の矢印ボタンを押すことによって、各項目のアプリケーションが起動する。また最下部の「Setting」ボタンを押すことで、結果報告書に記載される情報 (組織名、装置名、測定者名、解析者名) を入力可能であり、装置名はあらかじめ設定してある 17 機種から選択することも可能である。Table に主要処理ボタンとその性能・画質評価項目を示す。

1-3 アプリケーション例

PETquact で解析可能な性能および画質評価項目は二種類のガイドラインで規定された全 10 項目であるが、

Table Button for the main process that includes various software applications

Main processing buttons	Contents
Spatial resolution	Spatial resolution
Scatter fraction, Count rate	Scatter fraction, Count losses, Randoms measurement
Sensitivity	Sensitivity
Uniformity	Uniformity
DTC, RC accuracy	Accuracy: Corrections for count losses and randoms
Image quality	Image quality, Accuracy of attenuation, and Scatter corrections
Fused image accuracy	Accuracy of image registration
NEC, SNR accuracy	Human PET image quality
Detectability	Lesion detectability
Recovery Coefficient	Image resolution
Setting	Setting of report information

本論文では物理学的減衰補正計算が煩雑な絶対感度 (Sensitivity) の解析と、多数の関心領域を設定する必要がある画像濃度の均一性 (Uniformity)、第一試験 (Detectability) および第二試験 (Recovery Coefficient) について述べる。使用した PET 装置は ECAT EXACT HR+ (CTI/Siemens 社 製) と Discovery PET/CT 600 (General Electric Medical System 社 製) であり、次項 1-3-1 と 1-3-2 は前者の PET 装置を同じく 1-3-3 と 1-3-4 は後者を用いて測定した。

1-3-1 Sensitivity

性能評価ガイドラインにおける絶対感度評価では、「5 本のアルミニウム管 (スリーブ) の測定における各スライスの計数率に対して時間減衰補正を行い、2 つの未知数を持つ回帰式からシステム絶対感度を計算する」としている。PETquact では、ガイドラインに準拠してシステム絶対感度を計算するだけでなく、断面視野中心と中心から 10 cm の距離における内径 3.9 mm のスリーブ測定データを読み込み、各スライスの感度プロファイルを作成する機能を有している。

なお、三次元収集されたデータを解析する場合には、PET 装置付属のデータ処理部で single slice rebinning 法を用いて傾斜サイノグラムを平行サイノグラムに並び替える必要があり、また内径 3.9 mm のスリーブに挿入するプラスチックチューブ内の放射能はあらかじめ電離箱式放射能測定装置 (ドーズキャリブレーション) を用いて測定する。

ここでは、PET 装置の性能評価の解析例として、16.6 MBq の ^{18}F 溶液を封入したスリーブのデータに対して PETquact を用いた絶対感度の解析を行った。

1-3-2 Uniformity

性能評価ガイドラインにおける画像濃度の均一性評価では、「各画像スライスに、1 辺が約 2 cm の正方形関

心領域を再構成画像の辺縁から 1 cm 以内のすべての領域に設定して、スライス内不均一性とシステム均一性を算出する」としている。PETquact では、関心領域設定を簡便かつ最小限にするために、画像読込が完了すると自動的にガイドラインで規定された関心領域を設定する機能を有している。

ここでは、5.9 kBq/ml の ^{18}F 溶液を封入した 20 cm ϕ ×20 cm の円筒ファントムを用いた。ガイドラインに準拠して測定した各スライスあたり 6 メガカウントのデータを filtered back projection 法にて画像再構成し、その画像を PETquact に取り込んで画像濃度の均一性を解析した。なお、PET 画像のマトリクスサイズ、スライス数、およびボクセルサイズは、それぞれ 128×128, 63, および 5.15×5.15×2.43 mm である。

1-3-3 Detectability

撮像法ガイドラインにおける第一試験 (10 mm ホット球描出試験) は、「当該施設における装置の機種毎に適切な撮像条件と再構成条件を決定するために行う」としており、12 分間のリストモード収集データから収集開始時刻 (基準時刻, 基準時刻 +1 分, 基準時刻 +2 分) と収集時間の異なる PET 画像を 30 セット再構成して物理学的指標を算出する。物理学的指標は画素サイズを 1 mm 以下に補間拡大した PET 画像に対して算出する必要があり、そのうちの %バックグラウンド変動性については直径 10 mm の円形関心領域を合計 60 個 (12 個×5 スライス) 設定する必要がある。PETquact では、ホット球がもっとも明瞭に描出される 10 分収集の PET 画像の読込が完了すると自動的に画素サイズを 1 mm に補間拡大し、加えてその画像に対してドロップダウンリストから選択した円形関心領域を一つの画像スライスのみを設定することで自動的に 3 種類の物理学的指標を算出する機能を有している。

Fig. 2 Examples of sensitivity analysis for the performance measurement guideline.

ここでは、バックグラウンド領域に 5.3 kBq/ml の ^{18}F 溶液を封入した胴体ファントムを用いて、ガイドラインに準拠したリストモード収集を行った。収集時間の異なる 30 セットのサイノグラムデータから ordered subsets expectation maximization (OSEM) 法にて画像再構成し、その画像を PETquact に読み込んで 10 mm ホット球描出試験を解析した。なお、PET 画像のマトリクスサイズ、スライス数、およびボクセルサイズは、それぞれ 192×192, 47, および 2.08×2.08×3.27 mm である。

1-3-4 Recovery Coefficient

撮像法ガイドラインにおける第二試験 (Recovery Coefficient) の主目的は、与えられた再構成条件が許容される空間分解能を有するか判定するために行う。各ホット球にバックグラウンド領域の 4 倍放射能濃度の ^{18}F 溶液を封入した試験ファントムを 30 分間のスタティック収集し、得られたデータから 10 mm ホット球のリカバリ係数を算出する。また、前記した第一試験と同様に画素サイズを補間拡大して円形関心領域を設定する必要がある。PETquact では、PET 画像の読込が完了すると画素サイズを補間拡大して、さらに画像スライス内の最大画素値を検出し、ホット球がもっとも明瞭に描出された一つの画像スライスを自動的に表示する機能を有している。不適切な画像スライスの場合には任意に画像スライスを変更し、その画像スライスに対してドロップダウンリストから選択した円形関心領域を設定することでリカバリ係数を算出する。

ここでは、バックグラウンド領域に 2.0 kBq/ml の ^{18}F 溶液を封入した胴体ファントムを用いて、ガイドラインに準拠したスタティック収集を行った。OSEM 法にて画像再構成した画像を PETquact に取り込んでリカバリ係数試験を解析した。なお、PET 画像のマトリクスサイ

Fig. 3 Examples of uniformity analysis for the performance measurement guideline.

ズ、スライス数、およびボクセルサイズは、前項 1-3-3 と同様である。

2. 結果

2-1 Sensitivity

Fig. 2 に絶対感度解析例の結果を示す。Fig. 2 における左側のグラフは 2 カ所の測定位置で測定された各スライスに対する時間減衰補正済みの総計数率である。左側のグラフ上段の数値は、性能評価ガイドラインで規定された回帰式を用いて算出されたシステム絶対感度である。PETquact を用いて解析されたシステム絶対感度は、Daube-Witherspoon ら¹⁰⁾ が報告した ECAT EXACT HR+ の値より約 10% 高値であった。Fig. 2 における右側のグラフは 2 カ所の測定値で測定された各画像スライスにおける感度プロファイルである。体軸方向に配置された 4 個の検出器ブロック (リング) 構造を反映し、四つの凹凸を認めた。

2-2 Uniformity

Fig. 3 に画像濃度の均一性解析例の結果を示す。Fig. 3 における上段右の数値は性能評価ガイドラインで規定された計算式を用いて算出されたシステム不均一性と表示スライスの不均一性である。Fig. 3 における下段のグラフは各画像スライスにおける不均一性プロファイルである。二次元収集の特徴を反映し、頭尾方向の画像スライスにおける均一性が低下した。

2-3 Detectability

Fig. 4 に 10 mm ホット球描出試験の解析例を示す。Fig. 4 における上段の画像は、1 分収集から 10 分収集の PET 画像である。Fig. 4 における下段の表は撮像法

Fig. 4 Examples of phantom experiments: No.1 analysis for the data acquisition protocol guideline.

Fig. 5 Examples of the phantom experiments: No.2 analysis for the data acquisition protocol guideline.

ガイドラインに準拠して自動計算された物理学的指標である。解析時間は本例の47画スライスにおいて、desktop computer[Intel Core i5-2400S 2.5 GHz, メモリ4 gigabyte(GB)]で約28秒、laptop computer(Intel Pentium M 1.30 GHz, メモリ1 GB)で約58秒であった。いずれも5回測定の実験値である。撮像法ガイドラインに明記された各種物理学的指標の推奨値と容易に比較可能であった。

2-4 Recovery Coefficient

Fig. 5にリカバリ係数試験の解析例を示す。Fig. 5における上段左はリカバリ係数を算出した画像、同じく右は各ホット球に対するリカバリ係数のグラフであり、下段は各ホット球のリカバリ係数および測定条件である。撮像法ガイドラインに明記された推奨値と容易に比較可能であった。

3. 考 察

特定保守管理医療機器のクラスII(管理医療機器)に指定されたPET(PET/CTを含む)装置のみならず、医療機器の性能を定期的に点検・管理して正確な情報を提供することは、測定、処理や解析、そして診断にとってきわめて重要であり、医療の質向上や安全性および事故防止にも必要不可欠である。平成19年に医療法が改正¹¹⁾され、①医療機器安全管理責任者の配置、②従事者に対する安全使用のための研修、③保守点検計画の策定と適切な実施、④安全使用に必要な情報収集と安全使用を目的とした方策、の4項目が医療機器の保守点検・安全使用に関する体制として明文化された。保守点検は医療機関(使用者)が自ら適切に実施するべきもの¹²⁾とされているが、診療放射線技師の業務が拡大するなか

で困難になってきていると予想される。

一方、日本核医学技術学会と日本核医学会が共同で作成した撮像法ガイドラインを用いて、がんFDG-PET/CT検査の標準化とデータの品質管理が進んでいるが、このガイドラインで定義された物理学的指標をPET装置付属のデータ処理部で解析することは困難な場合が多い。本PET性能・画質解析ソフトウェアパッケージ「PETquact」は前記の現状を考慮し、前項1-1で述べた開発コンセプトをもって開発した専用のソフトウェアパッケージであり、今後ますます推進されるPET撮像の標準化や施設認証にも有効活用されたいと考える。

性能評価ガイドラインで示された項目の解析は、企業のエンジニアや施設の研究者が開発したプログラムで行われるため、解析結果を単純に比較することはできない。PETquactにおける各アプリケーションは引用規格および関連文献を参考にしてプログラム開発し、その検証は複数装置で測定されたデータを用いて綿密に行ったが、本ソフトウェアパッケージで解析した絶対感度はDaube-Witherspoonら¹⁰⁾が報告した値よりも約10%高値であった(Fig. 2)。Daube-Witherspoonら¹⁰⁾とHerzogら¹³⁾が報告した三次元収集のシステム絶対感度は、それぞれ9.25 cps/kBqと6.92 cps/kBqであり約1.3倍異なる。プラスチックチューブ内に封入する放射エネルギーは数十MBqであることから放射エネルギー測定時における測定誤差と考えられ、Brixら¹⁴⁾が報告した収集方法の違いによる感度差を考慮すれば信頼性の高いアプリケーションが構築できたと考える。また、性能評価ガイドラインと撮像法ガイドラインに準拠した本ソフトウェアパッケージは、複数機種で測定されたデータを同一プラットフォームで解析できるため、装置性能や画質の比較検討ならびにPET撮像の標準化に大いに活用される

と考える。

PETquactにはレポート機能が搭載されており、装置の保守管理にも対応した機能が組み込まれている。絶対感度や画像濃度の均一性のみならず、計数率特性や計数損失および偶発同時計数補正の精度、被検者雑音等価計数など(Fig. 6)、初期性能および大規模な修理後の装置性能の管理や臨床画像データの品質管理および標準化にも有効活用できると考える。またPETquactが格納されたDVD-Rには、各施設で頻繁に測定することが困難なデータがサンプルデータとして添付されており、各アプリケーションの理解を深めるとともに性能評価ガイドラインの概要を理解することも可能である。

学会が撮像の施設認証を推進しているが、撮像法ガイドラインに対応した画像解析ソフトウェアは皆無である。2013年3月現在において、digital versatile disc recordable(DVD-R)に格納された本ソフトウェアパッケージは全国のサイクロtron保有施設やデリバリ施設に配布され、PET画像の標準化や研究など種々の目的に活用されている。核医学関係の学会大会や研究会などでPETquactを用いた研究発表が、われわれの発表¹⁵⁻¹⁷⁾以後増加し、さらに日本放射線技術学会核医学分科会第17回核医学技術研究会(神奈川)で使用されるなど、われわれが目的とした以上の成果が達成されたと考える。

PETquactの動作環境は実用的な処理速度を保つために、1 GHz以上の動作周波数をもつIntel Pentium 互換プロセッサ、1 GB以上のメモリの使用および10 GB以上のhard disk drive(HDD)の空き容量を推奨しておりlaptop computerでも十分使用可能である。PET装置で測定されたデータをインポートしておけば、その解析場所を選ばないことも特徴であり、加えてサイノグラムデータを直接解析する散乱フラクションと計数率特性、および絶対感度のデータインポートに関してはPET装置付属のデータ処理部からエクスポートした非Digital Imaging and Communications in Medicineのサイノグラムデータにも対応していることから、PET装置の性能評価や画質解析をより身近なものにすることができたと考える。医療機器の「保守点検」は、機器の性能を維持して安全性を確保することによって、医療の質向上が期待されている。本ソフトウェアパッケージを用いることによって、装置の安全性や性能の維持および検査の質を確保され、PET画像の標準化やエビデンスの構築の一助になることを期待するものである。

4. 結 語

がん¹⁸F-FDG PET検査を対象とした「FDG-PET検査における撮像技術に関するガイドライン」と「がんFDG-

Fig. 6 Examples of the report screen image for maintenance for the two types of guideline.

- Examples of the scatter fraction, count losses, and random measurement analysis for the performance measurement guideline.
- Examples of accuracy: corrections for count losses and random analysis for the performance measurement guideline.
- Examples of human image quality analysis for the data acquisition protocol guideline.

PET/CT 撮像法ガイドライン」の更なる普及を目的に、両ガイドラインに対応した PET 性能・画質解析ソフトウェアパッケージを開発した。PETquact は、二種類のガイドラインで規定されている性能および画質評価項目すべてを解析するソフトウェアであり、PET 装置付属のデータ処理部には搭載されていない自動関心領域設定や保守管理用のレポート機能を搭載した。本ソフトウェアを用いることで短時間かつ簡便に信頼性の高い解析を行うことが可能であった。また、PETquact は laptop computer でも十分使用可能であり、二種類のガイドラインで規定された PET 装置の性能評価や画質評価解析をより身近なものにすることができた。

謝 辞

本ソフトウェアパッケージの開発や普及および本論文作成にあたっては、長木昭男氏(倉敷中央病院)、三村浩

朗氏(川崎医科大学附属病院)、清水敬二氏(神戸市立医療センター中央市民病院)、谷川泰幸氏、浜田一男氏、大崎洋充氏(日本メジフィジックス株式会社)、菊池 敬氏(北里大学病院)から多大なるご協力いただきました。ここに、深く感謝の念を表します。なお、本研究は日本メジフィジックス株式会社との共同研究(PET 装置及び PET/CT 装置性能評価マニュアル及び当該評価のための試験解析ソフトの開発研究)によって行ったものである。

本論文の要旨は、第 67 回日本放射線技術学会総会学術大会(2011 年 4 月、横浜)および第 31 回日本核医学技術学会総会学術大会(2011 年 10 月、つくば)にて発表し、第 67 回日本放射線技術学会総会学術大会では学術展示賞銅賞を受賞した。

参考文献

- 1) Eisenhauer EA, Therasse P, Bogaerts J, et al. New response evaluation criteria in solid tumours: revised RECIST guideline (version 1.1). *Eur J Cancer* 2009; 45(2): 228-247.
- 2) 日本核医学会. 核医学診療事故防止指針. *核医* 2004; 41(1): i-xxiv.
- 3) Watanuki S, Tashiro M, Miyake M, et al. Long-term performance evaluation of positron emission tomography: analysis and proposal of a maintenance protocol for long-term utilization. *Ann Nucl Med* 2010; 24(6): 461-468.
- 4) 松本圭一, 大崎洋充, 佐藤 敬, 他. 陽電子断層撮影法における画質標準化および定量値の精度に関する研究班報告. *日放技学誌* 2009; 65(5): 668-680.
- 5) 日本核医学会. 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). *核医* 2005; 42(4): 1-22.
- 6) 庄司安明, 大屋信義, 大崎洋充, 他. FDG-PET 検査における撮像技術に関するガイドライン. *核医技* 2007; 27(5): 425-456.
- 7) 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.
- 8) 大崎洋充, 島田直毅, 篠原広行. ファントム試験および NEC_{density} による PET イメージングの最適化. *Med Imag Tech* 2012; 30(5): 250-255.
- 9) 日本核医学会. 分子イメージング戦略会議第二次中間報告. 2011 年 8 月. (www.jsnm.org/files/pdf/2011/molecule/molecule_0003.pdf)
- 10) Daube-Witherspoon ME, Karp JS, Casey ME, et al. PET performance measurements using the NEMA NU 2-2001 standard. *J Nucl Med* 2002; 43(10): 1398-1409.
- 11) 厚生労働省. 医療法施行規則改正「良質な医療を提供する体制の確立を図るための医療法等の一部を改正する法律の一部の施行について」. 医政発第 0330010 号. 平成 19 年 3 月 30 日.
- 12) 一般社団法人日本画像医療システム工業会. PET-CT 診断装置引渡しにおけるガイドライン. 社団法人日本画像医療システム工業会法規・安全部会安全性委員会. 2008.
- 13) Herzog H, Tellmann L, Hocke C, et al. NEMA NU2-2001 guided performance evaluation of four Siemens ECAT PET scanners. *IEEE Trans Nucl Sci* 2004; 51(5): 2662-2669.
- 14) Brix G, Zaers J, Adam LE, et al. Performance evaluation of a whole-body PET scanner using the NEMA protocol. National Electrical Manufacturers Association. *J Nucl Med* 1997; 38(10): 1614-1623.
- 15) 松本圭一. FDG-PET 検査における撮像技術に関するガイドラインー性能評価解析ソフトウェアの開発ー[abstract]. *核医技* 2008; 28(3): 244.
- 16) 松本圭一, 浜田一男, 谷川泰幸. 二種類の FDG-PET ガイドラインに対応した解析ソフトウェアの開発. 日本放射線技術学会第 67 回総会学術大会[予稿集]2011: 314.
- 17) 松本圭一, 浜田一男, 谷川泰幸, 他. 2 種類の FDG-PET ガイドラインに対応した解析ソフトウェアの開発. *核医技* 2011; 31[予稿集], 2011: 308.

問合先

〒 622-0041 南丹市園部町小川東町今北 1 番 3
京都医療科学大学医療科学部 松本圭一