

学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (医 学) 氏名 孫 田 恵 一

学位論文題名

小動物用 PET/SPECT/CT 装置を用いた性能評価およびイメージング手法に関する研究

【背景と目的】

近年、PET・SPECT・CT などの分子イメージング手法は、様々な疾患モデル動物を非侵襲的に評価できるツールとして非常に重要視されており、動物を屠殺することなく *in vivo* で観察できるため、同一の動物を用いてのタイムコーススタディや長期観察ができるなどの利点がある。

現在本学で行われているイノベーション研究事業の一環として、最新型の小動物用 PET/SPECT/CT 装置が導入された。本装置は 3 つのモダリティが同一ガントリ内に配置され、同一寝台ですべての撮像を行うことができる装置である。今後行われる様々な研究において信頼性のあるデータを取得するには、装置の基本性能を把握することは重要なことである。また、研究によっては PET と SPECT のどちらか一方のみを用いることがあり、最適なモダリティ選択をするためにも重要である。現在までに、本装置の PET に関する性能評価は行われているが、SPECT および PET と SPECT の比較評価は未だなされていない。したがって本研究の目的は、PET と SPECT それぞれに関して性能評価を行い、また実際の研究を考慮した条件において両者の比較を行うことにより今後の研究における実験プロトコルや撮像条件の決定のための指標を提示することである。

【材料と方法】

使用した装置は、小動物用 PET/SPECT/CT 装置 (Inveon; Siemens Medical Solutions) であった。評価項目は、SPECT ではエネルギー分解能、空間分解能、感度とし、PET では空間分解能、絶対感度、散乱フラクション・雑音等価計数とした。また、micro Derenzo ファントムを用いた視覚的な空間分解能評価、画質評価ファントムを用いた回復係数測定 (部分容積効果測定)、円筒ファントムを用いた感度と画像均一性評価によって PET、SPECT 両者の比較評価を行った。さらに正常ラットを用いた骨撮像も行った。

撮像および画像再構成条件は、SPECT では核種を ^{99m}Tc 、エネルギーウィンドウを 126–154 keV、360 度収集、3 および 6 度ステップ、回転半径 (線源–コリメータ間距離) を 25–35 mm、60 および 120 投影、1 投影あたりの収集時間を 30–90 秒/投影、0.5 mm および 1.0 mm 径のシングルピンホールコリメータ、画像再構成を 3 次元 Ordered Subset Expectation Maximization 法、減弱・散乱補正はなしとした。PET では核種を ^{18}F 、エネルギーウィンドウを 350–650 keV、コインシデンスウィンドウを 3.432 ns、リストモード 3 次元収集、画像再構成を Filtered back-projection 法、CT 画像を使った減弱・散乱補正はありとした。

【結果】

SPECT 性能評価

エネルギー分解能は 12.4% であった。空間分解能は、回転半径が 25 mm ではホール径が

0.5 mm のときは 0.84 mm、ホール径が 1.0 mm のときは 1.20 mm であった。感度は、線源-コリメータ間距離が 25 mm ではホール径が 0.5 mm のときは 35.3 cps/MBq ($4 \times 10^{-3}\%$)、ホール径が 1.0 mm のときは 76.7 cps/MBq ($9 \times 10^{-3}\%$) であった。

PET 性能評価

視野中心における空間分解能は 1.63 mm、絶対感度は 3.2% であった。ラットサイズ (5 cm ϕ) ファントムにおける散乱フラクションは 19.2%、最大雑音等価計数は、560 kcps (at 97 MBq) であった。

SPECT/PET 比較評価

視覚的に空間分解能を評価する micro Derenzo phantom 画像において、PET では 1.70 mm ϕ のロッドまで SPECT では 1.35 mm ϕ まで視認することができた。回復係数は、全てのロッドにおいて SPECT は PET よりも高く部分容積効果の影響が少ないことがわかった。PET の容積感度は SPECT に比べて約 10^3 倍高く (PET: 3.7×10^3 cps/MBq/mL/cm, ホール径 0.5 mm SPECT: 2.0 cps/MBq/mL/cm, ホール径 1.0 mm SPECT: 4.9 cps/MBq/mL/cm) なり、画像均一性も PET が優れていた。正常ラットの骨撮像では、 ^{18}F -PET 画像は感度の高さを反映して統計ノイズの少ない画像であり、一方 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP SPECT 画像は空間分解能の高い画像であった。

【考察】

空間分解能評価、micro Derenzo ファントム画像および回復係数評価の結果から、SPECT は PET よりも非常に高い空間分解能となることがわかった。これは、PET ではガンマ線を検出するクリスタルにおけるガンマ線の散乱、陽電子飛程あるいは消滅ガンマ線の角度揺らぎの影響により空間分解能を劣化させているものと考えられる。一方、PET は SPECT よりも約 10^3 倍感度が高かった。さらに、円筒ファントムを使った画像均一性評価において PET は SPECT に比べて変動係数が低く均一性が良好であった。これは、SPECT ではコリメータによる検出器への入射ガンマ線の数が少なくなり、統計ノイズが増加するためと考えられる。また、SPECT は空間分解能が高く PET は感度が高いという関係性は、ラットの骨画像でも同様であった。

一般的に、PET の空間分解能は陽電子飛程の影響を補正することにより改善されると言われており、特に撮像対象の小さい小動物用装置ではこの改善効果が大きいと考えられている。MAP 再構成は、陽電子飛程の影響を考慮して再構成を行うことができる可能性のある方法であるが、未だ研究段階であり実現はされていない。一方、SPECT の空間分解能はコリメータのホール径を小さくすることにより、更なる高分解能化を図ることが可能であるが、小さなホール径は感度が低下することも考慮しなければならない。

【総括および結論】

SPECT は PET よりも非常に高い空間分解能であった。一方、PET は SPECT よりも約 10^3 倍の高い感度であった。これらはお互いに欠点を補完する trade-off の関係であった。SPECT と PET の性能を評価することによって、それぞれの特徴を把握できた。また、様々な目的において用いられる分子イメージング手法は、灌流画像、代謝画像、脳トランスポーターセプター画像などを複合して用いられるため、SPECT あるいは PET から得られた結果を解釈するには、それが両者の単なる性能差に起因するものかどうかを見極めるために、モダリティ間の性能比較することは非常に重要である。本研究によって明らかにした SPECT および PET の詳細な性能測定および比較結果が、実際の動物を用いた研究の有用な情報となると考えられた。