

| | |
|----------|--|
| 氏名・本籍 | 甲谷 理温 (岡山県) |
| 学位の種類 | 博士 (生命システム科学) |
| 学位記番号 | 博甲 第33号 |
| 学位授与の日付 | 平成28年3月18日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 (課程博士) |
| 学位論文題目 | ^{18}F -fluorodeoxyglucose-PET/CT 検査の新たな最適検査法に関する研究 |
| 学位論文審査委員 | 主査 教授 大西 英雄 副査 教授 堀内 俊孝 教授 原田 俊英 教授 加藤 一生 |

学位論文の要旨

第1章 緒言

悪性腫瘍組織のほとんどは、正常人体組織に比べ糖代謝が亢進する。その特徴を利用して ^{18}F -fluorodeoxyglucose (FDG) を使用した positron emission tomography/ computed tomography (PET/CT) 検査は糖代謝を画像化することにより、がんの病期診断および転移再発診断に非常に有用な検査の1つとされている。PET/CT 検査の最適な検査方法 (検査時間, 投与放射エネルギー) の研究は盛んに行われているが、国や地域によって状況が異なるため、より臨床のニーズに沿った検査方法の確立が望まれている。

本研究の目的は、臨床において状況に応じた適切な PET/CT 検査を行う技術を研究することである。成人に対しては簡便に検査時間を調整する方法、小児では被ばく低減のため投与放射エネルギーの低減化の検討を行った。また、新しい画像処理方法を使用することで現状よりも高画質な PET 画像の提供が可能で、且つ被ばく低減の可能性があるため、新しい画像処理方法の客観的な検討も併せて行った。

第2章 体幹部断面積と雑音等価計数から算出した検査時間算出法の考案

従来の成人 PET 検査の検査時間設定は体重や身長から算出される方法が用いられてきた。PET/CT 検査では必ず CT 画像を取得するが、体型を直接画像化した CT 画像が検査時間設定に用いられることはなかった。私は、PET 画像の画質評価指標に用いられている雑音等価計数 (noise equivalent count: NEC) と CT 画像から得られた患者体幹部断面積を用いて、患者個々の体型にあわせた新たな PET 検査時間算出法を考案しその妥当性の検討を行った。はじめに最適な PET 画質となる NEC を視覚評価から決定した。次に、159 人の異常なしと診断された患者データから体幹部断面積と NEC の関係式を導き出し、断面積ごとに検査時間を設定する収集時間算出式を作成した。従来法に比較して、私が考案し

た算出法は、画質を担保しながら、体格の小さな患者は12%の検査時間の短縮が可能であり、大きな患者は、通常より40%長い検査時間を設定することで一定のPET画像が得られた。本方法は、簡便かつ患者個々の体型にあわせた検査時間の設定が可能であった。

第3章 小児PET検査における投与放射エネルギー低減

本邦は他国に比べ医療被ばくが最も多い国とされている。特に小児は診断可能な画質を維持したままで、できる限り被ばくを少なくすることが望まれている。ガイドラインにおける小児への投与放射エネルギーは、3.0MBq/kgであり成人の3.7MBq/kgと20%の差である。過去の小児PET検査の投与放射エネルギーの報告は、臨床画像評価が多く、ファントムを用いた基礎研究はあまり見受けられない。またPET検査では、成人に対しては、直径10mmの模擬病変の検出能が評価対象となっている。私は、小児PET検査において診断に必要な画質を維持したままでの投与放射エネルギー低減の可能性の検討を行った。私は小病変が配置可能な小児ファントムを作成し、直径10mmと7mm病変の検出能を信号雑音比、コントラストおよびバックグラウンドの均一性を用いて評価を行った。直径10mmの病変を検出するには、1.4MBq/kgまで投与放射エネルギーの低減が可能であった。これは、小児ガイドラインより33%低い放射エネルギーであった。7mm病変の検出には、成人と同等の放射エネルギーが必要と思われる。検査時間とのマッチングの課題が残るが、小児PET検査における投与放射エネルギー低減において非常に有用な知見を得た。

第4章 PET装置における空間分解能補正 (point spread function: PSF 補正) 効果及び精度の研究

適正な検査時間および投与放射エネルギー低減を行うためには、PET画像の空間分解能の向上(画像ボケの改善)が必須であると考えられる。最新のPET装置は、PSF補正が可能となりPET画像の空間分解能が飛躍的に向上した。本研究は3台の最新PET装置を使用し、PSF補正の違いを多装置間にわたってシミュレーションと実測によってその有効性と精度を検証した。PSF補正によって最大61%、最少でも31%の空間分解能の改善が認められた。この結果から、臨床時でのPSF補正を適切に使用することで、PET検査における、成人および小児の小病変検出の向上や投与放射エネルギー低減につながる結論を得た。

第5章 小児PET検査における空間分解能補正の有用性

目的は、PSF補正を用いて小児投与放射エネルギーの低減化を行うことである。PSFを行うことによってバックグラウンド均一性が22%向上した。PSF補正を使用することによって、従来どおりの画質を維持したまま、ガイドラインより67%の投与放射エネルギーの低減の可能性が示された。

第6章 総括

我々が考案した方法は、従来法よりも患者体型を直接反映していると考えられるため、体格に依存しない一定のPET画像を得ることが可能かつ簡便で精度の向上が認められた。この結果からより精度の高いがん診断に貢献できると考える。特に、小児に対する投与放射エネルギー低減では、既知の放射エネルギーを使用した小児ファントムを作成し実験を行うことによって、さらに33%投与放射エネルギーの低減が可能と考えられた。この結果は、小児PET検査における客観的なデータの提示ができたと考えられる。また、PSF補正を適切に使用することによって、画質が改善され、画質を維持したまま67%投与放射エネルギーの低減が可能と思われる。

審査の結果の要旨

本研究の目的は、臨床 ^{18}F -fluorodeoxyglucose (FDG)-PET/CT 検査における新たな検査時間最適化法の開発と投与量低減化である。

本論文は 6 章から構成される。1 章では、PET/CT 装置の原理および画像再構成法などの PET/CT 検査に関わる基礎及び、先行研究などから研究に至った経緯を述べた。2 章では、従来の成人 PET 検査の検査時間設定は煩雑で精度に欠けるため、減弱補正用 CT 画像を用いて体幹部断面積と雑音等価計数 (NEC) から最適な検査時間算出法を考案しその精度を検証した。159 人の患者データから体幹部断面積と NEC の関係式を導き出し、断面積ごとに検査時間を設定する収集時間算出式を見出しその妥当性を検証した。検証の結果、画質を担保しながら、体格の小さな患者は 12% の検査時間の短縮が可能であり、大きな患者は、通常より 40% 長い検査時間を設定することで一定の PET 画像が得られることが明らかになった。3 章では、小児 PET 検査における投与放射エネルギー低減の可能性を述べた。小児に適応可能なファントムを新規に考案し、そのファントムから直径 10 mm と 7 mm 病変の検出能を信号雑音比、コントラストおよびバックグラウンドの均一性を用いて評価を行った。小児の結果は、成人より変動係数が 21.5% 低値を示し、直径 10 mm の病変を検出するには、2.0 MBq/kg で十分であり小児ガイドラインより 33% 低減可能であると結論づけた。4 章では、空間分解能 (PSF) 補正に対する効果を検証した。成人のファントムを用いて PSF 補正により 61% の改善が認められ、画像均一性も 40% 向上した。5 章では、小児領域に PSF 補正を導入し、画像均一性の向上により投与量の低減を試みた。試作した小児ファントムを用いた実験結果は 10 mm の病態検出能を担保しても小児ガイドラインより 67% の投与量の軽減が可能であることを示唆した。6 章は総括である。

本研究は、FDG-PET/CT 検査における画質に対する検査時間及び投与量の軽減の影響をファントム実験及び臨床データから解明し、客観的評価からそれらの妥当性を見出した点で評価に値する。これらの新知見は精度の高いがん診断および特に小児領域の投与放射エネルギーの低減に貢献するものである。よって、本論文は博士 (生命システム科学) の学位に値するものと認められる。