

様式4A

学位論文要旨

学位請求論文題名

「骨 SPECT 自動解析ソフトウェアの開発およびその有用性に関する研究」

著者名

市川 肇

金沢大学大学院医薬保健学総合研究科保健学専攻

医療科学	領域
量子診療技術学	分野
学籍番号	1929022029
氏名	市川 肇
主任指導教員名	小野口 昌久
副指導教員名	川井 恵一
副指導教員名	絹谷 清剛

【緒言】

我々はこれまでに骨 single-photon emission computed tomography (SPECT) の画質評価のための専用ファントム (骨ファントム) を開発したが、画質評価は十分な知識や再現性によって客観的な結果が得られるため、非常に煩雑かつ困難である。とりわけ、骨 SPECT において最も重要と考えられる検出能の評価は多大な労力を要するとともに、ファントムを用いた評価方法は確立されていない。

本研究では骨ファントム画像の数項目の物理評価指標を自動解析し、それらをもとに検出能を自動分類するためのソフトウェアを開発した。その中で、SPECT 画像中の最大値に対するあるカットオフ値での陽性病変の体積と検出能の関係に着目し、検出能と関連する新しい物理評価指標を提案した。さらに、本ソフトウェアの妥当性と再現性を検証した。

【方法】

使用したファントムは、椎体に直径 13, 17, 22 および 28 mm の 4 つの球状模擬病変が等間隔に配置されており、椎体と球状模擬病変の放射能濃度比を 1 : 6 に調整するため、バックグラウンド、椎体および球状模擬病変にそれぞれ 8, 50 および 300 kBq/mL の ^{99m}Tc 溶液を充填した。SPECT の撮像は 1 回転あたり 1 分で 15 分間の連続回転とした。画像再構成は 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15 分に相当する投影データに対して Flash3D 法を使用して、散乱線補正および減弱補正ありとなし、Gaussian フィルタの full width at half maximum (FWHM) 値を 0, 4.8, 9.6 mm の 3 段階に変動させることによって、撮像時間および画像再構成条件の異なる 54 組の SPECT 画像 (216 個の球状模擬病変 : 開発用 120 および検証用 96) を得た。

自動解析ソフトウェアの画像解析手順は、statistical parametric mapping (SPM) 2 を用いて剛体変換し、CT 画像から作成した volume of interest テンプレートによってカウントを測定して物理評価指標 (contrast-to-noise ratio; CNR, percentage of detectability equivalent volume; %DEV, coefficient of variation; CV, target-to-normal bone ratio, recovery coefficient, FWHM) を算出した。物理評価指標をもとに検出能を分類し、結果レポートを出力した。

検者内および検者間再現性を評価するため、4 名の核医学専門技師が位置情報のみが異なる 7 組の SPECT 画像を手動による region of interest 設定 (手動法) および自動解析ソフトウェアを用いて CNR の測定を行い、7 画像の検者内の %CV を検者内再現性、画像毎の 4 名の %CV を検者間再現性とした。球状模擬病変の検出能 (detectability score, DS) は 4 段階 (1.poor, 2.average, 3.adequate, 4.excellent) で定義した。DS のゴールドスタンダードは、十分な経験 (臨床経験 18-26 年) を有する核医学専門技師 3 名が分類した。DS に関連する物理評価指標とそのカットオフ値を解析するため、開発用の球状模擬病変の物理評価指標にもとづいて decision tree analysis (DTA) を行った。検証用の球状模擬病変を用いて、DTA によって得られた物理評価指標とそのカットオフ値の妥当性を検証した。加えて、経験年数の異なる 3 つのグループによる観察実験を行い、経験年数と一致度の関連を評価した。

【結果】

手動法による CNR 測定の検者内再現性は 13.2%であったものの、検者間再現性は 39.6%を示し、球状模擬病変の大きさに関わらず、検者間で最大 3 倍以上の差が生じた。一方、自動解析ソフト

ウェアでは検者内再現性は 1.7%、検者間再現性 0.0%であり、同じ画像であれば同じ結果を示した。自動解析ソフトウェアによって算出された 6 つの物理評価指標の傾向は理論的に妥当な結果を示した。DTA では%DEV が検出能と最も関連の強い物理評価指標であることを示し、次いで CNR によって DS を 4 段階に分類し、ゴールドスタンダードとほぼ完璧な一致を示した。検証用 SPECT 画像の DS では、一致率は 91.7%、kappa 係数は 0.93 を示した。観察者の経験年数と自動解析ソフトウェアとの DS の一致率は経験年数が長いグループほど高値を示した。

【考察】

本ソフトウェアは検者の経験年数や資質に依存しない信頼性の高い結果を得ることができる。検出能は%DEV および CNR を用いることによって、CNR のみで分類されていた従来法よりも正確かつ詳細に分類可能となった。本ソフトウェアは SPM2 やピクセル補完によって撮像条件などが異なる装置間での画質の比較も容易に可能であると推測する。ファントムを用いた画質評価は撮像技術の理解を深めるとともに最適化に貢献できると考える。

【結語】

本ソフトウェアは、SPECT 画像ファイルを選択するだけで高い再現性をもって物理評価指標を算出し、それらをもとに骨ファントムの検出能を自動分類することができた。多施設でのデータの蓄積によって、骨 SPECT 画像技術の標準化のためのツールとして利用できる可能性があると考ええる。

博士論文審査結果報告書

学籍番号 1929022029

氏名 市川 肇

論文審査員

主査(職名) 川井 恵一 (教授)



副査(職名) 絹谷 清剛 (教授)



副査(職名) 小野口 昌久 (教授)



論文題名 骨SPECT自動解析ソフトウェアの開発およびその有用性に関する研究

論文審査結果

【論文内容の要旨】

骨 SPECT が臨床利用され始めたが、骨 SPECT の画質評価を行うためのツールは整備されていなかった。本研究では以前に開発した骨シンチ用ファントムによる SPECT 画像の物理指標を自動で解析し、それらの結果をもとに検出能を自動分類するためのソフトウェアを開発した。

低エネルギー用高分解能型コリメータを装着した SPECT/CT 装置 Symbia Intevo (Siemens 社製) を使用して、SIM² bone ファントム (京都科学社製) を撮像した。撮像条件および画像再構成条件を変動させて 54 組の SPECT 画像を取得した。開発した自動解析ソフトを用いて 54 組の SPECT 画像の球状病変の物理評価指標 (contrast-to-noise ratio ; CNR, percentage of detectability equivalent volume ; %DEV, coefficient of variation, target-to-normal bone ratio, recovery coefficient および full width at half maximum) を算出した。従来の手動による ROI 設定での CNR の測定と自動解析ソフトウェアを使用した CNR の測定の検者内および検者間再現性を 4 名の核医学専門技師で評価した。十分な経験を要する 3 名の核医学専門技師が球状病変の検出能 (detectability score ; DS) を 4 段階で評価し、ゴールドスタンダードとして定義した。30 組の SPECT 画像の球状病変の DS をもとに物理評価指標の決定木解析を行い、物理評価指標と DS の関連とその基準値を解析した。決定木解析の結果をもとに DS の自動分類を行い、その精度を 24 組の SPECT 画像で検証した。

自動解析ソフトウェアの検者内および検者間再現性は従来の方法よりも極めて高い結果を示した。決定木解析では %DEV および CNR によって DS を 4 段階に分類し、ゴールドスタンダードとほぼ完璧に一致した。

新しい物理評価指標である %DEV を用いることでこれまでの基準よりも正確かつ詳細に検出能を分類できることが示唆された。これまで画質評価は非常に煩雑かつ再現性が低いことが問題であったが、自動解析ソフトウェアは SPECT 画像を選択するだけで評価者に依存せず、再現性の高い結果が出力される点において有用性が高い。

【審査結果の要旨】

骨 SPECT 画像の最適化を目的として、ファントム画像の自動解析ソフトウェアを開発した。従来の手動による解析結果と比較して極めて高い再現性を有すること、本ソフトウェアから自動分類される検出能の妥当性について証明し、本ソフトウェアを利用した骨 SPECT 画像の標準化の可能性を見出したことから本研究の意義は高い。審査会での質疑応答も的確であった。以上、学位請求者は本論文の論文審査及び最終試験の状況に基づき、博士 (保健学) の学位を授与するに値すると評価する。