

学位論文題名

心電図同期心筋 SPECT から算出される左心室機能の
精度と再現性に関する心筋動態ファントムによる研究

学位論文内容の要旨

左心室機能および左心室容積は、心疾患の診断や予後評価に重要な情報を与える。心電図同期心筋シングルフォトンエミッションCT (Single Photon Emission Computed Tomography: SPECT) と専用解析アルゴリズムの処理から左心室容積や駆出率 (Ejection fraction: EF), 壁運動距離 (Wall motion: WM) および壁厚増加率 (Wall thickening: WT) を算出することは既に広く行われている。この手法は1回の検査で、心筋血流の情報と同時に左心室機能の情報も得ることができる。しかしながら、この検査から得られる左心室機能の精度評価は、他の検査法から得られる値との比較で報告されていたに過ぎない。今回、我々は心筋動態ファントム [End diastolic volume (EDV), 143 mL; End systolic volume (ESV), 107 mL; Ejection fraction (EF), 25%] を開発した。このファントムを使用することで、撮像装置、収集・処理条件および解析アルゴリズムの種類と算出される心機能の精度と再現性について検証した。

収集条件の違いとしては心電図同期における R-R 間隔の分割数とした。条件は 8 分割および 16 分割の 2 種類とした。次に、処理条件の検討としては前処理フィルタであるバターワースフィルタの遮断周波数を変化させた。撮像装置の違いは Anger 型シンチレーションカメラと半導体素子接続シンチレータ型カメラを比較した。アルゴリズムの違いとしては、Quantitative Gated SPECT (QGS) アルゴリズムと Mirage perfusion SPECT アルゴリズムの 2 種類を比較した。半導体素子接続シンチレータ型カメラの SPECT データに Mirage perfusion SPECT アルゴリズムを施したもの (study 1), 半導体素子接続シンチレータ型カメラに QGS アルゴリズムを施したもの (study 2), Anger 型シンチレーションカメラに QGS アルゴリズムを施したもの (study 3) とした。

収集条件を変えた場合、測定された左心室容積と真の容積との間には 8 分割および 16 分割とも非常に良い相関であった。R-R 間隔 16 分割においては $y = 13 + 0.63x$, $r = 0.99$, $SEE = 1.3 \text{ mL}$, 8 分割においては $y = 23 + 0.54x$, $r = 0.95$, $SEE = 2.4 \text{ mL}$ であった。しかし両方の分割数とも過小評価していた。このファントムの真の EF は 25% であるが、16 分割においては 22%, 8 分割においては 19% であった。処理条件を変えた場合、左心室容積は遮断周波数 0.54 cycles/cm でプラトーに達した。しかしプラトーにおいても ED 時で 17%, ES 時で 8% 過小評価された。左心室容積の 5 回測定における標準偏差は、すべての遮断周波数において 2.2 mL 未満であった。遮断周波数 0.39 cycles/cm 以上では、WM および WT はほとんど変化しなかった。標準偏差は、WM で 0.6 mm 未満、WT で 8.7% 未満と非常に低い値であった。撮像装置およびアルゴリズムの違いの結果としては、ED 時の容積 $110 \pm 8 \text{ mL}$ (study 1), $112 \pm 2 \text{ mL}$ (study 2), $111 \pm 1 \text{ mL}$ (study 3) であった。一方 ES 時の容積は $86 \pm 8 \text{ mL}$ (study 1), $93 \pm 4 \text{ mL}$ (study 2), $91 \pm 2 \text{ mL}$ (study 3) であった。

EF においては $23 \pm 3\%$ (study 1), $17 \pm 2\%$ (study 2), $18 \pm 1\%$ (study 3) であった。これらの条件における EF も真の値に近く、それぞれに有意差は認められなかった。

左心室容積が過小評価された理由は空間分解能劣化によるボケのため心筋厚が実際より厚く描出されたためであった。R-R 間隔 8 分割のほうが 16 分割より EF を過小評価した理由は、時間方向のスムージングが掛かったためであった。処理条件において、EF は遮断周波数にあまり依存しなかった。理由は左心室容積が ED 時 ES 時の両方において同程度の空間的ボケの影響により相殺されたためと考えられた。測定された WM も遮断周波数にあまり依存しなかった。この理由は、測定される ED 時の心内膜はボケのため内腔側にシフトするが、同様に測定される ES 時の心内膜も内腔側にシフトし、同程度の空間的ボケであるため相殺され、WM としてはあまり変化しない結果となった。半導体素子接続シンチレータ型カメラにおける心電図同期心筋 SPECT からの左心室容積および EF は Anger 型シンチレーションカメラと同程度であった。これは半導体素子接続シンチレータ型カメラに低エネルギー汎用型コリメータを使用したため、両カメラとも同程度の空間分解能となり空間的ボケが同等で心内膜の内側へのシフトが等しくなったためと考えられた。

結語として心電図同期心筋 SPECT を用いて左心室容積を測定することは妥当であるといえた。駆出率、壁運動距離および壁厚増加率の値は、極端に低い遮断周波数 (< 0.39 cycles/cm) による処理条件以外ではあまり変化しなかった。そして高い再現性が認められた。半導体素子接続シンチレータ型カメラにおける心電図同期心筋 SPECT においても Anger 型シンチレーションカメラと同程度の精度で左心室機能と容積を求めることができた。また 2 種類の左心室機能解析アルゴリズムを使用した場合においても同程度の精度で算出することが可能であった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 玉 木 長 良

副 査 教 授 櫻 井 恒 太 郎

副 査 教 授 宮 坂 和 男

学 位 論 文 題 名

心電図同期心筋 SPECT から算出される左心室機能の 精度と再現性に関する心筋動態ファントムによる研究

左心室機能および左心室容積は、心疾患の診断や予後評価に重要な情報を与える。心電図同期心筋シングルフォトンエミッションCT (Single Photon Emission Computed Tomography: SPECT) と専用解析アルゴリズムの処理から左心室容積や駆出率 (Ejection fraction: EF), 壁運動および壁厚増加率を算出することは既に広く行われている。この手法は1回の検査で、心筋血流の情報と同時に左心室機能の情報も得ることができる。本研究は心筋動態ファントム [End diastolic volume (EDV), 143 mL; End systolic volume (ESV), 107 mL; Ejection fraction (EF), 25%] を開発し、このファントムを使用することで撮像装置、収集・処理条件および解析アルゴリズムの種類と算出される心機能の精度と再現性についての検証を行った。収集条件の違いとしては心電図同期における R-R 間隔の分割数とした。次に、再構成処理条件の検討としては前処理フィルタであるバターワースフィルタの遮断周波数を変化させた。撮像装置の違いは Anger 型シンチレーションカメラと半導体素子接続シンチレータ型カメラを比較した。アルゴリズムの違いとしては、Quantitative Gated SPECT (QGS) アルゴリズムと Mirage perfusion SPECT アルゴリズムの2種類を比較した。測定された左心室容積と真の容積との間には8分割および16分割とも非常に良い相関であり、心電図同期心筋 SPECT を用いて左心室容積を測定することは妥当であるといえた。駆出率、壁運動および壁厚増加率の値は、極端に低い遮断周波数による処理条件以外ではあまり変化しなかった。そして高い再現性が認められた。半導体素子接続シンチレータ型カメラにおける心電図同期心筋 SPECT においても Anger 型シンチレーションカメラと同程度の精度で左心室機能と容積を求めることができた。また2種類の左心室機能解析アルゴリズムを使用した場合においても同程度の精度で算出することが可能であった。

口頭発表の後に櫻井教授からトリガー方法と心拍数の設定、駆出率の過小評価の原因、先行研究の有無、現実の心臓により近づけるための改良点、収縮機能評価の将来性についての質問があった。次に宮坂教授から Anger 型と半導体素子接続シンチレータ型に空間分解能の差があっても測定値に差がなかった機序、high pass filter の効果についての質問があった。また玉木教授からは、CTとMRIへのファントム応用、空間分解能の向上による容積の過小評価改善、将来に向けての研究テーマについて質問があった。いずれの質問に対しても、申請者は自験例や文献を引用し、概ね妥当な解答を行なった。

これまでの研究では、心電図同期心筋 SPECT からの左心室機能の精度評価としては他の検査法から得られる値との比較で報告されていたに過ぎなかったが、心筋動態ファントムを開発し、心機能の精度と再現性を真の値と比較することで直接的に実証した点で本研究は高く評価され、学位論文に値するものと判断した。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、申請者が博士（医学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。