

学位論文題名

周波数空間バターワースフィルタおよび
ウィナーフィルタを用いた核医学画像処理に
関する基礎的および臨床的検討

学位論文内容の要旨

1. はじめに

核医学画像には多くの雑音成分が含まれている。全周波数域に均一に存在する統計雑音、および装置の性能に起因する低周波雑音が存在する。核医学画像の定量性を改善させるためには、これらの雑音成分の抑制が重要で、種々のフィルタ処理が試みられている。バターワースフィルタは高周波雑音成分の除去、ウィナーフィルタは高周波および低周波雑音成分の除去を目的に設計されたものである。一般にフィルタ処理には実空間フィルタが用いられている。これはフィルタの周波数応答を近似させた行列を直接、画像に重畳する方法で、短時間で周波数空間処理に近似した結果を得るが、問題点は、近似計算であるため正確さを欠くこと、実空間上では対象となる画像から理論的にフィルタの最適パラメータを算出できない点である。それに対し、画像をフーリエ変換し、周波数空間でフィルタ関数を乗算する周波数空間処理は、画像に対して最適パラメータを理論的に算出でき、正確なフィルタ処理を行うことができるため、実空間フィルタ処理よりも定量性の向上が期待できる。各画像に対し最適な周波数空間フィルタのパラメータを求める方法を開発し、実空間および周波数空間フィルタ処理によって核医学検査から得る定量的指標の改善を、ファントム実験および臨床データより検討した。

2. 対象と方法

対象画像をフーリエ変換し各周波数のパワースペクトル平均強度分布曲線を求め、これより雑音成分が対象画像の信号成分より多い

高周波域の境界周波数(遮断周波数)、雑音と対象画像の信号比を算出した。遮断周波数はバターワースフィルタのパラメータになる。ウィナーフィルタのパラメータは2つあり、雑音と対象画像の信号比と、画像のぼけの程度を示す線像分布関数の半値幅(FWHM)である。FWHMは線状線源によるファントム実験から求めた。この方法によって適切なフィルタのパラメータが導出されているかを、カウント数の異なるファントム像を用いて検討した。

定量性の検討として、臨床データは心電図同期心プールシンチグラフィを用い、また心プール像をモデル化したファントム実験を行ない、フィルタ処理後の駆出率の改善を検討した。

ファントム実験は、 ^{99m}Tc 溶液0.012MBq/mlを満した円筒形容器に ^{99m}Tc 溶液0.074MBq/mlを封入した容積を可変できるバルーンを置いた。バルーン容積100mlの像を最大拡張期像のモデルとした。5ml刻みでバルーン容積を変えて5~95mlの像を収集し最大収縮期像のモデルとした。像は20秒、60秒収集の2種類撮り、収集カウントの少ない臨床例、カウントの十分な臨床例と同程度のカウントになる像を得た。これらの像に平滑化実空間処理、およびバターワース、ウィナーフィルタによる周波数空間処理を行ない、駆出率を算出した。既知の駆出率と各フィルタ処理後の像から算出した駆出率との相関をt検定を用いて比較検討した。

臨床データに用いた対象は心プールシンチグラフィと心臓カテテル検査を3週間以内に施行した31例である。心プールシンチグラフィはピロリン酸(10mg)静注後の ^{99m}Tc (740MBq)の静脈内投与による生体内赤血球標識法で行った。各症例とも心電図同期画像に平滑化実空間処理、およびバターワースおよびウィナーフィルタによる周波数空間処理を行ない、左室駆出率を算出した。心臓カテテル検査と各フィルタ処理後の心プールシンチグラフィの左室駆出率の相関をt検定を用いて比較検討した。

3. 結果

考案した周波数空間バターワース、ウィナーフィルタのパラメータ算出法で適切なフィルタ設計が行なわれることをファントム実験によって確認した。

平滑化処理、周波数空間バターワース、ウィナーフィルタ処理を

行なったファントム像から求めた駆出率をそれぞれS. EF、B. EF、W. EFと表現した。60秒収集像における既知の駆出率Actual EFとS. EF、B. EF、W. EFとの相関係数はそれぞれ0.935、0.965、0.978であり、S. EFとB. EF、S. EFとW. EFの間には1%以下、B. EFとW. EFの間には5%以下の危険率で有意差を認めた。また20秒収集像について同様の検討を行なったところ、Actual EFとS. EF、B. EFおよびW. EFとのそれぞれの相関係数は0.884、0.931、0.959であり、S. EFとB. EF、S. EFとW. EF、B. EFとW. EFの間には、いずれも1%以下の危険率で有意差を認めた。

平滑化処理、周波数空間バターワース、ウィナーフィルタ処理を行なった心プール像から求めた左室駆出率をそれぞれS. LVEF、B. LVEF、W. LVEFと表現した。心カテ検査による左室駆出率LVGEFとS. LVEF、B. LVEF、W. LVEFとの相関係数はそれぞれ0.83、0.86、0.88であった。対応のあるt検定でS. LVEFとB. LVEF、S. LVEFとW. LVEFの間には1%以下、B. LVEFとW. LVEFの間には5%以下の危険率で有意差を認めた。カウントが100,000以下の9症例で同様の検討を行ない、LVGEFとS. LVEF、B. LVEFおよびW. LVEFとのそれぞれの相関係数は0.79、0.83、0.85であった。対応のあるt検定でS. LVEFとB. LVEF、S. LVEFとW. LVEF、B. LVEFとW. LVEFの間には、いずれも1%以下の危険率で有意差を認めた。

4. 考察

核医学画像の定量性は画像の信号成分を損わずに雑音成分をより多く除去するフィルタ処理で、より良く改善され则认为。バターワースフィルタは理論的に遮断周波数を導いた上で高周波成分を除去するのに対し、平滑化実空間処理の高周波成分抑制は遮断周波数が不明であり画像の信号成分損失の危険を伴う。またバターワースフィルタは雑音の高周波成分のみ除去するのに対しウィナーフィルタは雑音の高周波成分および低周波成分の除去を行なう。これより定量性の改善は平滑化実空間処理よりバターワースフィルタの方が優れ、さらにバターワースフィルタよりウィナーフィルタの方が優れている結果を得たと考える。カウントの少ない画像は雑音成分が多くなるため、雑音成分を抑制する効果の大きいウィナーフィルタ処理はカウントの少ない画像でより有効であったと考える。

5. 結語

周波数空間でのバターワースフィルタ、ウィナーフィルタのパラメータ算出法を考案し、その適切性を基礎的実験により確認した。

ファントム実験および心電図同期心プール像において、駆出率の改善は平滑化実空間処理と比較してバターワースフィルタの方が優れており、さらにバターワースフィルタよりウィナーフィルタの方が優れていた。ウィナーフィルタ処理はカウントの少ない画像でより有効であった。

今回検討した処理方法は核医学画像の定量性の改善において有効な手段であると考えられた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 古 館 正 従

副 査 教 授 宮 坂 和 男

副 査 教 授 小 山 富 康

学 位 論 文 題 名

周波数空間バターワースフィルタおよび ウィナーフィルタを用いた核医学画像処理に 関する基礎的および臨床的検討

1. はじめに

核医学画像に対し最適な周波数空間フィルタのパラメータを求める方法を開発し、実空間および周波数空間フィルタ処理によって核医学検査から得る定量的指標が改善されることを、ファントム実験および臨床応用によって確認した。

2. 対象と方法

対象画像をフーリエ変換し各周波数のパワースペクトル平均強度分布曲線を求め、これより雑音成分が対象画像の信号成分より多い高周波域の境界周波数(遮断周波数)、雑音と対象画像の信号比を算出した。遮断周波数はバターワースフィルタのパラメータになる。ウィナーフィルタのパラメータは2つあり、雑音と対象画像の信号比と、画像のぼけの程度を示す線像分布関数の半値幅である。半値幅は線状線源によるファントム実験から求めた。この方法によって適切なフィルタのパラメータが導出されているかを、カウント数の異なる核医学画像を用いて検討した。ファントム実験は、 ^{99m}Tc 溶液を封入したバルーンを、容積を変えて像を収集し最大・最小収縮期像のモデルとした。像は20秒、60秒収集の2種類撮り、収集カウントの少ない臨床例、カウントの十分な臨床例と同程度のカウントになる像を得た。これらの像に平滑化実空間処理、バターワース・ウィナーフィルタによる周波数空間処理を行ない、駆出率を算出した。臨床データに用いた対象は心ブールシンチグラフィと心臓カテーテル検査を施行した31例に同様な処理を行ない、左室駆出率を算出した。

3. 結果

平滑化処理、周波数空間バターワース、ウィナーフィルタ処理を行なったファントム像から求めた駆出率をそれぞれS.EF、B.EF、W.EFと表現した。60秒収集像における既知の駆出率Actual EFとS.EF、B.EF、W.EFとの間には1%以下、B.EFとW.EFの間には5%以下の危険率で有意差を認めた。また20秒収集像について同様の検討を行なったところ、Actual EFとS.EF、B.EFおよびW.EFとのそれぞれの間には、いずれも1%以下の危険率で有意差を認めた。平滑化処理、周波数空間バターワース、ウィナーフィルタ処理を行なった心ブール像から求めた

左室駆出率をそれぞれS. LVEF、B. LVEF、W. LVEFと表現した。心カテ検査による左室駆出率LVGEFとS. LVEF、B. LVEF、W. LVEFとの相関係数はそれぞれ0.83、0.86、0.88であった。対応のあるt検定でS. LVEFとB. LVEF、S. LVEFとW. LVEFの間には1%以下、B. LVEFとW. LVEFの間には5%以下の危険率で有意差を認めた。カウントが100,000以下の9症例で同様の検討を行ない、LVGEFとS. LVEF、B. LVEFおよびW. LVEFとのそれぞれの間には、いずれも1%以下の危険率で有意差を認めた。

4. 考察

核医学画像の定量性は画像の信号成分を損わずに雑音成分をより多く除去するフィルタ処理で、より良く改善され则认为る。バターワースフィルタは理論的に遮断周波数を導いた上で高周波成分を除去するのに対し、平滑化実空間処理の高周波成分抑制は遮断周波数が不明であり画像の信号成分損失の危険を伴う。またバターワースフィルタは雑音の高周波成分のみ除去するのに対しウィナーフィルタは雑音の高周波成分および低周波成分の除去を行なう。これより定量性の改善は平滑化実空間処理よりバターワースフィルタの方が優れ、さらにバターワースフィルタよりウィナーフィルタの方が優れている結果を得たと考える。カウントの少ない画像は雑音成分が多くなるため、雑音成分を抑制する効果の大きいウィナーフィルタ処理はより有効であったと考える。

5. 結語

周波数空間でのバターワースフィルタ、ウィナーフィルタのパラメータ算出法を考案し、その適切性を確認した。ファントム実験および心電図同期心プール像において、駆出率の改善は優れている方からウィナーフィルタ、バターワースフィルタ、平滑化実空間処理の順であった。ウィナーフィルタ処理はカウントの少ない画像でより有効であった。

本研究の価値判定：本研究は核医学画像の定量性の改善において有効な手段であると考えられ、学位授与に値すると考えられる。