（書式１２）

氏　　名	佐藤（さとう） 和宏（かずひろ）
学位の種類	博士（保健学）
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項
研究科専攻	東北大学大学院医学系研究科（博士課程）保健学 専攻
学位論文題目	X 線 CT 画像における折り返し雑音の帯域制限処理による解析
論文審査委員	主査　教授　本間 経康 教授　齋藤 春夫　教授　千田 浩一

論文内容要旨

[目的]

近年、臨床用 X 線 Computed Tomography (CT) 装置の性能は飛躍的に向上した。CT 検査の時間は長くても約 15 分程度であるが、このような短時間のうちに臨床上有用な多くの情報が得られる。しかし、その代償として一般撮影や血管撮影、核医学検査などに比べると、CT 検査の被曝量の多さが懸念される。そのため、診断可能な画質を維持しながらできるだけ低線量での撮影が推奨されている。低線量撮影での問題は画像雑音が増加することである。最新の臨床用 X 線 CT でも、低線量撮影における画像雑音低減に関して根本的な対応ができているとは言い難い。たとえば、被写体が検出器に投影されたデータ（以下、投影データと呼ぶ）が、再構成画像のピクセル間隔で表現可能な限界（閾値）周波数（以下、ピクセルナイキスト周波数と呼ぶ）を超える高い周波数成分を含んだ形で再構成処理に供されることがある。この表現できない高周波成分は再構成時の逆投影によってピクセルナイキスト周波数を境に低周波域へ折り返し、画像雑音（折り返し雑音）となる。一般に、臨床において CT 画像の縦方向と横方向の再構成ピクセル数は固定であるため、ピクセルナイキスト周波数は再構成視野サイズに反比例する。特に大視野再構成の場合にはピクセルナイキスト周波数が低下して高周波成分が増加するため、折り返し雑音の影響が顕著になる。そこで本研究では、投影データに対してピクセルナイキスト周波数より高い周波数成分を抑制する処理（以下、帯域制限処理と呼ぶ）を施すことにより、臨床で用いられている CT 装置における折り返し雑音を解析してその存在を明らかにし、画質改善の可能性について検討することを目的とした。

[方法]

メーカの異なる 2 台の臨床用 CT 装置を使用し、投影データに対して帯域制限処理を行うことによって折り返し雑音を解析した。解析に使用した物理的な画質指標は、雑音特性として雑音パワースペクトル (noise power spectrum, NPS) 、解像力特性として変調伝達関数 (modulation transfer function, MTF) 、信号雑音比 (signal-to-noise ratio, SNR) の周波数特性、信号の周波数特性を考慮した SNR である matched filter (MF) SNR、そして空間分解能の 5 つである。また、ファントム画像を用いた視知覚的な画質解析および臨床画像による折り返し雑音の評価も行った。

[結果]

折り返し雑音はいずれの臨床用 CT 装置でも存在し、特に一方の CT 装置では折り返し雑音の存在が顕著であった。他方の CT 装置でも折り返し雑音が認められたものの、一方の CT 装置ほ

ど顕著ではなかった。いずれの CT 装置においても帯域制限処理によって高周波成分を抑制した結果、折り返し雑音が除去されたことにより NPS は低下し、MTF は高周波域でゼロに低下した。また、SNR の周波数特性および MF SNR はそれぞれ、再構成視野サイズが小さいため折り返し現象を無視できるレベルにまで改善した。帯域制限処理による明らかな空間分解能の低下はなかった。視知覚的な画質解析では、帯域制限処理による画質向上が認められた。

[結論]

メーカの異なる 2 台の臨床用 CT 装置において、帯域制限処理を用いて臨床上無視できない程度の折り返し雑音が存在することを明らかにした。さらに、帯域制限処理によって空間分解能の明らかな低下などの代償を伴わずに画像雑音の低減が可能であることを、物理的および視知覚的な画質指標を用いた解析により示した。

【所定様式⑬No.1】大学院の課程による者（課程博-保健学）

審　査　結　果　の　要　旨

博士論文題目　X線CT画像における折り返し雑音の帯域制限処理による解析

所属専攻・領域名　保健学専攻　・医用情報技術科学領域

氏名　佐藤 和宏

近年、X線 Computed Tomography (CT) 装置の性能は飛躍的に向上し、短時間のうちに臨床上有用な多くの情報が得られる。しかし、他の放射線検査に比べるとCT検査の被曝量の多さが懸念されている。そのため低線量撮影が推奨されているが、画像雑音が増加するという問題がある。この画像雑音を低減することは重要な課題であり、最新のCT装置でもまだ改善余地を残している。たとえば、投影データは一般に再構成画像のピクセル間隔で表現可能な限界（閾値）周波数（以下、ピクセルナイキスト周波数と呼ぶ）を超える高い周波数成分を含んでいる。このような投影データが再構成処理に供されればこの高周波成分は再構成時の逆投影によってピクセルナイキスト周波数を境に低周波域へ折り返す。このとき、信号の高周波成分のみならず雑音の高周波成分も折り返す。特に大視野再構成の場合にはこの折り返し雑音の影響が顕著になり得る。そこで、投影データに対してピクセルナイキスト周波数より高い周波数成分を抑制する処理（以下、帯域制限処理と呼ぶ）を施すことでCT装置における折り返し雑音の存在と画質改善の余地を明らかにすることを目的に本研究が行われた。

メーカの異なる2台の臨床用CT装置を用い、折り返し雑音解析のために投影データに対して帯域制限処理が行われた。解析には、物理的および視知覚的な画質指標が用いられた。また、臨床データを用いた目視的画質観察も行われた。折り返し雑音はいずれのCT装置でも存在した。特に一方のCT装置では折り返し雑音の存在が顕著であり、物理的画質指標、視知覚的試験の成績および臨床画像の全てにおいて、帯域制限処理による明瞭な雑音低減効果が確認された。

本研究により、最近の臨床用CT装置における折り返し雑音の存在と挙動が明らかになった。本来除去されるべきである折り返し雑音がどの程度臨床画像の画像雑音を増加させているか、また、折り返し雑音を除去することによってどの程度画質改善されるのかを明確にした。この研究で得られた結果は研究者やCTユーザのみならず、装置メーカのエンジニアにとっても有意義であり、今後の装置開発に貢献する可能性がある。

よって，本論文は博士（保健学）の学位論文として合格と認める。