

2. CT特有のアーチファクトについて

辻岡 勝美 藤田保健衛生大学医療科学部放射線学科

CT画像の1つの評価項目として、アーチファクトがある。アーチファクトとは「装置の性能・故障・スキャン状況などにより、本来は存在しないものが再構成画像上に現われる偽像」であり、障害陰影と呼ばれる。特にヘリカルスキャンでは、補間計算等で特有のアーチファクトの発生がある。

本稿では、CT画像の基礎としてヘリカルアーチファクトの発生と臨床への影響について解説する。

ヘリカルアーチファクト発生の原因

まず、第1に理解すべきことは、三次元スキャンと呼ばれるヘリカルスキャンであっても、画像再構成は基本的に二次元再構成で行われているということである。CTにおける画像再構成は二次元平面内で行われるように計画されているが、ヘリカルスキャンでは体軸方向への投影データの移動がある。そこで、画像再構成のための投影データの補間計算が行われる。この補間計算が、ヘリカルアーチファクト発生の原因となるのである。

この現象を理解するためには展開図(図1)を利用する。展開図は、投影データの立体的な軌跡を二次元平面で表現するもので、縦軸がX線管・検出器の回転角度方向、横軸が体軸方向となっている。図2は、スライス厚2mm、5mmの展開図における投影データの補間計算の際のデータ乗り換えの様子を示したものである。軌跡の幅はスライス厚、軌跡の輝度は重み付け補間の強度を表している。このようにヘリカルスキャンでは、補間計算を行っていても、データ乗り換

えが体軸方向で行われていることが確認できる。被写体の形状が体軸方向で変化のある場合、このようなデータの乗り換えがヘリカルアーチファクトの発生の原因となっている。

われわれは、ヘリカルアーチファクト発生の実験にボーリング球を使用した(図3)。図4は、その結果とそれぞれの展開図を示したものである。投影データの乗り換えの数と大きさが、CT画像上のヘリカルアーチファクトの数と大きさに対応しているのが確認できる。

ヘリカルスキャン時のパラメータ設定

前述のように、ヘリカルスキャンでは特有のヘリカルアーチファクトの発生が存在する。しかし、ヘリカルスキャンではその短時間スキャン能や画像の連続性から臨床的なメリットも多いことは周知の事実である。われわれの研究では、ヘリカルピッチを増大させることにより、

実効スライス厚は厚くなるが実効スキャン時間は短縮し、一方、ヘリカルピッチを小さくすることにより、実効スライス厚の増加は抑えられるが実効スキャン時間は延長することが判明した(図5)。

では、実際の臨床ではどのようなパラメータ設定を行ったらよいだろうか。今回、ヘリカルスキャンによる実効スライス厚と実効スキャン時間について考えてみた。

ヘリカルスキャンによる実効スライス厚の増大とモーションアーチファクト

ヘリカルスキャンを行うことにより、スライス厚が設定スライス厚より増大することが知られている。部分体積効果により、CT値の変化、空間分解能の変化が起きることを考えれば、これも一種のアーチファクトと言えることができるだろう。

従来、アーチファクトの評価法として面積法、変形評価法、フラクタル解析

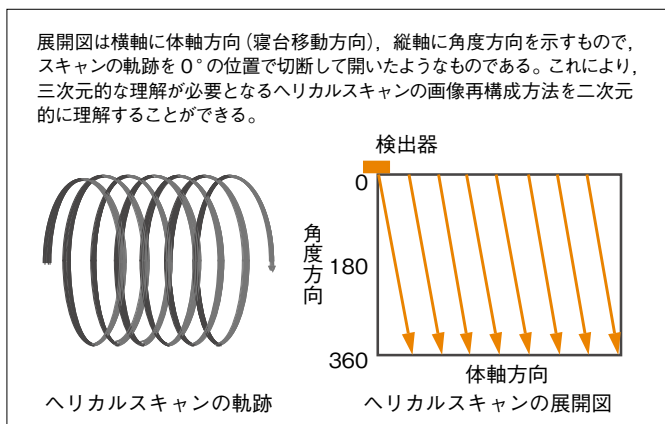
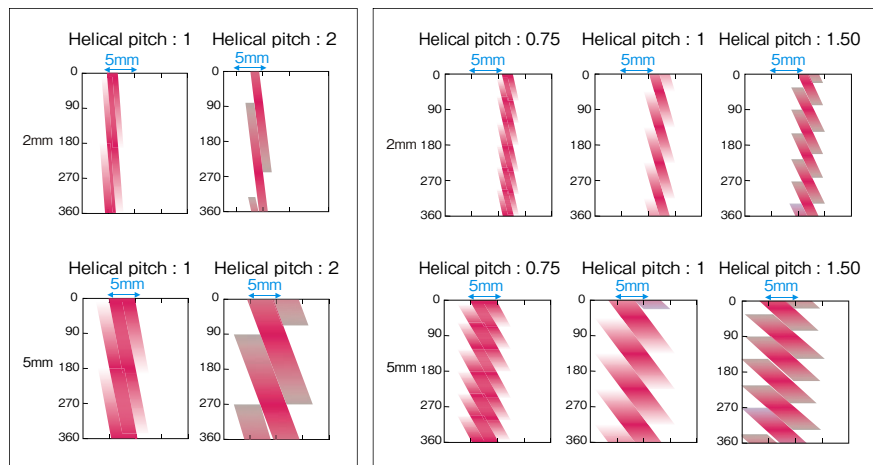
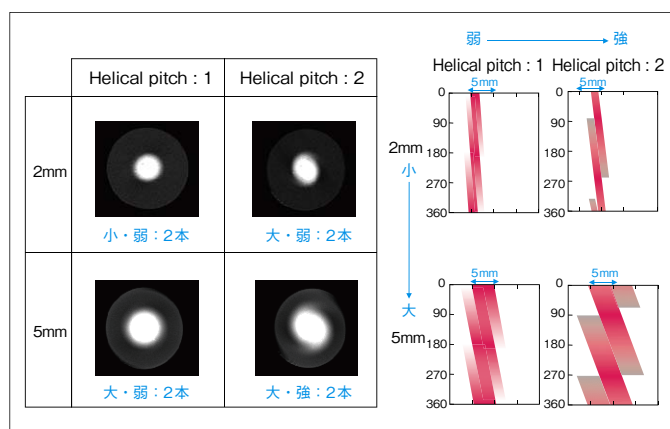


図1 ヘリカルスキャンの展開図(FOV中央の展開図)
ヘリカルスキャンの投影データの軌跡を二次元平面で表現するもので、縦軸がX線管・検出器の回転角度方向であり、横軸が体軸方向である。



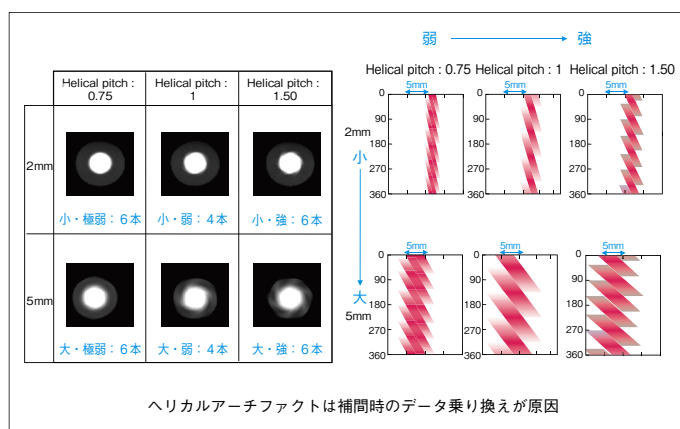
a: シングルスライス CT (1 DAS) における 投影データの乗り換えの様子
b: マルチスライス CT (4 DAS) における 投影データの乗り換えの様子

図2 ヘリカルスキャンの補間計算における投影データの乗り換え



a: シングルスライス CT (1 DAS) におけるボーリング球のCT画像と展開図

図4 ボーリングの球のヘリカルCT画像と展開図の対比



b: マルチスライス CT (4 DAS) におけるボーリング球のCT画像と展開図

ヘリカルアーチファクトは補間時のデータ乗り換えが原因

法などがあるが、それらは閾値による二値化操作で評価結果が変化するという問題もあった。

今回、実効スライス厚の増大についての評価であるため、アーチファクトの方向成分には注目しないという前提のもとで、アルミニウム製ロートのCT値ヒストグラムを横隔膜の体軸方向への移動側で運動させた(図6)。この場合、数値的な評価は、アルミニウム製ロートのCT値とそのピクセル数の累積を用いた。この評価法で、ヘリカルピッチによる部分体積効果とモーションアーチファクト、つまり、SSPz (slice sensitivity profile at Z-axis: スライス感度プロファイル) とTSP (time sensitivity profile: 時間感度プロファイル) の最適化について検討を行った。図7に今回の実験結果を示す。被写体の運動速度が小さい場合、ヘリカルピッチを小さくして、モーション

ンアーチファクトに比べて部分体積効果の影響を小さくすべきであり、被写体の運動速度が大きい場合はヘリカルピッチを大きくして、部分体積効果に比べてモーションアーチファクトの影響を小さくすべきであった(図8)。

このように、実際のCT検査ではいろいろなアーチファクトが複合的に発生していることが考えられ、対象の形状、動き、CT値などで各パラメータを最適化することが重要であろう。

CTのアーチファクトとサブトラクション画像

臨床のCT検査では、アーチファクトの発生はどのような弊害となるであろうか。実際、風車状アーチファクトと呼ばれるヘリカルアーチファクトは読影の障害となるし、モーションアーチファクトも大

きな問題である。最近、特に話題となっているのが、アーチファクトのサブトラクション画像への影響である。近年のCT新技術として、dual energy CTやenergy subtractionが開発されてきた。しかし、これらは基本的に、X線エネルギーの異なる2つの画像にて、そのサブトラクションにより新しい診断を行うというものである。そのときに、CT画像上にアーチファクトが存在していたのでは、せっかくの新技術によるメリットもアーチファクトの中に隠れてしまう。

図9は、われわれが実験に用いた陶器製の皿状ファントムである。陶器皿は人体の頭蓋底と同等の角度を有している。実験では、この皿状ファントムを64列マルチスライスCTで、回転非同期と回転同期についてサブトラクション画像を比較した。加えて、320列の面検出器CT (Area Detector CT: ADCT) のサ

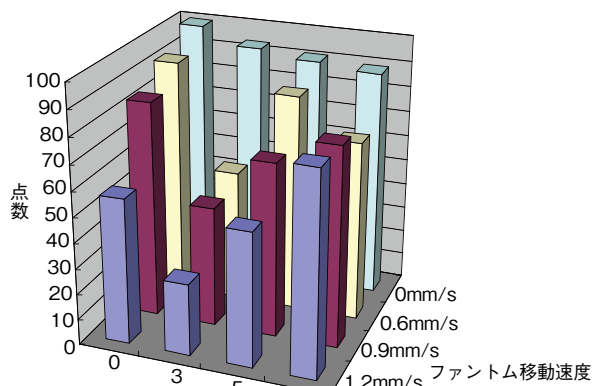
4DASヘリカルでは、
ヘリカルピッチを大きくすると → SSPzは広くなり、TSPは狭くなる。
ヘリカルピッチを小さくすると → SSPzは狭くなり、TSPは広くなる。

動かない被写体ならば → TSPは無視してSSPzを狭くすればよい。
(ヘリカルピッチを小さくする)

動く被写体では → TSPが狭い方がよい。
(ヘリカルピッチを大きくする)
しかし、ヘリカルピッチを大きくすると
SSPzは広くなる。

→ 被写体の動きにより
最適ヘリカルピッチが存在。
“総合的なアーチファクトの評価”が必要

図5 運動する被写体に対するSSPzとTSPの関係



ヘリカルピッチ(0はnon_Helicalを示す)
被写体が動いた場合、ヘリカルピッチによりアーチファクトは変化する。
ピッチ3よりピッチ5, 6の方がアーチファクトは少ない。
(SSPzとTSPに依存する)

図7 ロートファントムのスキャンにおけるアーチファクトの評価結果
ファントムの移動速度とヘリカルピッチによりアーチファクトの発生が変化した。

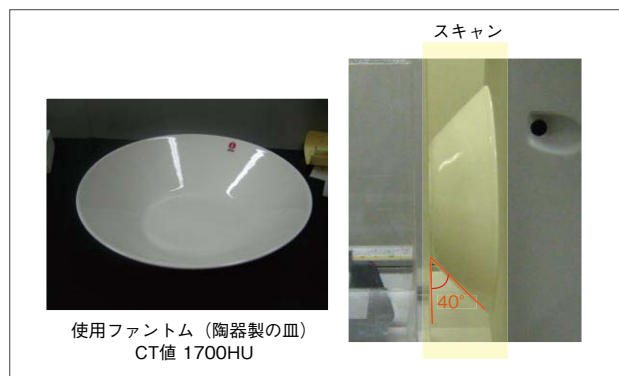


図9 陶器製の皿状ファントムを用いたサブトラクションの実験

ブトラクション画像も比較した。実験の結果を図10に示す。64列マルチスライスCTの回転非同期のもの(図10 a)では、強いミスレジストレーションの発生が見られた。一方、同装置の回転同期のもの(図10 b)ではミスレジストレーションは低減されたが、完全に消えることはなかった。320列の面検出器CT(図10 c)では、回転同期を行わなくても良好なサブトラクション画像を得ることができた。

◎
今回、CT特有のアーチファクトについて記述してきた。ヘリカルスキャンでは、スキャン中に寝台が移動するということと特有のヘリカルアーチファクトが発生する。これは、補間計算に用いられる投影データの乗り換えが原因であり、シングルスライスCTではヘリカルピッチが大きいほどそのアーチファクトも強く発生する。しかし、マルチスライスCTで

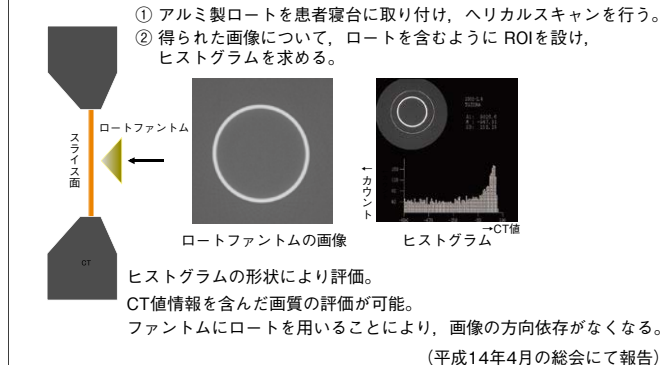


図6 ロートファントムによるアーチファクト発生の実験

ロート状のアルミニウム製ファントムを寝台上で移動させながら、ヘリカルスキャンを行った。

- マルチスライスCTでのヘリカルスキャンでは、SSPz(スライス感度プロファイル)、TSP(時間感度プロファイル)の変化によりアーチファクトの程度が変化する。
- 動きを有する被写体では、SSPz、TSPによるアーチファクト発生を考慮したスキャン条件の設定が必要である。
- 従来のアーチファクトの評価では、二値化をした後に行っていた。この場合、閾値により評価結果が変化した。
- 今回、二値化を行わないアーチファクトの評価法を考案した。また、その数値評価の方法を考案した。
- 本法の問題点として、画像形状の変化をとらえることができない。そのため、円錐を用いてファントムの持つ方向性の要素をなくした。
- 本法のみでは完全なアーチファクト評価が行えるとは言い難いが、従来の方法と組み合わせることにより、正確なアーチファクト評価が行えるものとする。

図8 ロートファントムによるアーチファクト発生実験のまとめ

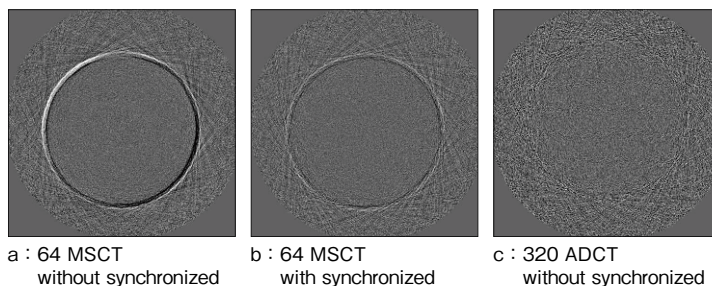


図10 サブトラクション実験の結果

は投影データの列間隔が複雑であり、その出現本数や強さがヘリカルピッチにより特異的に変化する。このように、ヘリカルスキャンでは特有のアーチファクト発生があるが、臨床的メリットも大きい。臨床では、アーチファクトの発生を低減させながら臨床的メリットを獲得するための最適化が重要である。

今後、多管球CT装置やenergy subtraction技術の進歩が予想されるが、どのような状況であってもアーチファクト対策は重要な問題として避けられないであろう。