

Dual energy CT を用いた仮想単色 X 線画像における物理特性の基礎的検討

○河合 佑太、赤木 憲明、森光 祐介、山内 健太郎、三村 誠一、大川 義弘、田原 誠司
岡山大学病院

【背景】 Dual energy CT は2つの異なる管電圧を利用し、任意のエネルギーの仮想単色 X 線画像の作成が可能である。高エネルギー画像によるアーチファクトの低減や、低エネルギー画像を利用した造影剤量の減量、被ばく低下など様々な臨床応用が期待されている。しかし、エネルギーの変化に伴い、画像ノイズ(以下、SD)やアーチファクト等が変化するため、臨床で使用するためには、これらの特性を理解しておく必要がある。

【目的】 臨床における最適なエネルギーの決定のために、まず仮想単色 X 線画像の特性を理解しておくことが必要である。本研究では SD やアーチファクトの変化を計測し、仮想単色 X 線画像の物理特性を検討した。

【方法】 まず初めに、Catphan500 を撮影し、CTP486 と CTP515 の各層の画像を取得した。エネルギーを 40～190keV まで 10keV ごとに変化させ、各エネルギーにおける SD と CNR をそれぞれ計測した。次に、寒天の中に人工関節を入れた自作ファントムを撮影し、仮想単色 X 線画像におけるアーチファクトの増減を計測した。CT 値の高いアーチファクトを正、CT 値の低いアーチファクトを負と定義し、メタルアーチファクト、データ欠損の増減について検討した。

【結果】 SD 測定において、低エネルギー領域ではエネルギーの上昇に伴い SD が低下し、70～80keV 付近で極値を持ち、高エネルギー領域で緩やかに増加するという傾向が観察された(図1)。CNR 測定ではエネルギーの上昇に伴い、CNR が増加し、70～80keV 付近で極値を持ち、高エネルギー領域で低下するという傾向が観察された(図2)。アーチファクトの測定では正、負どちらのアーチファクトも、エネルギーの上昇に伴いアーチファクトは減少したが、130keV 以降では変化が見られなかった(図3)。画像を観察すると、エネルギーの上昇に伴い、人工関節の観察が可能となり、データ欠損部分も減少していった。

【考察】 仮想単色 X 線画像の SD、CNR の測定において、SD や CNR は 70～80keV で極値を持つことが分かった。エネルギーの変化は低エネルギー画像と高エネルギー画像の画像寄与の割合を変化させることによるもので、両者の画像が等しく含まれる 70～80keV 付近で SD が最小、CNR が最大となったと考えられた。

アーチファクトの測定において、エネルギーが上昇するとノイズ低減によりアーチファクトは減少するがデータ欠損等による限界があると考えられた。臨床において、人工関節等の形態把握のためには、120kV 相当の mix 画像と 130keV 以上の画像を用いることでよりアーチファクトの少ない画像を提供できる可能性が示唆された。本研究結果は金属の種類、大きさ、個数等で変化する可能性があり、更なる検討が必要であるが、仮想単色 X 線画像の SD や CNR 等の基本的な画像特性が確認できた。

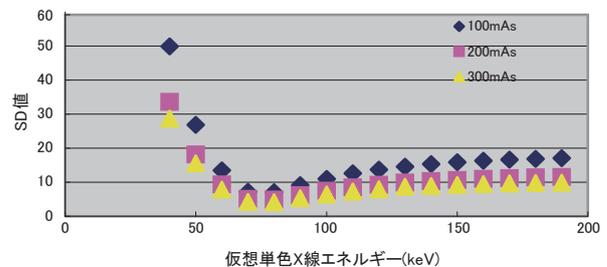


図1 仮想単色 X 線エネルギーと画像 SD の関係

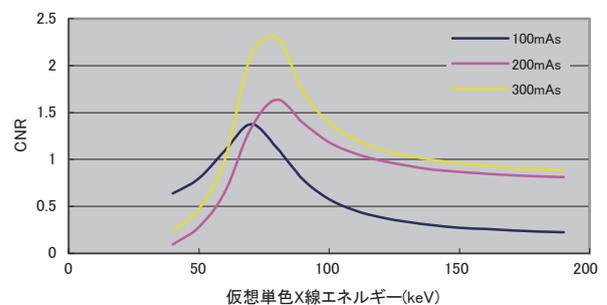


図2 仮想単色 X 線エネルギーと CNR の関係

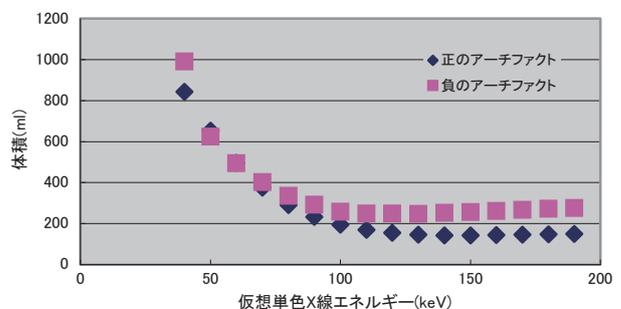


図3 仮想単色 X 線エネルギーとアーチファクトの体積の関係

【参考文献】

Mark Lewis, Karen Reid, Andoni P. Toms Reducing the effects of metal artefact using high keV monoenergetic reconstruction of dual energy CT (DECT) in hip replacements

Virtual Monochromatic Imaging を用いた 撮影管電圧の違いによる画像コントラストの推測

○寺見 佳祐¹⁾、西山 徳深¹⁾²⁾、星加 美乃里¹⁾、摺河 健文¹⁾、高本 誠司¹⁾、中川 潤一¹⁾、
長谷川 大輔¹⁾、小林 有基¹⁾、竹田 芳弘²⁾

1) 岡山済生会総合病院、2) 岡山大学大学院保健学科研究科

【背景】 GE Medical 社製の Light Speed Discovery CT750 HD (以下: 750HD) は、80kVp と 140kVp の Fast kV Switching 技術により、40~140keV まで Virtual Monochromatic Imaging を表示可能となった。臨床において、各装置の撮影管電圧を変更した場合の画像コントラストが予測可能ならば、各々の CT 検査の有用性は飛躍的に向上する。一般の CT 装置は自由に表示エネルギーを変更することができないため、撮影管電圧を変えた場合の画像コントラスト予測は困難であった。

【目的】 各装置の撮影管電圧の実効エネルギーを計測、また同等の Virtual Monochromatic Imaging と比較検討し、臨床応用可能か検討した。

【使用機器】

CT 装置: Aquilion16、Aquilion64 (東芝社)、Light Speed Discovery CT750 HD (GE Medical 社)

ファントム: Catphan CT ファントム (The Phantom Laboratory 社)、自作のファントム

解析ソフト: CT 評価ファントム解析ソフトウェア AutoQA Lite (東洋メディック社)、ImageJ、Excel

【方法】

1. 各 CT 装置で撮影管電圧を変えて Catphan CT ファントムを測定し、解析ソフト AutoQA Lite を用いて実効エネルギーを算出した。
2. 各装置の撮影管電圧における NPS と、その管電圧と同等の Virtual Monochromatic Imaging の NPS を比較した。
3. 自作のファントムを用いて各管電圧の CNR と、その管電圧と同等の Virtual Monochromatic Imaging の CNR を比較した。

【撮影条件】 Aquilion では、80、100、120、135kV、750HD では、80、100、120、140kV と撮影管電圧を変えて SD10 となるように、撮影管電流を設定した。

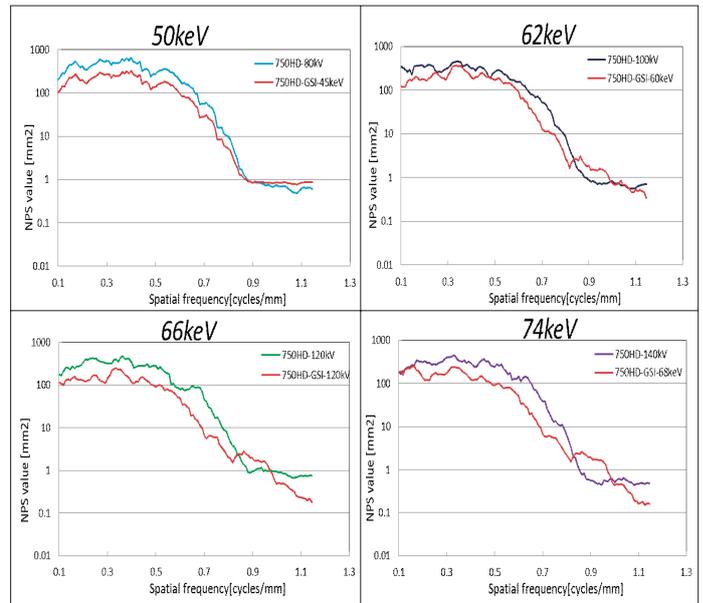
【結果】

1. 各 CT 装置で管電圧を変えた時の実効エネルギーの表を以下に示す。

管電圧	Aquilion16	Aquilion64	750HD
80kV	50 (45) keV	60 (55) keV	50 (45) keV
100kV		62 (60) keV	62 (60) keV
120kV	68 (65) keV	68 (65) keV	66 (64) keV
135kV	74 (68) keV	74 (68) keV	
140kV			74 (68) keV

() : Virtual Monochromatic Imaging の実効エネルギー

2. 750HD の NPS の結果を以下に示す。



【考察】 各装置での実効エネルギーと Virtual Monochromatic Imaging のエネルギーの相関が分かった。750HD との相関関係は 80kV (50keV)、100kV (62keV)、120kV (66keV)、140kV (74keV) だった。NPS は各装置と Virtual Monochromatic Imaging の間で違いが見られたが、装置メーカーの違いによる再構成関数の差が影響していると考えられた。同一機種においては同等の NPS だった。CNR の差は Virtual Monochromatic Imaging の電圧により SD 値が変動する事が原因と考えられた。Virtual Monochromatic Imaging を用いた各管電圧の画像コントラストの推測は可能であった。

【結語】 撮影管電圧 80、100、120、135/140kV と同等の Virtual Monochromatic Imaging を用いることで、臨床における CT の画像コントラストが推測可能と思われた。今後臨床において、Virtual Monochromatic Imaging は有効に活用できると考える。

【参考文献】

- 1) 市川 勝弘 『標準 X 線 CT 画像計測』 2009.9.20. オーム社出版

○横川 新吾、大元 謙二、西山 光、田頭 裕之
愛媛大学医学部附属病院 放射線部

【背景】当院整形外科医から、人工股関節のゆるみを見るため、CT 画像処理の最適化を依頼された。要件として、Metal Artifact 低減ソフトによる骨の CT 値の変化が少ない、Metal Artifact が十分に低減されている、金属周囲での Undershoot が少ない、の3点を挙げられた。

【目的】Metal artifact 低減を目的とした画像再構成ソフト (O-MAR: Orthopedic Metal Artifact Reduction) が導入され、整形領域(腰椎、股関節等)での臨床利用が可能となった。しかし、Metal Artifact 低減効果が認められる一方で、O-MAR による Artifact が画像診断に影響を及ぼす場合が考えられる。そこで、ファントムを用いて、撮影パラメータの基礎的な検討を行ったので報告する。

【方法】

(実験1) ステンレス製ボルトを Body type CTDI Phantom の5cm Bellows に配置して CT scan を行い、Metal Artifact, Undershoot について撮影パラメータ依存性を調べた。

(実験2) Gammex 社製 Tissue Characterization Phantom Model467 を用いて、CT 値における撮影パラメータ依存性を調べた。測定した Rod materials は、Water, Adipose, Liver, Inner Bone, Cortical Bone の5種類とした。

(実験3) 画像再構成関数の違いによる視覚評価実験を行った。観察者は、診療放射線技師5名。観察画像は、人工股関節ありの臨床データから、Retrospective Recon にて画像再構成関数を変えた画像を用いた。画像は6種類で、関数は A, B, C, D, YA, YB とした。組み合わせは30通りでランダムな順番とした。評価方法は、Scheffe の一対比較法を用い、右の画像と比べて左の画像が良いか悪いかで回答した。評価は、良い+2、少し良い+1、どちらともいえない0、少し悪い-1、悪い-2の5段階とした。

【結果】Metal artifact 低減ソフト O-MAR を用いた実験により、Collimation, Beam pitch, KV, Focal spot size の各パラメータにおける CT 値依存性は、ほとんど見られなかった (Fig.1, 2, 3, 6, 7, 8)。画像再構成関数については、画像に影響を及ぼす場合があり、特に慎重に適用を考える必要がある (Fig.4, 5, 9)。O-MAR 特有と考えられる artifact については、ソフトウェアの更なる進歩に期待したい (Fig.10)。視覚

的評価実験の結果、画像再構成関数は、C, YA, B, A, YB, D の順に優位であった。最終的な、撮影パラメータは、Slice thickness 2 mm, Collimation 64 * 0.625, Beam pitch 0.64, Tube voltage 120kv, Focus size large, Filter C, FOV 450mm, iDos level 2, Scan type Pelvis, Rotational speed 0.5s となった。以上の結果より、今回の実験により撮影パラメータの最適化を行うことで、整形領域の画像診断に有用な画像を提供できると考える。整形領域以外(頭頸部・歯科領域など)の O-MAR 適用については、今後の検討課題とした。

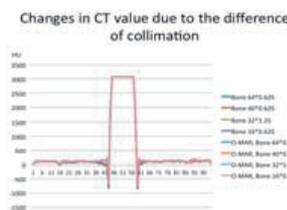


Fig.1

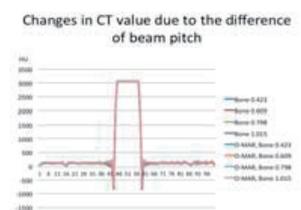


Fig.2

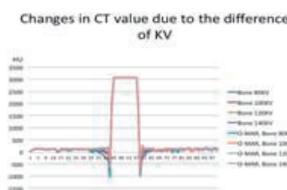


Fig.3

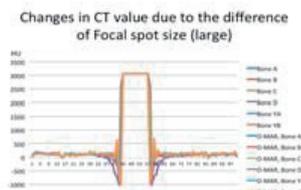


Fig.4

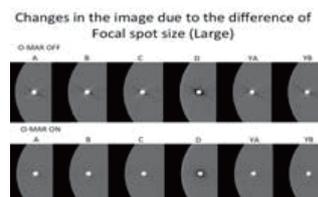


Fig.5

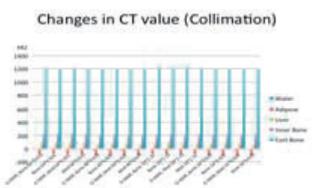


Fig.6

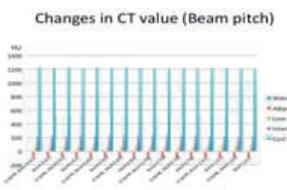


Fig.7

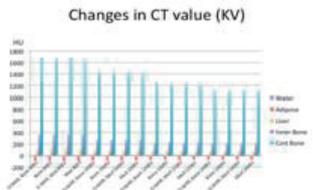


Fig.8

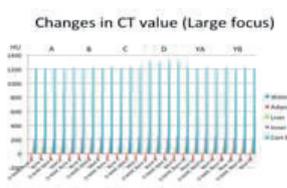


Fig.9

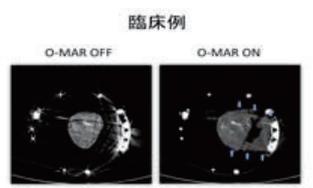


Fig.10

○成石 将平、福永 正明、守屋 隆史、山本 浩之
倉敷中央病院 放射線センター

【背景】 井上らは、模擬血管(径1.5mm)のCT値は逐次近似応用再構成法(IR法)の強度を強くすると最大20%低下すると報告した。CTAにおいて線量を抑えた上で、血管のコントラストがついた画像を得るには、IR法の最適な強度設定の検討が必要であると考えた。特に、高線量撮影となる腹部領域では設定により撮影条件の最適化を図る必要がある。

【目的】 腹部CTAにおいてIR法の強度設定による影響を考慮した最適なパラメータを決定した

【方法】 エッジ法によりMTFを評価した。また、模擬血管ファントムを撮像しプロファイルカーブを測定した。CT装置はTOSHIBA社製Aquilion CXLを使用し、IR法はAIDR-3Dを用いた。

MTFは、CT値380HUのシリコンと35HUのゼラチンで作成したファントムを撮像し、エッジ法により測定した。なお、FBP法の線量60mAを基準に線量とAIDRの強度を変え、45mA(weak)、30mA(mild)、15mA(standard、strong)で撮像した。線量はFBP法でSDが7.0になるように調整した。FOVは320mmに設定し、撮像画像のSD値の変動が少ない断面で加算平均を行い、ノイズを抑えた画像で測定を行った。

模擬血管ファントムによる評価では直径1、3、5mmの模擬血管を前述の条件で撮像し、MPRを作成した。模擬血管のCT値は1mm径から順に350HU、310HU、350HUであった。プロファイルカーブは模擬血管上に40×80pixelのROIを配置し、FWHM、FWTMを算出した。

【結果】 MTF曲線を図1に示す。MTFはstandardとstrongで低下した。

模擬血管ファントムによる1mm径のプロファイルカーブを図2に、FWHMとFWTMを表1に示す。3.5mm径では変化が認められなかった。1mm径では、強度が大きくなるにつれ、CT値低下が認められた。FWHM、FWTMはAIDR強度が大きくなるにつれて増加した。

【考察】 MTFの評価では、standardとstrongで空間分解能の低下を認めた。CT値350HU程度の血管を分解能の低下がなく描出するには、mildの強度設定が限界である。

模擬血管径の評価では、血管径が3.5mmでは変化は認められず、1mmでは変化が認められた。腹部領域を対象にFOVを320mmに設定し評価をしており、pixel sizeが0.625mmであることから、血管径1mmではサン

プリング定理を満たしていなかった。そのため、IR法の強度設定による影響が大きくあらわれたと考えた。血管径1mmにおけるCT値・FWHM・FWTMの低下は、partial volume効果の影響によるものと考えられ、standardとstrongでは、分解能の低下とともに影響が大きくあらわれたと考えた。

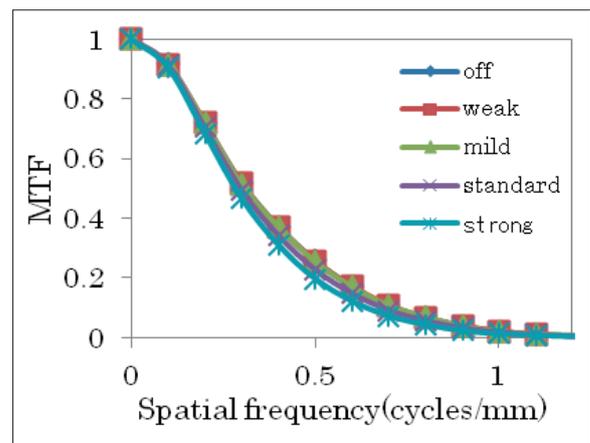


図1 AIDRの強度別MTF曲線

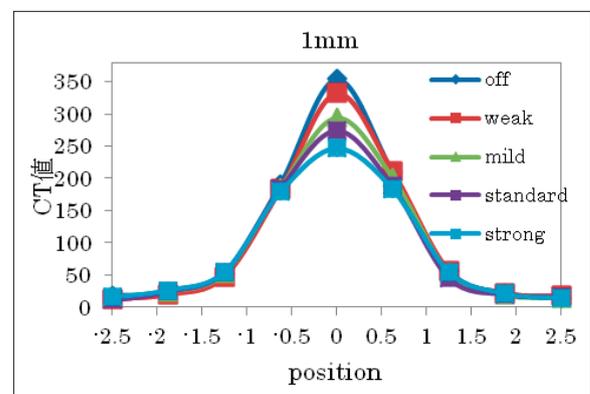


図2 血管径1mmにおけるプロファイルカーブ

表1 血管径1mmにおけるFWHMとFWTM

IR法の強度 半値幅	FBP	weak	mild	standard	strong
FWHM (mm)	1.39	1.46	1.60	1.65	1.76
FWTM (mm)	2.80	2.77	2.99	3.04	3.25

【結論】 IR法の強度設定は、FOVの大きい腹部CTAにおいて、standardとstrongで分解能の低下がおき、1mm血管径においてweakより強い強度でCT値の大きな低下を招いた。強度設定を強くすると血管の描出不良を招く恐れがあり、血管のコントラストを担保し低線量撮影を行うには、強度設定はweakが望ましい。

○山内 健太郎、赤木 憲明、森光 祐介、河合 佑太、三村 誠一、大川 義弘、田原 誠司
岡山大学病院

【背景】術前精査におけるCT検査の役割はますます重要性を増しており、Volume Dataから得られる臓器の体積情報は術式の決定などを左右する重要な情報となっている。一方、逐次近似応用再構成法がCT装置に導入され、現在までに数多くの逐次近似応用再構成法についての研究発表や論文が報告されている。

岡山大学病院では、3種類の異なるCT装置(①SO-MATOM Definition Flash: SIEMENS、②Discovery CT 750HD: GE、③Aquilion ONE ViSION Edition: 東芝)が導入され、各装置に逐次近似応用再構成法(①SAFIRE、②ASiR、③AIDR 3D)が搭載されており、その手法やプロセスも各社様々で、装置によって特性が異なっていると考えられる。

【目的】自作ファントムを作成し、各装置の逐次近似応用再構成法により作成された画像の違いが体積計測に及ぼす影響について比較検討した。

【方法】撮影条件は管電圧120 kVとし、設定スライス厚①0.6 mm×128、②0.625 mm×64、③0.5 mm×80、PF①0.6、②0.984、③0.813、再構成関数①B40 medium、②standard、③FC09、表示画像視野(DFOV)300 mm、再構成スライス厚/再構成間隔①1.0 mm/0.8 mm、②1.25 mm/1.0 mm、③1.0 mm/0.8 mmとした。管電流は元画像(Axial画像)のB.Gの画像SDが同等(SD≒8.0)になるように各装置調整した。

自作ファントムは東芝社製CT性能評価ファントムTOSファントム内にある66ナイロンを計測対象とし、その周囲を寒天で満たして作成した。この自作ファントムを用い、上記の撮影条件のCTDIを基に25%～100%線量にて撮影し、①ではSAFIRE 0(FBP)、1、2、3、4、5にて、②ではASiR 0%(FBP)、20%、40%、60%、80%、100%、にて、③ではFBP(0%)、Weak(25%)、Mild(50%)、Standard(75%)、Strong(75%+a)にて再構成を行った。再構成されたVolume Dataを基にAZEのWork Stationを使用して、同一閾値下で抽出を行い体積計測した。閾値設定は装置によってCT値が異なるためモード法を用い、各装置における閾値設定をそれぞれ行った。

【結果】各装置、どの線量においても逐次近似再構成法の強度が強くなるほど体積計測の値は減少した。計測差では、25%線量時にFBPとの計測差にばらつきは認められるも、75%線量以上では1%以下の計測結果となった(図1、2、3)。

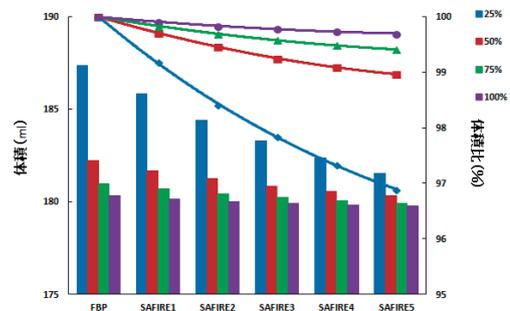


図1 FBP と各強度における体積と体積比 (SIEMENS)

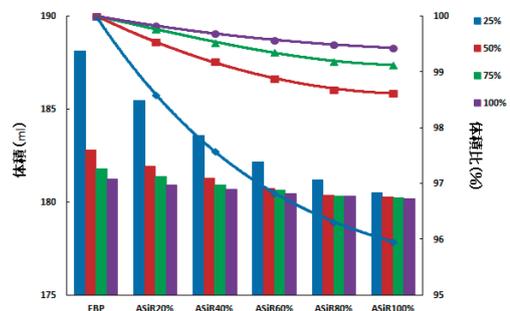


図2 FBP と各強度における体積と体積比 (GE)

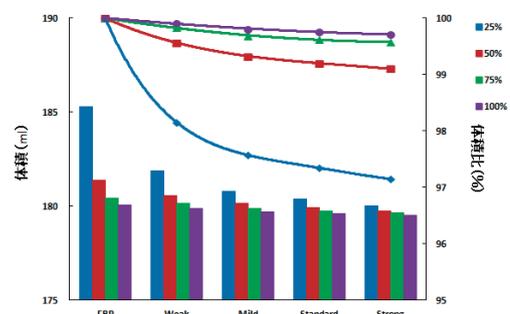


図3 FBP と各強度における体積と体積比 (東芝)

【考察】逐次近似応用再構成法の強度が強くなるほど、体積が減少した原因として、エッジ部分(66ナイロンと寒天との境界面)におけるコントラスト低下が考えられる。逐次近似応用再構成により低コントラスト領域の解像度の低下やボケなどが認められるなどの報告がされていることから、66ナイロンの境界面の一部が寒天にシフトし、抽出時にその一部が抽出されず体積が減少したと考える。

各装置とも75%線量以上では1%以下の計測値差の結果については周囲吸収体とのCT値差や再構成FOV、設定閾値、計測対象の容量の大きさなどにより、体積計測の変動が考えられる。しかし、本研究では体積変化の影響はエッジ部分と考えるため、大幅な線量低減を行わず、適切な線量で撮影を行えば大きな計測値差は生じないことが示唆された。