

学位論文要旨

氏名 小林 隆幸



論文題目

「Dual Energy CTの仮想単色画像におけるCT値精度とノイズの品質管理」

指導教授承認印

五味 勉



Dual Energy CT の仮想単色画像における CT 値精度とノイズの品質管理

氏名 小林 隆幸

【背景】

Dual energy computed tomography (DECT) は従来の CT 画像とは異なり、エネルギーの異なる 2 種類の X 線データを用いることで画像再構成や画像処理を行う。現在、エネルギーの取得方式が異なる装置が市販されている。主に臨床で使用されているエネルギー取得方法は、(1) X 線管と検出器を 2 組搭載し、異なるエネルギーを出力することで 2 種類の X 線データを取得する方式、(2) X 線管電圧を高速で切り替えて 2 種類の X 線データを取得する方式、(3) 検出器を上下に 2 層配置して 2 種類の X 線データを取得する方式である。

DECT で取得できる画像には、仮想単色画像 (virtual monochromatic image : VMI)、仮想非造影画像、物質弁別画像などがある。VMI は、実質的に同じエネルギーレベルの単一 X 線エネルギーでスキャンしたかのような画像を生成し、仮想単色エネルギーレベルを変化させることでヨード造影剤の強調効果の変化が可能である。

国際電気標準会議 (international electrotechnical commission : IEC) では、CT 装置の基本性能と精度管理に関する規格を制定している。精度管理には、CT 値やノイズ、空間分解能などが含まれる。このうち、水の CT 値測定とノイズ測定は、品質管理で最も一般的な測定項目である。VMI は、従来の CT 画像と同様に被写体による X 線の減衰を画像化したもので、画素値は CT 値で表現されている。水の CT 値を 0 HU、空気の CT 値を -1000 HU として物質の X 線減弱を相対的に CT 値に変換する点は、従来の CT 画像と同じである。VMI に関するこれまでの研究では、空間分解能などの画質パラメータやノイズパワースペクトルに基づくノイズ特性が検討されてきた、CT 値の精度やノイズの経時変化を評価した研究はない。CT 値やノイズの定期的な測定は、DECT における重要な品質管理ツールでもある。なぜなら CT 値精度高く、画質が安定した画像を提供することは、医師や被検者にとって重要だからである。

【目的】

本研究の目的は、DECT における VMI の品質管理 (CT 値精度、ノイズ測定、測定頻度) について検証することである。また、装置 (データ収集システム) やエネルギーレベルの違いが CT 値の精度およびノイズの変動に及ぼす影響についても検討した。

【方法】

本研究では、3 種類の CT 装置を使用した。使用した装置は (1) SOMATOM Definition Flash (Siemens Healthineers, Forchheim, Germany)、(2) IQon Spectral CT (Philips Healthcare, Eindhoven, Netherlands)、(3) Revolution HD (GE Healthcare, Waukesha, Wisconsin, USA) で

ある。SOMATOM Definition Flash は 2 本の X 線管と検出器を持つ dual source dual energy CT (dsDECT) であり、IQon Spectral CT は 2 層型検出器を持つ dual layer dual energy CT (dlDECT)、Revolution HD は高速に管電圧切替を行う rapid kV switching dual energy CT (rsDECT) である。

それぞれの装置に附属する QA (quality assurance) ファントムをシングルエネルギー (SE) および DE モードでスキャンを 2 ヶ月間行った。QA ファントムはいずれも外径 200 mm の円筒形で、内部は水で満たされている。DE スキャンにより得られた raw data から 40 keV、50 keV、70 keV、100 keV、120 keV、140 keV の VMI を再構成した。SE モードでは撮影管電圧 120 kV でスキャンを行った。取得した画像から CT 値およびノイズを測定し、その変動係数を算出した。なお CT 値、ノイズの測定法は IEC 規格に準拠した。

【結果】

VMI の CT 値およびノイズは SECT における IEC 規格で定められた基準値の範囲に収まっていた。

dsDECT と rsDECT の CT 値およびノイズ量は、エネルギーが高いほど低い値となった。

dlDECT は他のスキャナに比べ、エネルギーレベルが高い時に CT 値が高く、ノイズはエネルギーレベルの影響を受けにくかった。CT 値の変動係数は dsDECT と rsDECT ではエネルギーレベルにより変化があるが、dlDECT ではエネルギーレベルによる変化は少なかった。ノイズの変動係数はすべてのエネルギーレベルで dlDECT が他の 2 機種より高くなった。

【考察】

3 台の CT 装置における CT 値とノイズの値は IEC で規定された不変性試験の基準を満たしていた。今回得られた結果は、SECT で同様の調査を行った先行研究の結果と同じであり、本研究で用いた測定方法は適切であったと考えられる。

dlDECT では、120 kVp と 70 keV での CT 値は近似した。先行研究では、70 keV の画像は 120 kVp と同等であることが実証されている。dlDECT は発生させる X 線のエネルギーは 1 種類で、検出器で 2 種類のエネルギーデータを取得し、VMI を生成している。従って、70 keV 画像は再構成時に 120 kVp での CT 値をリファレンスとした CT 値を得ている可能性が示唆された。dlDECT では、1 つの管電圧の X 線から低エネルギーと高エネルギーの情報が取得されるため、エネルギーの弁別精度や信号取得が dsDECT や rsDECT に比べ劣る可能性があり、エネルギーレベル間の CT 値のばらつきが大きくなったと考えられる。

dsDECT および rsDECT では、CT 値の変動は低 keV 画像でより大きく、画像ノイズも低 keV 画像で増加した。低 keV 画像の画像再構成では、低エネルギー X 線データの利用率が高くなる。低エネルギー X 線は高エネルギー X 線に比べ検出器に到達する光子数が少なくなる。従って低 keV 画像のノイズの増加理由は、少ないデータ量から画像を再構成することに起因すると考えられる。しかし dlDECT においては VMI のエネルギーレベルが変わってもノイズの量は変わらない傾向であった。これは先行研究で 40 keV と 70 keV の dlDECT の noise power spectrum

は同等であることが報告されており、本研究のノイズ測定の結果と一致している。このことから diDECT の VMI にはエネルギーレベルに関わらずノイズが一定に保たれるような再構成アルゴリズムが組み込まれていることが示唆された。そして diDECT における CT 値の変動幅の増大は、ノイズを一定に保つための代償であることが示唆された。

CT 値の CV は dsDECT と rsDECT において 40 keV と 50 keV で高くなったが、他のエネルギーレベルではほぼ一定であった。このことは、低 keV 画像では CT 値の変動が大きく、CT 値の精度が他のエネルギーレベルに比べ低い可能性があることが示唆された。

ノイズの CV は dsDECT および rsDECT ではすべてのエネルギーレベルでほぼ一定であったが、diDECT のそれはすべてのエネルギーレベルで 3 機種の中で最も高い値であった。しかし、CV は全ての装置で低く、影響はほぼないと考えられる。

VMI の CT 値およびノイズの日間変動は小さく、SECT の IEC 規格で定められた範囲に収まっていた。そのため測定頻度は IEC で定められた頻度を用いることで品質管理が可能であることが示唆された。しかし、全てのエネルギーレベルで画像を再構成し、精度を管理することは非効率的である。そこで、VMI の品質管理のためには、40 keV、70 keV、140 keV の 3 種類のエネルギーレベルでの測定することを提案する。理由として 70 keV の画像は SECT 画像と同等として臨床的に用いられることが多く、40 keV と 140 keV の画像は他のエネルギーレベルに比べ CT 値やノイズの変動が大きくなる可能性が高いためである。

【結語】

VMI の CT 値およびノイズを経時的に測定することで、装置が異なることによる CT 値精度やノイズ特性についての特性が把握できた。また従来型装置と同様に CT 値やノイズを測定することは VMI の品質管理に役立つことがわかった。その測定は IEC で規定された不変性試験の基準に従うことが望ましい。