

Dual Energy Imagingは未来を描くか

超多列化や高分解能化、2管球搭載CTの登場など、近年著しい進化を続けているCT。各メーカーが独自の技術開発に力を注ぎ、臨床の場に新たな可能性をもたらそうとしています。そこでインナービジョンでは、CTの最新技術の動向と今後の方向性について、「CT新潮流—The Next Step of CT Imaging」と題し、数回にわたりシリーズで特集していきます。第1回目は、新たな撮影法として注目を集め、日本国内でも臨床応用が始まったばかりのDual Energy Imagingに焦点を当てて、メーカー各社の技術の特徴と、臨床現場からの使用経験の報告を中心に特集します。

(*技術の名称などの一部表記については、各メーカーの用語、表記に準じています)

I Dual Energy Imagingへの期待

Dual Energy Imagingは臨床に何をもたらすか

栗林 幸夫 慶應義塾大学医学部放射線科学教室

1972年にHounsfieldにより考案されたCTは、89年のヘリカルCT技術の導入、さらに98年のMDCT (multidetector-row CT) の開発を経て、2000年代に入ってから目覚ましい進歩を遂げている。2004年に64列CTが導入されるまでは、各社とも検出器の多列化を競うように技術開発を進めてきたが、64列CT以降はDual Source CT、320列CT、High Definition CTなどメーカー各社が独自のコンセプトで開発を進めており、新世代のCTが登場している。これらの新規技術の中でも注目されているのが、Dual Energy CTであり、各メーカーとも独自の開発を進めており、昨年の

RSNA (北米放射線学会) でもその技術と臨床応用が注目の話題となった。

Dual Energy Imagingの原理

X線が物質を通過する時の減弱の程度は、X線のエネルギーによって異なり、それがCT値に反映される。例えば、ある物質に80kVpと140kVpの異なるエネルギーを有するX線を照射すると、同じ物質でも減弱が異なるので、CT値は異なる。このX線のエネルギーによるCT値の変化は物質固有のパターンを示

し、例えばヨードとカルシウムでは異なる変化曲線を示す(図1)。また、同じ物質であれば、濃度が変化してもCT値の移動が生じるだけで、その変化のパターンは同じである。この現象を利用して、80kVpと140kVpのように比較的低エネルギーのX線と高エネルギーのX線を照射した時のCT値の変化に注目して、物質を同定あるいは分離して画像化するのがDual Energy Imagingである。

例として、Dual Energy CTを用いたヨードと石灰化の物質分別に関する実験結果を示す(図2)。種々の冠動脈石灰化片と2種類の濃度のヨード溶液につ

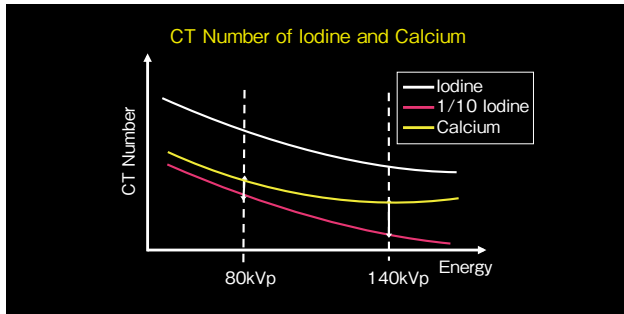


図1 Dual Energy Imagingの原理

ある物質に80kVpと140kVpの異なるエネルギーを有するX線を照射すると、同じ物質でもCT値は異なる。このCT値の変化は物質固有のパターンを示し、ヨードとカルシウムでは異なる変化曲線を示す。また、同じ物質であれば、濃度が変化してもCT値の移動が生じるだけで、その変化のパターンは同じである。この現象を利用して、物質を同定あるいは分離して画像化するのがDual Energy Imagingである。

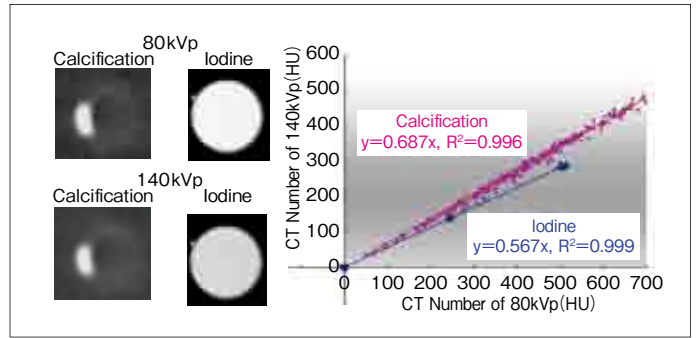


図2 石灰化とヨードの物質分別

10個の冠動脈石灰化片と2種類の濃度のヨード溶液について80kVpと140kVpでスキャンし、それらのCT値をプロットしたものである(横軸:80kVpのCT値, 縦軸:140kVpのCT値)。80kVpと140kVpのCT値の比を示す直線の勾配は、石灰化とヨードの間で異なっており、これらを分離することが可能である。

いて80kVpと140kVpでスキャンし、それらのCT値をプロットしたものであるが(横軸:80kVpのCT値, 縦軸:140kVpのCT値)、80kVpと140kVpのCT値の比を示す直線の勾配は、石灰化とヨードの間で明らかに異なっており、これらを分離することが可能であることを示している。

Dual Energy Imagingの歴史と技術

1. 歴史

Dual Energy Imagingの基礎理論は、X線CTの開発から数年後の1976年には、すでにAlvarezとMacovskiによって論文発表されている¹⁾。86年には、この理論を応用しKalenderらによってプロトタイプCT機器(Siemens Somatom DR3)が開発された²⁾。パルス照射のX線において高エネルギー(125kVp)と低エネルギー(75~96kVp)のX線をスイッチングしてDual Energyのデータを取得する方式であったが、スキャン時間の制限から動きによるアーチファクトが障害となり普及するには至らなかった。この後しばらくは実用化されなかったが、近年における技術、機器の進歩によって再び注目されるようになった。

2. Dual Energy Imagingの技術

Dual Energy Imagingでは、2つの異なるエネルギーのX線によるデータ収集が必要になるが、時間的および空間的に

同一のデータであることが望ましい。同一位置で異なる管電圧でスキャンを2回繰り返してデータ収集することも可能だが、時間軸に差が生じることとなり、動きによるアーチファクトを生じる原因となる。

現在、採用されている方式としては、

- ① Dual Source CTを用いて、方向が90°異なる2管球から異なる管電圧のX線を同時照射する(シーメンス)。
 - ② single source CTの管電圧を0.5ms以下の高速スイッチングで切り替えながら撮影する(GE)。
 - ③ 積層型の検出器を用いて、単一の管電圧のX線を照射する(フィリップス)。
 - ④ rotate-rotate方式で、異なる管電圧の撮影を2回繰り返す(東芝)。
- があり、それぞれ利点、欠点を有している。Dual Energy Imagingの原理を考えると①、②の方式が、現時点では一歩進んでいるような印象を持っている。

Dual Energy Imagingによって得られる情報と臨床応用

異なる管電圧によるスキャンから得られる情報として、物質分別(material decomposition)と仮想単色X線画像(monochromatic imaging)の2つの情報がある。

1. 物質分別 (material decomposition)

前述した原理を利用してデータの処理をすることにより、石灰化(骨を含む)

とヨード造影剤の情報の分離が可能である。この原理を利用すると、①頭蓋底など骨と血管が近接する領域での骨情報の除去、②大血管、末梢血管における壁の石灰化プラークと造影された内腔との分離、③心筋のヨード分布の画像化による心筋灌流の評価、④肺内のヨード分布の情報を抽出することによる肺灌流情報の評価、⑤肝臓のvirtual non-contrast画像の作成、⑥腎結石の組成の評価(尿酸結石かシュウ酸カルシウム結石かの鑑別)などの臨床応用が可能となる³⁾。

血管系のCT診断で最も期待できるのが、血管壁の高度石灰化例における応用であろう^{4)~6)}。高度石灰化は、CTにおいてblooming artifactにより血管内腔の評価を困難にする主たる要因である。Dual Energyの手法で石灰化の除去ができ、この問題が解決できれば診断能の向上につながり大きな進歩となる。石灰化と言ってもその種類や密度はさまざまであるが、頸部血管や下肢の末梢動脈では、現時点でも石灰化と造影された内腔の情報の分離が可能である(図3)。冠動脈領域でも原理的には可能であるが(図4)、心電図同期CTでは基本的に同時相のハーフ再構成データを用いて処理を行うことから、時間分解能と画像ノイズの問題が課題となり、これにいかに対処するかが重要になると思われる。

心臓領域では、造影剤のファーストパスでの心筋のヨード分布の画像化により、心筋灌流を評価する方法が報告されている^{7), 8)}。左室内の造影剤によるbeam hardening artifactの影響を解決する必