放射線治療計画CTにおける管電圧可変に対応した画像再構成技術の検討
～造影剤による影響～

新潟大学医歯学総合病院 診療支援部 放射線部門　○山田 諒也(Yamada Ryoya)
野島 佑太　岡 哲也

【目的】

放射線治療計画における線量計算には、組織ごとの電子密度とCT値の関係を表したCT値-電子密度変換テーブルが用いられる。近年、Siemens社より管電圧を可変しても組織ごとのCT値を一定に保つ事ができる画像再構成技術としてDirect Density®が導入された。DirectDensity®は計算アルゴリズムの仕様上、CT値をもとに人体組織を水と骨に分離している[1)]。これは水と骨の間に対象の物質が存在していると仮定した処理であるため、金属等の高密度、高CT値の物質は適応外となる。同様に、造影剤も人体組織と異なるため、Direct Density®の処理に影響を与える可能性がある。しかし、DirectDensity®への造影剤の影響についての検討は十分ではない。造影後の組織に対してもDirectDensity®を用いる事で一定のCT値を得る事が可能であれば、低電圧撮影によりコントラストを増強した画像と管電圧に依存せず線量計算が可能な画像の2種類が後処理によって同時に取得できるようになると考えられる。

本研究では、造影剤を含んだ組織に対してDirectDensity®が有効であるか検討を行った。

【方法】

使用機器は、Siemens社製のCT装置SOMATOM go.simおよびCIRS社製の電子密度ファントムを用いて測定を行った。電子密度ファントムの中央に、2、5、10、15 mgI/mLのヨード造影剤を希釈した水溶液（以下、造影剤希釈水）を封入したものを配置して撮影を行った（Fig.1）。CTの撮影条件は、管電圧を70、80、100、120、140 kVと可変した。管電流は管電圧ごとに適宜調整した。その他共通の条件として、スライス厚2 mm、Helical scan、ピッチファクタ0.8、FOV600 mm、matrix size 512、再構成法SAFIRE 2とした。得られた画像を、治療計画で用いる再構成関数Qr44とDirectDensity®で用いる再構成関数Sd40でそれぞれ再構成した。画像の中心および前後3スライスでROIを設定しCT値を計測した。DirectDensity®を用いた際の管電圧可変による影響および造影剤濃度による影響について、Qr44とSd40における造影剤希釈水のCT値の変化を比較することで評価した。

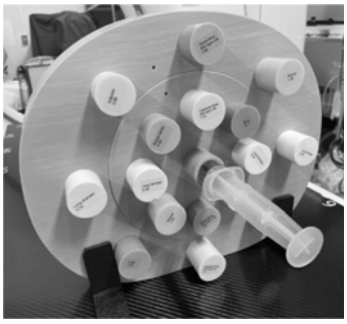

Fig.1 ファントムと造影剤希釈水の配置図

【結果】

濃度ごとの造影剤希釈水のCT値と管電圧の関係をFig.2に示す。Qr44では、造影剤希釈水のCT値は管電圧ごとに大きく変化した。一方、Sd40では、5、10、15 mgI/mLの造影剤希釈水において管電圧によるCT値のばらつきは少なかった。2 mgI/mLの造影剤希釈水はQr44とSd40で同様の傾向を示し、管電圧が高くなるにつれてCT値は低くなった。

造影剤濃度と造影剤希釈水のCT値の関係をFig.3に示す。Qr44、Sd40ともに造影剤濃度が高くなるとCT値は高くなったが、Sd40の方がCT値の変動が小さかった。

【考察】

Sd40では5、10、15 mgI/mLの造影剤希釈水において管電圧によるCT値のばらつきが少なかった要因として、DirectDensity®の計算アルゴリズム上の特性が挙げられる。DirectDensity®は、CT値に固有のしきい値を設定することによって物質を水と骨に分離している。この処理の過程で5、10、15 mgI/mLの造影剤希釈水のCT値が骨側として認識されたことによって、DirectDensity®が機能したと考えられる。

一方で、2 mgI/mLの造影剤希釈水ではQr44とSd40で同様の傾向を示した要因として、DirectDensity®のしきい値処理によって水側として認識されたことが挙げられる。120 kVにおける2 mgI/mLの造影剤希釈水のCT値は、電子密度ファントム内のLiverとほぼ同程度のCT値を示していた。そのため、しきい値処理でLiverと認識されたと考えられる。しかし、減弱まで同等とはならないため、Direct Density®による補正が上手く機能しなかったと考えられる。

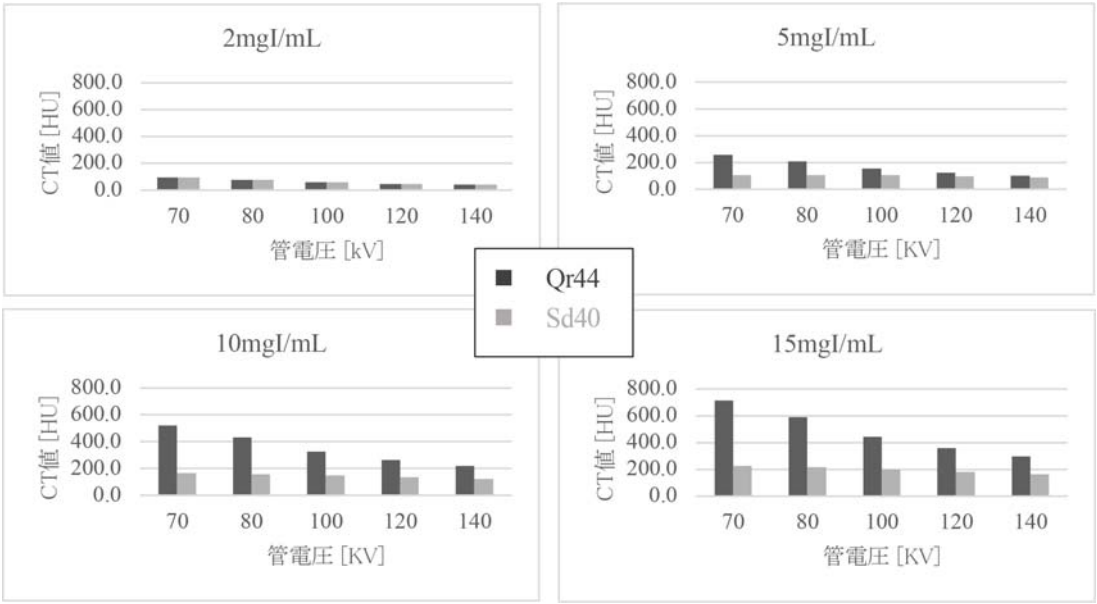

Fig.2 濃度ごとの造影剤希釈水のCT値と管電圧の関係

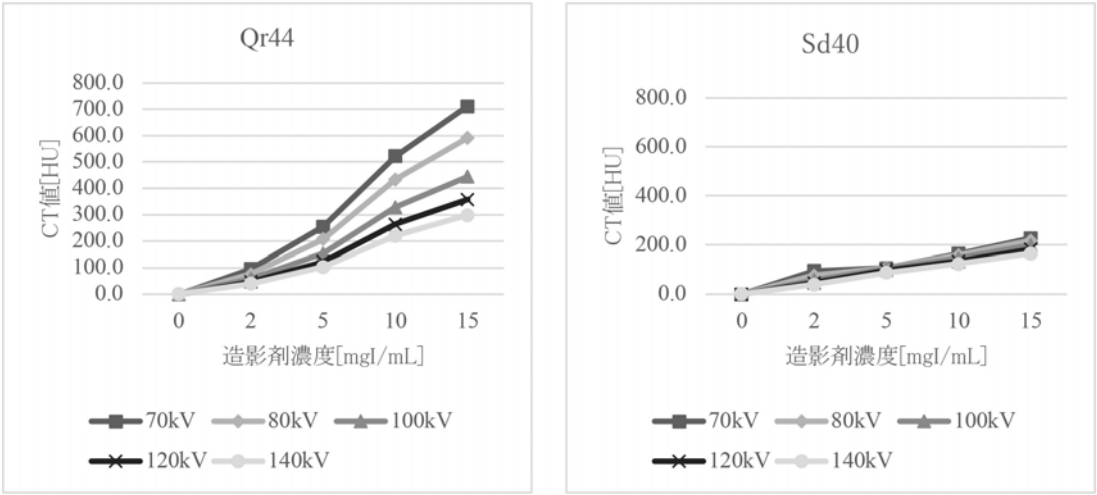

Fig.3 造影剤希釈水のCT値と造影剤濃度の関係

また、Sd40はQr44と比較して造影剤濃度によるCT値の変動が小さい傾向にある。このことから、濃度や撮影タイミングのズレによるCT値の変動を抑制できる可能性が示唆される。加えて、造影効果によるCT値の上昇も小さいため、線量計算に与える影響も小さくなると予想される。

Choiらの報告によると、軟部組織の20HU、骨の250HU程度のCT値差が線量計算に与える影響は脳において1%未満、肺や骨盤において2%未満[2]とされており、造影CTと非造影CTから計算されたPTVの線量差も1%未満[2]とされている。しかしながら、DirectDensity®で処理を行った場合のCT値差については検討していないため、今後の課題として臨床画像での挙動を確認していきたい。

【まとめ】

DirectDensity®を用いることで、造影された組織に対しても管電圧の依存性を排除する事ができた。このことから、低電圧撮影を行い造影コントラストを増強するとともに、線量計算も行える画像の取得が可能になると示唆された。

臨床画像に対する挙動も確認し、DirectDensity®上でのCT値差が線量計算に及ぼす影響も検討していきたい。

【参考文献】

1) Ritter A, et al. “DirectDensity: Principles and Implications for Radiotherapy.” Siemens Healthineers White Paper.2020

2) Youngmin Choi, et al.“Influence of intravenous contrast agent on dose calculations of intensity modulated radiation therapy plans for head and neck cancer.” Radiotherapy and oncology 2006; 81:158-162.