

論文審査の結果の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（ 医学 ）	氏名	Enkhjargal BAYASGALAN
学位授与の条件	学位規則第 4 条第①・2 項該当		
論文題目 Improved Detectability of Hyper-Dense Nodules with Dual-Energy CT Scans: Phantom Study Using Simulated Liver Harboring Nodules (Dual Energy CT による高吸収結節の検出能の改善：結節を含む模擬肝臓を使用したファントム研究)			
論文審査担当者			
主 査	教授	大段 秀樹	印
審査委員	教授	保田 浩志	
審査委員	講師	飯田 慎	
<p>〔論文審査の結果の要旨〕</p> <p>Dual Energy CT (DECT) とは、CT において対象物を異なる 2 つの管電圧でほぼ同時に撮像する方法である。本技術は、CT が開発された 1970 年代には既に考案されていたが、データの解析法がやや煩雑なことや、CT の撮像速度が遅いため 2 種類の電圧の画像をほぼ同時に収集することが困難であったため、当時は普及するには至らなかった。その後、CT 装置メーカー各社が独自に技術開発を進めた結果、現在では臨床現場にも DECT が導入されつつある。現時点の DECT の臨床応用としては、ヨード・水・脂肪などの物質弁別 (Material decomposition)、電子密度画像、実効原子番号画像、仮想単色光画像 (Virtual monochromatic X-ray imaging) 等が検討されている。通常、CT において使用される X 線は様々なエネルギーを含む多色エネルギー X 線であるが、仮想単色光イメージングとは擬似的に単色 X 線で撮影されたような CT 画像を作成するものである。通常の CT では、多色エネルギー X 線のため、X 線が被写体を通過する過程で低エネルギーの成分が吸収され、高エネルギーの成分が残る「ビームハードニング効果」が生じ、CT 画像上のアーチファクト (偽像) の原因となる。これに対して、DECT における仮想単色光イメージングはビームハードニング効果を著しく軽減することが可能である。従来 CT におけるビームハードニング効果の影響としては、頭部 CT において頭蓋骨のすぐ内側の部分の CT 値が上昇し (画像上白くなる)、くも膜下出血の診断に支障を生じる可能性があることはよく知られている。また、体格の大きな患者 (例えば肥満の患者) では、体の中央に近い部分の CT 値がビームハードニング効果により低下し (CT 画像では黒くなる)、これにより肝臓腫瘍等の検出が低下する可能性があることも指摘されている。</p> <p>そこで、本研究では、DECT を使用することにより、ビームハードニング効果により生じる肝臓腫瘍の検出の低下を回避することを狙いとして、肝臓および肝腫瘍を模擬したファントムを作成し、通常 CT と DECT の模擬肝腫瘍の検出能について比較検討を行った。</p> <p>まず肝臓を模倣した楕円柱ファントムを 3 D プリンター (Agilista 3200, Keyence) で作成した。ファントムの大きさは軸位断 300×200 mm、体軸方向 50 mm であり、素材はアクリル、内部 CT 値は 60HU (ヒトの肝臓とほぼ同等) である。ファントム内部には球状の空洞 (直径 10mm) を 102 個作成した。多血性腫瘍を模擬するために、空洞内には背景と同じ CT 値 (60HU) に調整したショ糖水溶液あるいは CT 値 70HU に調整したヨード造影剤・ショ糖・蒸留水の混合液を注入した。CT 値 70HU の水溶液は 1-3 箇所空洞に注入した。楕円柱ファントムの外周にはアクリル性の円環状アタッチメントを装着し、ファントムのサイズを小 300 x 200 x 50、中 350 x 250 x 50、大 400 x 300 x 50 mm に変更できるようにした。ファントムの撮影は、320 列 CT (Aquilion One, キヤノンメディカルシステムズ) を使用し、管電圧 120 kVp で通常 CT (Single energy CT: SECT)、135 および 80 kVp で DECT を撮像した。撮影管電流については、SECT と DECT において概ね一致するように設定した。前述の模擬多血性腫瘍の位置を替えてファントムの CT 撮影を繰り返して行った。この結果、模擬多血性腫瘍を 1 個含むファントムが 4、2 個含むものが 12、3 個含むものが 14、模擬多血性腫瘍を含まないものが 20 となった。ファントムのサイズを変更して撮影を繰り返し、SECT、DECT とそれぞれ 150 枚の CT 画像を作成した。定量評価として、大・中・小ファントムにおける模擬多血性腫瘍のコントラストノイズ比 (contrast noise</p>			

ratio: CNR) を測定した。次に、放射線診断医 5 名が参加して、多血性腫瘍検出のための読影実験を実施した。

小ファントムにおける SECT の CNR は 1.20、DECT の CNR は 1.74、中ファントムにおける SECT の CNR は 0.58、DECT の CNR は 1.41、大ファントムにおける SECT の CNR は 0.18、DECT の CNR は 1.24 であり、いずれのサイズのファントムにおいても CNR は DECT において統計学的に有意に高かった ($p < 0.01$)。放射線診断医による読影実験の結果では、AUC の平均は SECT が 0.50 (SD0.14)、DECT が 0.77 (SD0.07) で DECT の方が統計学的に有意に高かった ($p = 0.012$)。

CNR の検討では、SECT・DECT のいずれにおいても、ファントムサイズが大きくなるにつれて模擬多血性腫瘍の検出が低下したが、低下の割合は SECT の方が高かった。これはサイズが大きいファントムほど、ビームハードニング効果が強く現れるためと考えられた。また、ROC 分析による放射線科医による模擬多血性腫瘍の検出においても DECT おいて有意に検出能が向上しており、DECT ではビームハードニング効果が抑制されることにより多血性腫瘍の検出能が向上したものと考えられた。以上より、DECT は、サイズの大きな被写体においてもある程度のビームハードニング効果を抑制できることから、生体においても多血性肝腫瘍の検出能を改善することが可能と期待される。

以上の結果から、本論文は肝腫瘍の CT 診断において DECT により病変検出能を向上できる可能性を示しており、肝臓領域の画像診断の進歩に貢献する内容であり、高く評価できる。よって審査委員会委員全員は、本論文が著者に博士 (医学) の学位を授与するに十分な価値あるものと認めた。

別記様式第7号（第16条第3項関係）

最終試験の結果の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（医学）	氏名	Enkhjargal BAYASGALAN
学位授与の条件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目 Improved Detectability of Hyper-Dense Nodules with Dual-Energy CT Scans: Phantom Study Using Simulated Liver Harboring Nodules (Dual Energy CTによる高吸収結節の検出能の改善：結節を含む模擬肝臓を使用したファントム研究)			
論文審査担当者			
主査	教授	大段 秀樹	印
審査委員	教授	保田 浩志	
審査委員	講師	飯田 慎	
〔最終試験の結果の要旨〕			
判 定 合 格			
<p>上記3名の審査委員会委員全員が出席のうえ、平成30年8月2日の第75回広島大学研究科発表会（医学）及び平成30年8月2日日本委員会において最終試験を行い、主として次の試問を行った。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 実験に使用したファントムの構造および材質の詳細 2 ファントム実験の結果を臨床に外挿することの妥当性 3 Dual energy CTによる乏血性肝腫瘍検出の改善の可能性 4 脂肪肝の診断におけるDual energy CTの可能性 5 Dual energy CTによる造影剤量の低減の可能性 <p>これらに対して極めて適切な解答をなし、本委員会が本人の学位申請論文の内容及び関係事項に関する本人の学識について試験した結果、全員一致していずれも学位を授与するに必要な学識を有するものと認めた。</p>			