

氏 名 北原 均

学 位 の 種 類 博士 (医学)

学 位 記 番 号 博士 (論) 第 477 号

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 2 項

学 位 授 与 年 月 日 令和 4 年 3 月 1 0 日

学 位 論 文 題 目 A novel strategy to develop deep learning for image
super-resolution using original ultra-high-resolution
computed tomography images of lung as training dataset
(肺の超高精細 CT を学習データセットに用いるという画像の
超高解像処理の深層学習を開発するための新戦略)

審 査 委 員 主査 教授 中野 恭幸

副査 教授 芦原 貴司

副査 教授 野崎 和彦

論 文 内 容 要 旨

※整理番号	4 8 2	(ふりがな) 氏 名	きたはら ひとし 北原 均
学位論文題目	<p>A novel strategy to develop deep learning for image super-resolution using original ultra-high-resolution computed tomography images of lung as training dataset</p> <p>(肺の超高精細 CT を学習データセットに用いるという画像の超高解像処理の深層学習を開発するための新戦略)</p>		
<p>【目的】</p> <p>超高精細 CT (U-HRCT) 装置で撮影したヒト伸展固定肺の画像を学習データセットとして深層学習を行った高解像化アルゴリズム (SR-DL) を用いて、ヒト伸展固定肺 U-HRCT の更なる画質改善を図る。</p> <p>【方法】</p> <p>9 個のヒト伸展固定肺を U-HRCT 装置で撮像し画像データ (raw data) を取得した。この raw data から次の 3 種類の画像を再構成した。</p> <p>①NR モード画像 (512×512 マトリックス)</p> <p>②SHR モード画像 (1024×1024 マトリックス)</p> <p>③SHR モード画像 (2048×2048 マトリックス)</p> <p>いずれの画像も FOV は 200 mm とした。①と②の画像ペアを学習データセットとして SR-DL の深層学習を行った。この学習済み SR-DL を学習データセットに使用していない②の画像に適用し得たのが次の画像である。</p> <p>④virtual 画像 (2048×2048 マトリックス)</p> <p>この④の画質を評価するため、3 人の画像診断専門医が独立して、②の画質を基準 (2 点) として③と④の画質の 3 段階評価 (1～3 点) を行った。なお評価対象は肺の正常構造と異常所見の両方とし、3 人の評価者とは別の画像診断専門医が評価対象部位を決定した。また画像ノイズと鮮鋭度の定量値 (ERD ; edge rise distance と ERS ; edge rise slope) を求め③と④との間で比較を行った。</p> <p>【結果】</p> <p>④の virtual 画像では正常構造の描出と、consolidation および結節を除く異常所見の描出が、③の SHR モード画像よりも有意に優れていた ($p < 0.01$)。④は画像ノイズの定量値が③よりも有意に低い値を示した ($p < 0.001$)。これは④の方が画像ノイズがより少ないことを意味している。鮮鋭度の指標である ERD は④のほうが③よりも有意に小さく ($p < 0.01$)、ERS は④の方が③よりも有意に大きかった ($p < 0.01$)。これは④の方が画像がよりシャープであることを意味している。</p>			

- (備考) 1. 論文内容要旨は、研究の目的・方法・結果・考察・結論の順に記載し、2 千字程度でタイプ等を用いて印字すること。
2. ※印の欄には記入しないこと。

【考察】

深層学習を用いた CT 画像の高解像化はこれまでも報告されている。しかしそのいずれもが教師画像として従来画像 (512×512 マトリックス) を用いており、そこから意図的に画質を劣化させた同一断面の低画質画像をつくり、それをもとの画像に戻すように深層学習を行うことで人工知能による高解像化アルゴリズムを開発してきた。一方、我々はヒト伸展固定肺の U-HRCT の SHR モード画像 (1024×1024 マトリックス) を教師画像とし、同一断面の従来画像 (NR モード画像 512×512 マトリックス) を教師画像に近づけるように深層学習を行うことで人工知能による高解像化アルゴリズム (SR-DL) を開発し、さらにその学習済み SR-DL を SHR モード画像 (1024×1024 マトリックス) に適用することで、SHR モード画像 (2048×2048 マトリックス) を上回る画質の virtual 画像 (2048×2048 マトリックス) を生み出すことに成功した。異常所見の視覚評価では肺のスリガラス濃度域、気管支拡張/気管支壁肥厚、肺の気腫性変化、小葉間隔壁の肥厚、肺の網状変化に関して virtual 画像の方が SHR モード画像よりも有意に高い得点を示した。正常解剖構造でも、血管、気管支、細気管支の得点が virtual 画像で有意に高かった。同様に鮮鋭度の客観的評価でも virtual 画像が有意に良好な値を示した。一方で、consolidation と結節に関しては両者間に有意な得点差は見られなかった。

一般的に、周波数領域において高周波成分が画像の辺縁や微細構造を構成していることが分かっている。我々の高解像化アルゴリズム SR-DL は、低解像画像を高解像画像に変えるための高周波成分を予測しこれを低解像画像に付加することで高解像画像を作り出している。その効果が十分に得られた上記の評価対象では virtual 画像の画質が有意に向上した。一方で、consolidation と結節は濃く均一な像であるため周波数領域の低周波成分が主に関与していると考えられ、高解像化アルゴリズムが有効に作用しなかったものと考えられる。画像ノイズに関しては virtual 画像で有意な低下を認めたがこれは目的外の結果であった。一般的に高解像化はノイズが増加するように働く、しかし深層学習による画像の高解像化に関する先行研究でも画像ノイズの低下が報告されており、我々の場合も同じ現象が見られた。

我々の U-HRCT を用いた深層学習による高解像化アルゴリズム SR-DL は、従来の CT では決して見ることでできなかった肺野の微細構造を描出し得る可能性を秘めており、今後は臨床応用を視野に開発を続ける所存である。

【結論】

我々の U-HRCT を用いた深層学習による高解像化アルゴリズム SR-DL は、高解像化と画像ノイズ低減において有効な方法と思われる。このアルゴリズムを SHR モード画像に適用することで教師画像を凌駕する高画質を得ることができた。

学位論文審査の結果の要旨

整理番号	482	氏 名	北原 均
論文審査委員			
<p>(学位論文審査の結果の要旨)</p> <p>本論文では、超高精細 CT (U-HRCT) 装置で撮像したヒト伸展固定肺の画像を学習データセットとして深層学習を行った高解像化アルゴリズム (SR-DL) を用いて、ヒト伸展固定肺 U-HRCT の更なる画質改善に関して検討を行い、以下の点を明らかにした。</p> <p>1) SR-DL を用いて今回作成した virtual 画像 (2048×2048 マトリックス) では、正常構造の描出と、consolidation および結節を除く異常所見の描出が、実際に撮像した U-HRCT 画像 (2048×2048 マトリックス) よりも画質が有意に優れていた ($p < 0.01$)。</p> <p>2) 今回作成した virtual 画像では、画像ノイズの定量値が実際に撮像した U-HRCT 画像よりも有意に低く ($p < 0.001$)、また、鮮鋭度の指標である ERD; edge rise distance も有意に小さく、ERS; edge rise slope は有意に大きかった ($p < 0.01$)。これは virtual 画像が実際に撮像した U-HRCT 画像よりも、より画像ノイズが少なく、よりシャープであることを示しており、このことが画質の改善につながった原因であると考えられた。</p> <p>本論文は超高精細 CT 装置で撮像した画像を学習データセットとして深層学習を行った高解像化アルゴリズムによる画質改善に関して新たな知見を与えたものであり、また最終試験として論文内容に関連した試問を実施したところ合格と判断されたので、博士 (医学) の学位論文に値するものと認められた。</p> <p>(令和 4 年 1 月 27 日)</p>			