

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 小野寺 崇
学位 博士 (保健学)
学位記番号 新大院博 (保) 第52号
学位授与の日付 令和5年3月23日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
博士論文名 デジタル胸部 X 線撮影における画像処理の物理特性と最適線質に関する研究

論文審査委員 主査 齋藤 正敏
副査 山崎 芳裕
副査 近藤 世範

博士論文の要旨

本研究の目的は、デジタル胸部 X 線撮影における画像処理について物理評価を行うことでその特性を理解し、低コントラスト病変の検出能向上を実現することである。また、撮影時の検出器として最もよく用いられる間接変換型 Flat Panel Detector (FPD) に対する至適 X 線質を決定し、撮影線量低減の一助とすることである。

デジタル胸部 X 線撮影は医療における画像診断において最も基本となるものである。その撮影件数は非常に多く、検査の利便性の観点からもその重要性は年々高まっている。利用される検出器は Computed Radiography によるイメージングプレートから間接変換型 FPD へと推移してきた。また、胸部 X 線画像における画質向上や診断能の向上を目的に、様々な画像処理が開発された。しかし、これら画像処理の効果は部位ごとの画質に左右される非線形挙動を示す。胸部 X 線画像において、肺野部と縦隔部では検出器到達線量や散乱 X 線量が異なるため画質が大きく異なる。よって、胸部 X 線画像の画質評価時は臨床条件を反映させた正確な評価が必要となる。近年、各メーカーから FPD システムにおいて散乱 X 線補正処理が可能となるソフトウェアがリリースされている。これを用いることで、散乱 X 線除去用グリッド (以下グリッド) を装着しない撮影において散乱 X 線により低下した画像コントラストを改善することができる。散乱 X 線補正処理撮影時はグリッドを装着しないため、一次 X 線の増加が見込めることから撮影部位によってはグリッド装着撮影と比較し、X 線量を低減できる可能性がある。そこで本研究では散乱線補正処理胸部 X 線撮影において、物理評価の観点から従来のグリッド装着撮影時と比較した線量低減について検討した。その結果、回診胸部 X 線撮影時において散乱線補正処理を用いた場合、グリッド装着撮影に対し 20 %程度線量低減をしても同等の画質が得られる可能性が示唆された。続いて、胸部 X 線上で肋骨に重なる病変の検出能向上を目的に、エネルギーサブトラクション処理が開発された。病変部の形状や他組織との境界は、病名や今後の治療方針の決定に直結するため非常に重要な情報である。通常、空間分解能の評価には空間周波数領域で評価を行う Modulation transfer function (MTF) が用いられるが、その適用条件として評価画像の線形性を満たす必要がある。本研究では、非線形挙動を示す画像に対する空間分解能測定に被写体コン

トラストや背景雑音などを限局した状態で測定するタスクベース法を用いた。その結果、1shot dual energy subtraction 処理胸部 X 線画像の腫瘍領域における解像特性と深層学習を用いた腫瘍領域の抽出精度について高い関連性が確認でき、撮影時には従来と比較し 25 %程度の線量低減の可能性が認められた。

また、デジタル胸部 X 線撮影は最も多く施行されている画像診断検査であるにもかかわらず、いまだ至適線質について結論が得られていない。近年は銅 (Cu) フィルタを付加した高電圧撮影は画質改善効果が高いとされ、その有用性に関する報告例も散見される。しかし、Cu フィルタを付加することで実効エネルギーが変化し、FPD への X 線吸収効率の低下が予想される。そのため、現在最も普及している間接変換方式 FPD を用いた胸部 X 線撮影時における Cu フィルタの画質への影響を調査し、至適線質を明らかにすることは非常に重要である。画像の総合評価指標として空間周波数の関数である、Noise Equivalent Quanta (NEQ) や Detective Quantum Efficiency (DQE) が用いられるが、これらの測定法は散乱 X 線を含まない理想的な状態の X 線を入力信号とした測定に終始している。胸部 X 線撮影時は照射野サイズが大きく、高電圧撮影を行うことで縦隔や骨から多くの散乱 X 線が発生する。さらに Cu フィルタを付加することで実効エネルギーが大きく変化し、画質へ及ぼす影響は大きなものになると予想される。本研究では、これらの問題の解決を図るため、臨床条件における被写体透過後の X 線を入力信号とする effective DQE を用いて画質の評価を行った。その結果、Cu フィルタを付加したとき FPD の X 線吸収効率は低下するが信号対雑音比の向上が確認され、これに伴い人工知能は低コントラスト病変の腫瘍領域を正しく抽出した。以上のことから、間接変換方式 FPD を用いた胸部 X 線撮影時における Cu フィルタの有用性を証明した。

審査結果の要旨

学位申請論文は、主査 1 名、副査 2 名の計 3 名で審査を行った。

1. 保健学における研究の価値と貢献

本論文は、新規性（学術的・技術的観点からの新規性、あるいは適用対象が新しい、など）、有効性（評価方法・基準が適切であることを含めた論文趣旨全体の有効性、など）、信頼性（記述の客観性や論理性、手法の評価の適切さ、など）のいずれも秀でており、保健学（特に放射線技術科学分野）に貢献する優れた論文であると、判断する。

2. 論文構成と内容に関する審査

本論文は、第 1 章 緒論、第 2 章 U-net を用いた散乱線補正回診胸部 X 線撮影における撮影線量低減の可能性、第 3 章 解像特性と模擬腫瘍領域評価指標の関係性を根拠としたデュアルエネルギーサブトラクション処理胸部 X 線撮影における線量低減の可能性、第 4 章 デジタル胸部 X 線撮影における銅フィルタ付加の有用性、第 5 章 結論で構成されており、論文の趣旨を把握するために、各章の内容は十分に詳細に書かれている。また、以下の点を全て満たしている。

- ・タイトルが、論文の趣旨を捉えており明解で簡潔である。
- ・目的と背景が、明解かつ簡潔に記されている。

- ・理論／方法が、正しく論理的であり、客観的に明解に記述されている。
- ・結果が、正当で、図、写真、表が適切であり、客観的・論理的に記述されている。
- ・考察が、正当で客観的・論理的であり、著者の主張や結論を支持するデータが十分である。
- ・結論が、目的に対応して適切に導かれており、記述が簡潔である。
- ・引用文献が、本文中に現れた順に適切に参照されている。
- ・表が、見やすく、数や表現が適切である。
- ・図、写真が、見やすく、数や表現が適切である。
- ・キャプションが、明解で適切である。
- ・書式が、適切である（誤字脱字がない、文体が統一されている、用語が適当である、など）

よって、論文構成およびその内容は学位論文としての要件を満たすものであると判断する。

3. 総括

審査の結果、本論文は博士(保健学)の学位論文として十分な価値を有するものとする。