Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-05

Application of dual-energy CT to suppression of metal artefact caused by pedicle screw fixation in radiotherapy: a feasibility study using original phantom

Wang, Tianyuan

(Degree)
博士（医学）

(Date of Degree)
2019-03-25

(Resource Type)
doctoral thesis

(Report Number)
甲第7339号

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007339

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

（課程博士関係）

学 位 論 文 の 内 容 要 旨

Application of dual-energy CT to suppression of metal artefact caused by pedicle screw fixation in radiotherapy: a feasibility study using original phantom

金属スクリューアーティファクトの低減に向けた放射線治療における デュアルエネルギーCT の応用：オリジナルファントムを用いたフィジビリティスタディ

神戸大学大学院医学研究科医科学専攻
放射線腫瘍学
（指導教員：佐々木　良平　教授）

WANG Tianyuan
王　天縁

Emerging modern RT techniques such as intensity-modulated radiation therapy (IMRT) and stereotactic radiosurgery (SRS) afford options for the treatment of spinal metastases using higher prescribed doses compared to those for palliative treatment, and can also be used for the treatment of re-irradiation cases. When using these techniques, the doses delivered to the spinal cord, which is a dose-tolerant organ, should be accurately calculated for safety, especially in cases of re-irradiation. However, for spinal metastases involving segmental and component instability, spine surgery is usually required before adjacent RT, to restore spinal stability and preserve its neurologic function. Metallic spinal implants inevitably cause dark and bright streak artefacts that obscure accurate CT images, which are used for modern treatment planning. The metallic spinal implants of routine clinical cases are usually made from titanium alloy. Dual-energy computed tomography (DECT) is an emerging potent method for the reduction of metal artefacts involving the acquisition of CT data sets from two different x-ray spectra. The usability of DECT images for suppressing metal artefacts of low-Z materials such as titanium-based pedicle screws has been confirmed by several studies. Nevertheless, the dosimetric advantages for low-Z metal spinal implants can be exploited by the application of DECT images, although the potential benefits remain unclear.

The aim of the present study was to investigate the potential dosimetric benefits of implementing artefact-suppressed DECT images for cases involving metallic implants in spinal sites. The CT image data and treatment plans were generated using an original heterogeneous spinal phantom with inserted titanium-alloy pedicle screws. The dosimetric comparisons were first performed using a conventional two-directional opposed (AP-PA) plan, and then in a volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan, both of which are used to treat spinal metastases in our institution. The results of AXB calculations using different imaging options were compared with experimental measurements including chamber and film dosimetries in the spinal phantom.

Metal artefact-related dose errors have generally been reported to be affected by the physical properties of the metals, the interaction of the photon beams with the implants, and the algorithm used for the dose prediction. The objective of the present study was to investigate the dosimetric effects associated with metal artefacts at spinal sites caused by pedicle screw implants fabricated from a low- Z titanium alloy. A conventional AP-PA plan and complex VMAT plan were considered to determine how the dosimetric effects were affected by different interactions of the photon beams with the metal implants and their associated artefacts. The treatment plans delivered to the original spinal phantom used for the study were evaluated by AXB calculations with respect to the modelling accuracy of the photon attenuation and electron transport around and within the implant metal. An artefact-reduction strategy using DECT images was found to be promising for improving the dosimetric accuracy near the implants and inside the spinal cord. Previous studies mostly investigated the dosimetric effects near low-Z titanium rod implants, and the artefacts near the rods were considered to have little effect on the calculation accuracy. The results of the present study indicate that, although the pedicle screws were made from low-Z titanium alloy, they had dosimetric effects inside the spinal cord. Due to the specific geometry of the screws and their location close to the spinal cord at the treatment site, the photon beams interacted with the metal and associated artefacts, inevitably increasing the complexity of the VMAT treatment plan and causing greater dosimetric discrepancies, which are of clinical concern.

In this study, we investigated the feasibility of using DECT images to achieve dosimetric benefits by suppressing artefacts due to metallic pedicle screw implants at spinal sites. The treatment plans were evaluated based on AXB calculations using an original spinal phantom. The results of the conventional SECT approach revealed that, although the pedicle screws were made from low-Z titanium alloy, the metal artefacts still have dosimetric effects inside the spinal cord, which is of clinical concern. Metal artefact suppression using the proposed DECT approaches was found to be promising for improving the dosimetric accuracy near the implants and inside the spinal cord.

神戸大学大学院医学(系)研究科（博士課程）

論文審査の結果の要旨

受付番号	甲 第 2832 号	氏 名	王 天縁
論文題目 Title of Dissertation	Application of dual-energy CT to suppression of metal artefact caused by pedicle screw fixation in radiotherapy: a feasibility study using original phantom 金属スクリューアーティファクトの低減に向けた放射線治療における デュアルエネルギーCTの応用：オリジナルファントムを用いたフィジビリティスタディ		
審査委員 Examiner	主 査 Chief Examiner 福本 巧 副 査 Vice-examiner 杉本 幸司 副 査 Vice-examiner 児玉 裕三		

（要旨は１，０００字～２，０００字程度）

【背景】

近年放射線治療では、CT 画像を用いて腫瘍病変や正常組織などの関心領域を囲い込み、CT 値を基にした線量計算を行うことで精密な３次元治療計画の作成が可能となっている。しかし骨固定プレートなどの金属インプラントの使用患者では金属が引き起こすアーチファクトにより関心領域の正確なＣＴ値が測定できないため、正確な線量計算が困難となる。特に金属プレートによる脊椎固定術後の患者に対して椎体全体を照射する場合、危険臓器の脊髄の線量評価が困難となる。この課題を解決するために、金属アーチファクトの軽減対策法が開発されている。現在主流である MAR(Metal Artifact Reduction)アルゴリズムでは、アーチファクトの軽減が可能となるが Low-Z 金属インプラント(チタンなど)の形状が変形し、線量計算の誤差が報告されている。一方、近年臨床応用されつつある Dual Energy CT 装置は２つの X 線管球を用いることで同時に 2 種類の異なるエネルギー（例えば 80kv と 140kv）の CT 画像を取得し、物質の同定や画質の向上が可能でビームハードニング効果を抑え、金属アーチファクトを軽減できる画像が再構成できる。

【目的】

金属インプラント使用例においてデュアルエネルギーCT を用いて放射線治療計画を作成し、金属アーチファクトの軽減により正確な 3 次元放射線線量分布の計算が得られるかを検討した。

【方法】

CT 撮影装置には Siemens 社の 2 管球 Dual Energy CT 装置を用いた。シュミレートする対象は脊髄固定術後患者とし金属の材質、サイズやインプラントの位置などアーチファクトに影響する因子を最大とし、臨床例に基づくファントムを制作した。既知の CT 値の材料を用いてファントムを作成することにより画像より計算される理論値およびイオンチェンバー又はフィルムなどを用いた実際の線量測定値の評価が可能となる。本研究では理論地と実測値を比較することで線量分布計算の正確性を検証した。

【結果】

作成したファントムを用いたイメージング評価において、ファクター(-0.2) dual-energy composition image (DECI)と 180 keVdual-energy monochromatic image (DEMI)の画像が一番アーチファクトインデックス値が低かった。それぞれの画像モダリティを用いた治療計画の線量計算の結果:通常 CT 画像と比べて、デュアルエネルギーCT（DECI and DEMI）画像は有意に３％以上線量精度の改善が認められた。

実測検証の結果において、前述シミュレーションした線量計算の正確性を確認できた。とくに、脊髄部分の線量をイオンチェンバで検証した結果、通常 CT 画像に対して平均４.４％（最大５.６％）の線量誤差を平均１.１％（最大２.０％）まで改善が認められ、該当研究手法による線量分布計算の正確性を実証できた。

【結論】
脊髄固定術後の症例に対し、デュアルエネルギーCT 画像を用いた治療計画では、金属インプラントの CT 画像アーチファクト有効に軽減し、放射線治療の線量精度を有意に改善した。

本研究は高精度放射線治療における画像アーチファクトの問題解決を目的とし、従来ほとんど検討されていなかった Dual Energy CT 装置を臨床放射線治療への導入・実行を通して、臨床症例を基に作成したファントムを用いた研究手法で、線量精度を有意に改善可能な放射線治療計画法を検討したことについて重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、本研究者は、博士（医学）の学位を得る資格があると認める。