Research Reports of Suzuka University of Medical Science

トモシンセシス撮影時のステンレスとチタンの 金属アーチファクトの比較

中舍 幸司,柴田 幸一

鈴鹿医療科学大学 保健衛生学部 放射線技術科学科

鈴鹿医療科学大学紀要

No.24, 2017

原著論文

トモシンセシス撮影時のステンレスとチタンの

金属アーチファクトの比較

中舍 幸司, 柴田 幸一

鈴鹿医療科学大学 保健衛生学部 放射線技術科学科

キーワード: トモシンセシス, 金属アーチファクト, 方向依存性, 人工股関節, X線

—— 要 旨 ——

[目的] 人工股関節を挿入した部位を撮影する整形外科領域では金属アーチファクトを抑制した画像が得られるトモシン セシスが用いられている。その人工股関節にはステンレスやチタンが用いられている。本研究では、トモシンセシスで 撮影した場合のステンレスとチタンの材質の違いの金属アーチファクトの影響について比較検討した。

[方法] ステンレスとチタンのボルトを封入した自作ファントムを用い、トモシンセシスにて撮影し、各再構成フィルタで 再構成した。ImageJ にてボルトに対し直交するように Region of interest を設定して解析し、プロファイルカーブを作成し 比較した。最もアーチファクトが少ない再構成フィルタを用いて X 線走査方向に対してボルトの長軸を 0°, 45°, 90°の 角度で配置して撮影を行い、プロファイルカーブを作成し比較した。

[結果] 各金属とも Thickness++DC4 のフィルタで金属アーチファクトの影響が最も少なく,方向依存性は X 線走査方向 に対してボルトの長軸が 0°のとき,最も金属アーチファクトが少なかった。チタンはステンレスよりも金属アーチファクト が少なかった。

[結語] トモシンセシスでチタンはステンレスよりも金属アーチファクトの影響が少ないことが示唆された。チタンは機械 的強度と生体親和性が非常に優れていることからも、トモシンセシスを行うことを考慮すると、人工股関節の使用に有用 であると考える。

1. はじめに

変形性関節症などの治療後の股関節や膝関節の評価 はコントラスト分解能が優れている点や 0.5mm 程度の薄 い断層厚が可能¹⁾であるという点などから Computed Tomography (CT)による断層画像で評価したいところだ が,被ばくが多く,断層画像では断層画像上の金属アー チファクトの影響により評価し難い状況にある.ところが, トモシンセシスは CT と比較し被ばく線量は約 1/10 であり, Multi Detector-raw Computed Tomography (MDCT)と比 較しても金属アーチファクトの影響が少ない特徴があり²⁾, 現在,人工股関節などの金属を挿入した部位を撮影する 整形外科領域ではこのトモシンセシスが用いられている³⁾. しかしトモシンセシスは X 線管を走査しながら撮影する ため,X 線管の走査方向に対する金属の位置関係によっ てアーチファクトの出現率が異なり,診断目的の関心領 域に影響を及ぼすことがある⁴⁾.

トモシンセシスとは,Tomography (断層)と synthesis (統合,合成)からの造語⁵⁾であり,1回の断層撮影で 任意の高さの断層像を再構成し画像化する手法である. 透視撮影台システムの断層走査にて撮影された投影像は, 任意断層再構成用 Work Station にて再構成処理される. トモシンセシスは1回の走査で複数の断層面を再構成す るもので,画像処理により障害陰影を低減することも可能 である⁶⁾.また,断層撮影の原理に基づくシフト加算法と CT 再構成の代表的手法であるフィルタ逆投影法 (Filtered Back Projection 法:FBP 法)を拡張した再構成手法があ る.

人工股関節の金属にはステンレスとチタンの2種類が 使用されており、トモシンセシスではこれらの金属アーチ ファクトを抑制した画像が得られる³³ことが報告されてい る.現在臨床において両金属が用いられている状況であ り、トモシンセシスで撮影した場合どちらの金属アーチ ファクトがより効果的に抑制されているか定かではない.

そこで今回我々は、トモシンセシスの人工股関節撮影 に着目し、ステンレスとチタンを対象として、トモシンセ シスの再構成条件(フィルタ)の違いと方向依存性の金 属アーチファクトの影響を、比較検討したので報告する.

2. 使用機器

本研究は、島津製作所社製のX線TVシステム SONIALVISION G4を用いた.解析ソフトは ImageJを 用いた.撮影には寒天にステンレスとチタンを埋め込ん だ自作ファントムを作成した.ステンレスとチタンの金属 画像をFig.1に示す.



3. 方 法

3-1 撮影条件

自作ファントム内のボルトは、臨床の股関節撮影時の 条件を用い、寝台から 100mm の高さとした. ボルトの直 径は両金属とも 10mm の金属を使用した(Fig. 1 参照). 撮影条件は撮影モードの Hip Joint を使用し、Hip Joint の 条件は管電圧、管電流時間積、SID、折り角はそれぞれ 80kV、2.5mAs、110cm、46°(±20°)である. また、再 構成法は Filtered Back Projection (FBP)、再構成フィルタ は Thickness++DC0、Thickness+-DC0、Thickness--DC0、 Thickness++DC4、Thickness+-DC4、Thickness--DC4を 用いた. これらのフィルタ名は島津社特有の名称である. Thickness は断層厚(スライス厚)のことであり、各 Thickness の厚さは Table 1 に示す. DC とは低周波成分 のことであり, DC0 は低周波成分は少なく DC4 では低周 波成分が多いことを示す.また,再構成パラメータは高 さ,範囲,ピッチ,断層像拡大率をそれぞれ,100mm, 90mm, 3.0mm, 100%とした.

Table 1 各再構成フィルタの断層厚の違い

再構成フィルタ	断層厚(mm) 断層角度40°
Thickness	4.0
Thickness+-	7.7
Thickness++	13.5

3-2 再構成フィルタの違いのアーチファクトの比較

自作ファントム内に埋め込んだステンレス,チタンのボルトが X 線走査方向に対して平行 (90°)になるように置

き,再構成フィルタを変化させそれぞれ撮影した.撮影

した画像を, ImageJ で走査方向に対して垂直になるよう に Region of interest (ROI) を設定 (Fig. 2) し, ROI 解 析を行いプロファイルカーブを作成した. 各再構成フィ ルタの金属アーチファクトの評価は, プロファイルカーブ よりファントムピクセル値からボルト辺縁ピクセル値の低 下度 (ピクセル値低下度) (Fig. 3)を用い, 金属ごとに 評価した. さらに, 各再構成フィルタの両金属の金属アー チファクトの比較を行った.

3-3 方向依存性のアーチファクトの比較

3-2 より, プロファイルカーブよりピクセル値低下度が 減少していた再構成フィルタを用いて, 両金属のボルト の長軸が X 線走査方向に対して 0°, 45°, 90°となるよう に設置し, 撮影した. その画像から, ボルトに対して垂 直に ROI を設定 (Fig. 4) および解析し, プロファイル



Fig. 2 Region of interest (ROI) の設定



Fig. 3 チタン Thickness++DC4 のときのプロファイルカーブ ファントムピクセル値からボルト辺縁ピクセル値についての説明



Fig.4 方向依存性の Region of interest (ROI) 設定 a: 走査方向に対して金属が 0°の場合, b: 走査方向に対して金属が 45°の場合, c: 走査方向に対して金属が 90°の場合)

カーブを作成した. 各走査方向の金属アーチファクトの 評価はピクセル値低下度およびボルト部の半値幅(ボル ト中心部からボルト辺縁下部までのピクセル値の中心ピク セル値の長さ)を用い(Fig. 5),金属ごとに評価した. さ らに,各走査方向の両金属の金属アーチファクトの比較 を行った.

4. 結 果

4-1 再構成フィルタの違いのアーチファクトの比較

ステンレス, チタンの再構成フィルタの違いの金属アー チファクトのグラフを Fig. 6 に示す. ピクセル値低下度は ステンレス, チタンともに 再構成フィルタが Thickness++DC4 の場合が最も少なかった, Thickness-- DC0 は最も多かった.

各再構成フィルタの両金属の金属アーチファクトの比 較したグラフを Fig. 7 に示す. Thickness+-DC0, --DC0, ++DC4, +-DC4, --DC4 のピクセル値低下度は, チタン はステンレスよりも減少していた. Thickness++DC0 のピ クセル値低下度は両金属とも同程度であった.

4-2 方向依存性のアーチファクトの比較

ステンレス, チタンの方向依存性の結果を Fig. 8 に示 す. ピクセル値低下度はステンレス, チタンともにボルト の長軸が X 線走査方向に対して 0°のときが最も少なかっ た. ボルト部の半値幅は, グラフよりそれぞれ各金属と もにボルトの長軸が X 線走査方向に対して 0°のときに最 も小さかった.



Fig. 5 チタン Thickness++DC4 のときのプロファイルカーブ(半値幅部のボルトの長さについての説明)







各角度の金属アーチファクトの比較したグラフを Fig.9 に示す. ピクセル値低下度は,チタンはステンレスよりも 全角度で小さかった. ボルト部の半値幅は,チタンはス テンレスよりも全角度で小さかった.

5. 考 察

トモシンセシスの人工股関節撮影に着目し、人工股関 節の材質としてよく使用される金属であるステンレスとチ タンを対象として、トモシンセシスの再構成フィルタの違 いと方向依存性の金属アーチファクトの影響について、比 較検討した. ステンレス, チタンの再構成フィルタの違いの金属アー チファクトでは, ピクセル値低下度はステンレス, チタン ともに再構成フィルタが Thickness++DC4 の場合が最も 少なかった.本研究で用いられている「ピクセル値の低 下」とは画像上では黒く表示され, これがアーチファクト として認識される. ピクセル値低下度が少ないということ はピクセル値の低下が少ないことであり金属アーチファク トが少ないことを表している.従って再構成フィルタは Thickness++DC4 に設定することで金属アーチファクトの 減少が得られることが分かる. Thickness--DC0 のピクセ ル値低下度はステンレス, チタンともに高く, 金属アー チファクトが最も多かった. この原因として, フィルタを







用いて再構成を行う FBP 法では障害陰影除去処理が行 われるが^{4,6)}, Thickness++ では断層厚が厚く, この処理 が強くかかる為だと考えられる.一方, Thickness-- では 断層厚が薄いため, この処理が弱くなりアーチファクトが 多くなったと考えられる.また, 金属同士による金属アー チファクトの比較では, ほとんどの再構成フィルタでピク セル値低下度は, チタンはステンレスよりも減少しており, 金属アーチファクトは抑制されていた. X 線は金属を透 過する際, 光電効果により減弱が生じ金属アーチファクト の原因となる⁷⁾. その光電効果の起こる確率は Z⁵ に比例 し増加する⁸⁾. 今回, 自作ファントムに使用した各金属の 原子番号はチタンが 22, ステンレスは合金であり, ステ ンレスの定義は鉄成分 50% 以上含むものであるため,本 研究ではステンレスの原子番号を鉄の原子番号 26 とし て考えた.ステンレスとチタンの原子番号を比較すると 大きな差は無いが,ステンレスの方がチタンよりもわず かに大きいため,原子番号の差が光電効果の発生率に 違いが生じ,チタンに比ベステンレスは金属アーチファク トが多くなったと考えられる.

方向依存性の金属アーチファクトの比較でピクセル値 低下度が少なかったのは、両金属ともボルトの長軸が X 線走査方向に対して 0°のときであり、この角度では半値 幅も小さく、最もアーチファクトが抑制されていた。また、 ピクセル値低下度が大きいものは、両金属ともボルトの 長軸が X 線走査方向に対して 90°のときであり、この角 度では半値幅も大きく. 最もアーチファクトの影響を受け ていた. これらの原因として、トモシンセシスの構造面で X線管の振り角方向に金属アーチファクトが生じるという 特徴がある⁹⁾ことから、ボルトの長軸が X 線走査方向に 対して 0°のときに最も金属アーチファクトが少なくなり、90 °のときに最も多くなったと考えられる. 金属同士の方向 依存性の比較は、チタンはステンレスよりも全角度でピク セル値低下度が小さく、 金属アーチファクトは減少してい た. 従って方向依存性の面からも金属アーチファクトの影 響は, チタンはステンレスより優れていた.

本研究では、トモシンセシスのステンレスとチタンの金 属アーチファクトについて検討した.実際の臨床現場で は、チタンは比強度が高く⁸⁾、生体親和性が非常に優れ ており¹⁰⁾、臨床現場でよく用いられているという報告があ る.本研究ではチタンはステンレスよりも金属アーチファ クトが減少していることより、チタンは画質の面からも有 用性が得られていることが示唆された.

また,画像上の金属ボルト末端には濃度が高いエッジ 部分が存在し,エッジに関しては本研究では評価を行っ ていない. 今後はエッジ強調を含めた検討が必要である.

トモシンセシスの画像再構成は,本研究では FBP を用 いて検討を行っている.本学のトモシンセシスには導入 されていないが逐次近似法を採用した再構成法 (T-smart)が導入されている装置がある.この T-smart と は,人工関節部の金属とその他の人体組織に分離し,そ れらを個別に逐次近似再構成を行い,その後両者の画 像を加算し金属アーチファクトをより低減した画像を提供 できる再構成法であり,FBPよりもさらに金属アーチファ クトを低減できるとされている¹¹⁾. 今後,その T-smart で 再構成したときの両金属の金属アーチファクトについての 影響を比較し,さらなる研究に繋げたいと考える.

6. 結 論

トモシンセシスでチタンはステンレスよりも同再構成フィ ルタで金属アーチファクトが少なくなり、方向依存性の面 からも金属アーチファクトは減少していた.チタンは金属 アーチファクトを抑制した画像を提供できることが示唆さ れた.

謝 辞

本研究にご協力いただきました鈴鹿医療科学大学保健 衛生学部放射線技術科学科,坂口哲也氏,鎌田翼氏, 小牧史典氏,佐竹倫矩氏,海野翔哉氏に,心より感謝申 し上げます.

参考文献

- 1) 中島正弘:撮影テクニック,ワークフローを中心に. INNERVISION, 28(12), 10-12, 2013.
- 小川真人,大関 覚:金属アーチファクトを抑えた トモシンセシス画像の臨床応用. INNERVISION, 26(7), 25-29, 2011.
- 3) 五味 勉, 武田 徹, 梅田徳男: 画質評価を中心 に. INNERVISION, 28(12) 2-5, 2013.
- 4)塩見 剛:トモシンセシスの原理と応用~FPDが生み出した新技術~. 医用画像情報学会雑誌 2007;
 24(2) 22-27.
- 5) 大塚恭一:「MAMMOMAT Inspiration」の乳腺デジ タルトモシンセシスの特徴. INNERVISION, 26(7) 12-15, 2011.
- 6) 平野浩志: 甦るトモシンセシスートモシンセシスの

開発から臨床応用に至るまでの歩み. INNERVISION, 26(7), 2-7, 2011.

- 7)氏家盛通,宇野和也,廣野圭司,他:PET 検査に おける吸収補正法(外部線源とX線CT)の比較~吸 収補正法と被ばくに関する臨床現場での対応~. 駒澤 大学医療健康科学部診療放射線技術科学科論集,6 1-8,2008.
- 8) 西臺武弘:放射線医学物理学. (第3版增補)株式

会社文光堂, 63, 2014.

- 9) 橋本尚美:「MAMMOMAT Inspiration」におけるデ ジタルトモシンセシス AST (All Slice Tomosynthesis) の実現. INNERVISION, 28(12) 36-37, 2013.
- 10)小田 豊:チタンの歯科応用の最前線. 歯科学,114(3) 187-197, 2014.
- 11) 内田昌宏:当院における SONIALVISION safire シ リーズ. MEDICAL NOW, No.76, 15-18, 2014.

Metal artifacts during tomosynthesis of artificial hip joints: stainless steel versus titanium

Koji NAKAYA, Koichi SHIBATA

Faculty of Health Science, Suzuka University of Medical Science

Key words: Tomosynthesis, metal artifact, directional dependence, artificial hip joint, X-ray

-Abstract-

[*Purpose*] Tomosynthesis may be used to evaluate an implanted artificial hip joint. As stainless steel and titanium are used frequently for these implants, we compared their usefulness in terms of creating fewer artifacts on tomographic images.

[*Methods*] We created a phantom that included screws created from either stainless steel or titanium and then imaged the screws using tomosynthesis. We reconstructed each image using a previously designed filter based on numerous images. ImageJ was used to establish the region of interest, which was orthogonal to the screw. Before imaging, the long axis of the screw was placed at an angle with respect to the X-ray scanning direction using a reconstruction filter with the fewest artifacts. Imaging was then performed. Profile curves were created from the images and compared.

[*Results*] The DC4 filter of ++ thickness allowed the fewest metal artifacts from either the stainless steel or titanium screws. Directional dependence was the least for metal artifacts when the long axis of the screw was 0 $^{\circ}$ with respect to the X-ray scanning direction. Overall, titanium caused fewer artifacts than stainless steel.

[*Conclusion*] The results suggested that titanium causes fewer artifacts than stainless steel on tomographic images. Titanium is also considered useful for artificial hip joints because of its excellent mechanical strength and biocompatibility.

—— 略 歴 ——

中舍 幸司 (修士 [保健学]) 鈴鹿医療科学大学 保健衛生学部 放射線技術科学科 助教

学 歴:

平成17年 鈴鹿医療科学大学 保健衛生学部 放射線技術科学科 卒業 27年 徳島大学大学院 博士前期課程 保健科学教育部 保健学専攻 卒業

職 歴:

平成17年 洛和会音羽病院 放射線部 診療放射線技師 18年 国立病院機構 京都医療センター 放射線部 診療放射線技師 19年 国立病院機構 国立循環器病研究センター 放射線診療部 診療放射線技師 27年 鈴鹿医療科学大学 保健衛生学部 放射線技術科学科 助教

主な受賞歴;

平成27年 Osaka Nuclear Technologist Conference 研究奨励賞 Investigator Award

主な研究分野:

- (1) 心臓核医学検查
- (2) 血管造影検査