

# 人工膝関節全置換術患者の退院時歩行能力に関する 臨床予測指標の開発

栗原 健太

大学院 医療科学研究科 医療科学専攻

(指導教員：浅田 啓嗣 教授)

## はじめに

人工膝関節全置換術（Total Knee Arthroplasty：TKA）は末期の変形性膝関節症（以下：膝 OA）患者の機能改善に有効な手術療法であり、高齢人口の増加に伴い手術件数は年々増加している。TKA 患者の術後理学療法では歩行を中心とした日常生活動作の獲得に向けた治療が行われ、ほとんどの患者では術後に身体機能の改善がみられる。しかし、その一方で身体機能が十分に改善せず、退院時に安定した歩行が獲得できない患者に遭遇することもあり、先行研究では約 20% の患者が退院後の歩行時痛や日常生活動作の改善状況に満足していないと報告されている。このような術後の歩行能力改善が不十分である患者を術前に予測できれば、治療目標の設定や医療福祉サービスの検討、患者・家族教育等に利用できる有益な情報になると考えられることから、術後の歩行能力に関連する因子を特定し、予後が不良となる患者を事前に判別する事は臨床的意義が大きいと考えられる。

術後の歩行能力を予測する術前因子には、患者の身体的特徴や身体機能、心理的因子が影響すると考えられるが、歩行能力に影響する複数の術前予測因子を体系的に統合し、臨床的に有用な 1 つのモデルにした研究はほとんどない。

## 目 的

本研究は患者の身体的特徴や術前の身体機能、心理

的要因から、退院時に歩行能力が低い患者を判別する Clinical Prediction Rule（CPR）を開発することを目的とした。

## 方 法

対象は 2019 年 4 月から 2022 年 12 月に所属病院で初回 TKA を施行した膝 OA 患者とした。選択基準は 50 歳以上で質問紙評価に回答可能な患者とし、除外基準は、対側の TKA の既往、関節リウマチ、特発性骨壊死、他の関節の重度の変性疾患、重度の精神障害（うつ病、統合失調症、認知症など）の合併、術中・術後の合併症（骨折、創感染、腓骨神経麻痺、深部静脈血栓症など）によるクリニカルパスから逸脱した者とした。診療録より性別・年齢・BMI を収集し、術前に両側の膝関節 ROM・大腿四頭筋力・歩行時の膝関節痛（VAS）・短縮版 Tampa Scale for Kinesiophobia（下位尺度 Activity Avoidance; AA, Somatic Focus; SF）・The modified Gait Efficacy Scale（mGES）を評価した。アウトカムとして退院時に Timed Up and Go test（TUG）を実施し、日本整形外科学会が定める運動器不安定症の診断基準である TUG スコア 11 秒を基準に、TUG が 11 秒以上の歩行能力が低い患者を Low 群、11 秒未満の患者を Moderate 群に分類した。

統計解析は CART 法を用いた決定木分析を行った。上記評価項目を独立変数、群分けした退院時の歩行能力を従属変数とした。決定木の停止基準は、階層は第 3

層，親ノードの最小数 10，子ノード 3 と定め，10 分割交差検証も実施した。また CART モデルの精度は，受信者動作特性曲線下面積（AUROC）を用いて評価した。統計学的有意水準は 5 % とし，解析ソフトは SPSS28 を使用した。

## 結 果

対象者 101 名（男性：29 名，女性：72 名，平均年齢：72.2 ± 6.6 歳）中，Low 群は 26 人（25.7 %）であった。CART 法の結果，TKA 前の mGES スコア（≤ 24.0 または > 24.0）が，最良の判別因子であった。mGES が ≤ 24.0 の患者の場合，次の予測因子は患者の年齢（≤ 77.5 または > 77.5 歳）であった。さらに，年齢が ≤ 77.5 歳の患者の場合，次の予測因子は術側の膝関節痛であり VAS：79mm で終末ノードに分岐した。また mGES > 24 点の場合，次の予測因子は非術側の膝関節伸展 ROM であり，膝関節伸展 ROM が ≤ -7.5° の場合，次の予測因子は SF であり 13.5 点で終末ノードに分岐した。このモデルの予測精度は感度 50.0 %，特異度 98.7 %，陽性的中率 92.9 %，陰性的中率 85.1 %，陽性尤度比（LR+）37.5，陰性尤度比（LR-）0.507 で，AUROC は 0.853（95 % CI：0.760-0.945）であった。

## 考 察

本研究より，mGES・年齢・術側膝関節痛・非術側膝関節伸展 ROM・SF が退院時歩行能力の有意な予測因子であり，術後の歩行能力には単一の因子ではなく，身体的特徴や身体機能，心理的要因が複合的に関連し影響している事が示唆された。

本研究における CPR の AUROC は 0.853 で比較的高い予測精度を示した。さらに LR+ は 10 以上であることから，この CPR は退院時に歩行能力が低下している患者を一定の精度で術前から予測することが可能であると考えられる。また，予測因子についても簡便に測定できる項目で構成されているため，臨床での実用性が高いと考えられる。mGES が 24 点以下で年齢が 77.5 歳より大きい患者と，年齢が 77.5 歳以下であっても術側の膝関節痛が強い患者，さらに，mGES が 24 点より大きい患者で非術側の膝関節伸展 ROM 制限が強く SF が高い患者は，退院時に歩行能力が低下している可能性が高いと予測される。

この CPR は，歩行補助具の適応や術前の疼痛管理，患者教育などの治療を選択する際の判断材料として利用できると考えられる。

## 結 論

本 CPR は退院時に歩行能力が低下している患者を一定の精度で術前から予測することが可能であり，理学療法を実施する上で，歩行能力の将来予測や目標設定の一つの指標となると推察される。

## 公示の方法・時期

Kuwahara K, Kato T, Asada K. Development of a clinical prediction rule for mobility status at discharge in patients with total knee arthroplasty: Using a decision tree model. J Orthop Sci. (in press) <https://doi.org/10.1016/j.jos.2023.12.002>

# 体外金属アーチファクト低減における 8 種類の 金属アーチファクト低減アルゴリズムの有効性の検討： Gumbel 法を用いたファントム研究

鈴木 恵子

大学院 医療科学研究科 医療科学専攻

(指導教員：武藤 裕衣 教授)

## はじめに

CT 画像は、投影データ取得時の複合的な要因によってアーチファクトが発生し、診断の妨げになる場合がある。CT 装置ではそれらを抑制するさまざまな対策が施されている。体内金属によるアーチファクトは画質を劣化させる原因の一つであるが、近年ではさまざまな処理方法によって金属アーチファクト低減 (MAR) 処理が臨床応用されている。シーメンス社が提供する iterative Metal Artifact Reduction (iMAR) は、インプラントによって発生する金属アーチファクトを低減するために開発された画像再構成アルゴリズムであり、対象とする金属の種類・形状や撮影部位に応じて設定された iMAR を選択して使用することによって最適なアーチファクト低減や診断能の改善に役立っている。この技術は体内にある 8 種類のインプラントを対象としたものであるが、対象になっていないインプラントも多く存在する。そして体外の金属アーチファクトに関する iMAR の検討がされた報告は今までにない。臨床の現場においては、救急患者に対する緊急検査や、検査内容によっては体外の金属を除去できない状況がある。このような体外の金属アーチファクトを避けられない場合に iMAR を活用できれば、読影や診断に役立つ可能性がある。

## 目 的

iMAR の使用により体外金属アーチファクトの影響を低減し、画質が改善するか検討する。

## 方 法

装置は 128 列マルチスライス CT Somatom Definition AS+ (Siemens) を使用した。CT 撮影用全身ファントム PBU-60 (京都科学) の体幹部に心電図電極 (Siemens) を貼付し、臨床で使用している胸腹部の撮影条件で管電圧 120kV, Auto mA を使用しヘリカル撮影を行った。画像再構成は FOV 320mm, スライス厚 1mm, 再構成間隔 1mm, 再構成関数 B36f, 通常使用している Filtered Back Projection (FBP) 法で行い、アーチファクトが多く発生しているスライスを連続して 10 枚取得し、コントロール画像とした。次に、コントロール画像に対して 8 種類の iMAR を使用して再度画像再構成を行い、計 9 種類の画像を各 10 枚取得した。

取得した画像上のアーチファクトの発生方向に対して垂直方向の CT 値プロファイルを取得するため、 $40 \times 100$ pixel の矩形の ROI を設定し、CT 値を取得した。次に、アーチファクトに対して垂直方向に並ぶ 40pixel 分の CT 値プロファイルから、隣り合う画素間の CT 値差から最も大きな値を最大変動量として抽出した。この方法で設定 ROI 内にあ

る CT 値プロファイル 100 本よりそれぞれ最大変動量を取得した。次に、これらの最大変動量に対する累積確率を求めて二重指数確率紙へプロットし、グラフの傾きと切片からアーチファクトの特徴量である位置パラメータと尺度パラメータを求めた。画像解析ソフトは Image J (1.52a) を使用した。

最後に、位置パラメータと尺度パラメータについて、コントロール画像と各 iMAR 処理画像の比較を行った。有意差検定には Kruskal-Wallis 検定、多重比較に Steel 法を用いた。統計解析ソフトは EZR (R-Vers.2.6-1) を使用した。

## 結 果

コントロール画像と iMAR 処理画像の位置パラメータを比較したところ、いずれの iMAR 処理画像においても有意差は認められなかった ( $p>0.11$ )。尺度パラメータにおいてはコントロール画像と比較して頭蓋内コイル、肩インプラント、四肢インプラント、胸部コイルの iMAR 処理画像において有意差を認めた ( $p<0.05$ )。

## 考 察

結果より、位置パラメータにおいて画像間での有意差は認められず、CT 値の最大変動量がとり得る値に変化は見られなかった。尺度パラメータにおいては、コントロール画像と比較して iMAR アルゴリズム 8 種類のうち頭蓋内コイル、肩インプラント、四肢インプラント、胸部コイルの 4 種類のアルゴリズムにおいて有意に低下しており、最大変動量が取り得る範囲、つまり最大変動量のバラツキが小さくなっていた。iMAR の画像処理により、アーチファクトの特徴量である最大変動量のバラツキが小さくなるということは、アーチファクトが低減されていると考えられる。

iMAR の技術については一部が未公開のため詳細な検討は困難であるが、頭蓋内コイルのアルゴリズムについては、心電図電極の金属部分のサイズやこのアルゴリズムを使用する際の背景の CT 値が類似しており、その結果発生するアーチファクトが類似しているため、アーチファクト低減効果があったと考えられる。肩インプラントと四肢インプラントのアルゴリズムに関しては、金属の形状などが心電図電極のものと全く異なるが、同様にアーチファクトの形状や強度に類似点があるためアーチファク

ト低減効果があったと考える。胸部コイルに関しては、頭蓋内コイルと同様に、金属のサイズが心電図電極の金属部分と類似しているが、背景の臓器が異なるため、アーチファクトの発生パターンの違いによって頭蓋内コイルのような低減効果にまで至らなかったと考える。

本研究では iMAR 使用の対象外である体外金属のアーチファクトに対して iMAR の低減効果を検討した。先行研究において、特定のインプラントに対応した MAR アルゴリズムの使用と適応外の MAR アルゴリズムを比較検討した結果、後者においても画質が改善したという報告や、専用 MAR アルゴリズムのないインプラントに対して MAR アルゴリズムを使用することにより画質が向上するという報告も見られることから、対象外の金属アーチファクトにおいても画質が改善するか検討した上で適切に MAR を使用すれば読影や診断能の向上に貢献できると考える。ただし、類似した多くの先行研究の中で、MAR アルゴリズムの使用により新たなアーチファクトを発生させる等の二次的影響が指摘されている。従って、状況にあわせて手法を選択し、特に適応外の金属アーチファクトに iMAR を使用する場合には、どのインプラントの iMAR を使用すれば最もアーチファクト低減効果があり、画質改善につながるか必ず検討すべきである。

本研究はファントムによる研究である。今回、金属アーチファクトの評価方法として Gumbel 法を用いた。今井らによると、“CT 画像上のアーチファクトに起因する全ての変動は Gumbel 分布に従って発生する”とある。その他、過去の Gumbel 評価法を用いた金属アーチファクトの定量評価の報告では金属アーチファクトの特徴であるストリークアーチファクトを人工的に発生させて評価がされている。しかし本研究も同様であるが、臨床画像での評価をしている研究はない。従って今後、臨床画像のような体内構造に変化のある CT 値が多く含まれる部位において、本評価法が適用できるか検討予定である。

## 結 論

iMAR の使用により、体外金属アーチファクトを低減させ画質が改善することにより、診断に寄与する可能性が示唆された。

## 公示の方法・時期

Suzuki K, Muto H. Investigation of the effectiveness of eight different metal artifact reduction algorithms in reducing extracorporeal metal artifacts; a phantom study using the Gumbel method. (Pol J Med Phys Eng 2024; 30(4)189-196.