

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：22701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K09558

研究課題名（和文）人工知能を用いた人工股関節全置換術における最適なインプラント設置に関する研究

研究課題名（英文）Application of artificial intelligence for the classification and prediction of pelvic flexion angle after total hip arthroplasty

研究代表者

稲葉 裕（INABA, Yutaka）

横浜市立大学・医学研究科・教授

研究者番号：40336574

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では人工股関節全置換術(THA)後の脱臼の原因となる骨盤傾斜の術後変化を人工知能(AI)を用いて予測した。対象はTHA術後5年まで経過観察可能であった415関節で、THA術後5年での立位と術前臥位の骨盤傾斜の差を目的変数として網羅的に解析を行った。機械学習では、Random Forestが最も予測精度の高い手法であり、術後の骨盤傾斜の変化に最も影響を与える術前因子は、腰椎前弯角と大腿骨頸部前捻角、Body mass index、骨盤傾斜角、仙骨傾斜角であった。また骨盤傾斜が術後に経年的に後傾する症例には2つの異なるタイプがあることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究より、THA術前の患者因子から術後の骨盤傾斜の予測が高精度で可能となり、THA術前のインプラント設置計画において新たな戦略をもたらすものと考えられる。THAは本邦では年々増加し、今後も高齢化社会に伴って増加することを考えると本研究で得られた成果の社会還元は大きく期待され、貢献度も高いものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to predict the change of pelvic flexion after total hip arthroplasty (THA) using artificial intelligence (AI). This study involved 415 hips treated with primary THA. Pelvic flexion angle (PFA) was measured, and changes in PFA from preoperative supine position to standing position at 5 years after THA was defined as PFA change (PC). Random Forest (RF) was performed to build the prediction model using explanatory variables including demographic, blood biochemical and radiographic data and the importance of the predictor variables was calculated. Forty-seven hips showed the PC less than -20 degrees that were at the risk of dislocation. Lumbolordotic angle, femoral anteversion angle, BMI, pelvic tilt and sacral slope were most important predictors for PC. Uniform Manifold Approximation and Projection divided these 47 hips into 2 groups, and each group showed different behavior of pelvic tilt.

研究分野：関節病学

キーワード：人工股関節全置換術 骨盤傾斜 人工知能

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

変形性関節症は、代表的な関節疾患であり、特に膝関節や股関節などの下肢の変形性関節症は、日常生活動作(ADL)、生活の質(QOL)に大きな影響を与える。末期変形性股関節症に対する手術治療である人工関節置換術は除痛効果に優れ、ADL、QOLの向上に有用である。特に、人工股関節置換術(total hip arthroplasty: THA)は、その優れた除痛効果、臨床成績から Lancet に「20世紀を代表する手術」として取り上げられている。また THA の施行件数は、現在、年間6万件を超え、過去10年間で約2倍となっており、今後も施行件数の増加が見込まれている。

THA は、インプラントデザインや材質、耐摩耗性の向上などによりその耐用年数は改善しているが、いまだ解決が必要な問題の一つとして術後脱臼がある。脱臼予防にはインプラントの正確な設置が重要であるが、術後に骨盤の傾斜や大腿骨の回旋が変化すると相対的なインプラント設置角度が変化することが報告されており、骨盤傾斜や大腿骨回旋が姿勢や術後で大きく変化する症例では脱臼の危険性が高い。このため、術後の骨盤傾斜変化を術前から予測することは重要であるが、その術後変化には多因子が複雑に交絡していると考えられ、現時点ではその予測に対するコンセンサスは得られていない状況である。

2. 研究の目的

本研究では、人工知能(AI)を用いてさまざまな術前・手術・術後因子を複合的に解析することで THA 術後の骨盤傾斜の変化を予測し、適切なインプラント設置位置を術前に計画するための知見を得ることである。具体的には THA 術前因子(患者情報、臨床所見、臨床検査値、術前画像所見・パラメータ)と手術因子(使用インプラント、アプローチ、脚長・オフセット補正量、インプラント挿入角度など)、術後因子(術後画像所見・パラメータ、臨床検査値)を AI を用いて解析することにより、症例ごとの術前の状態に対してどのような手術を行うと、どのような術後状態となるかを予測するアルゴリズムを構築する。AI の特性を活かし、未知の因子が関係している可能性も考慮して、可能な限り多くの因子を解析する。

3. 研究の方法

本研究では、THA を施行し5年以上経過観察可能であった415関節を対象とした。骨盤傾斜(PFA: pelvic flexion angle)は、CT から構築された3次元モデルと股関節単純X線像のイメージマッチング法を用いて計測した。姿勢による骨盤傾斜の挙動と経年的な変化を考慮すると THA 後5年における立位の骨盤傾斜と術前仰臥位の差が最大となると考えられたため、術後5年立位と術前臥位の骨盤傾斜の差を PC (pelvic change) と定義し、本研究の主たる目的変数とした。PC が小さいことは各姿勢における骨盤傾斜の変化量が大きく、潜在的な脱臼の危険性が高いことを意味している。人工知能による予測を行う上で PC により以下の群に分類した: A 群: $PC > -10^\circ$ 、B 群: $-10^\circ < PC > -20^\circ$ 、C 群: $PC < -20^\circ$ 。患者術前因子、手術因子、術後因子を含めた150種を説明変数として用いて予測モデルを構築するために機械学習を実施し、重要予測変数を算出した。また各症例の特徴を明らかにするために Uniform Manifold Approximation and Projection (UMAP)を行った。

4. 研究成果

415 股関節のうち、162 股関節が A 群、206 股関節が B 群、47 股関節が C 群に分類された。機械学習は Random Forest (RF)、XGBoost (XGB)、Multilayer Perceptron (MLP)、Regression (LR) による解析を施行したが、RF が最も予測精度が高く、AUC(area under curve)は 0.82 であった(図 1)。

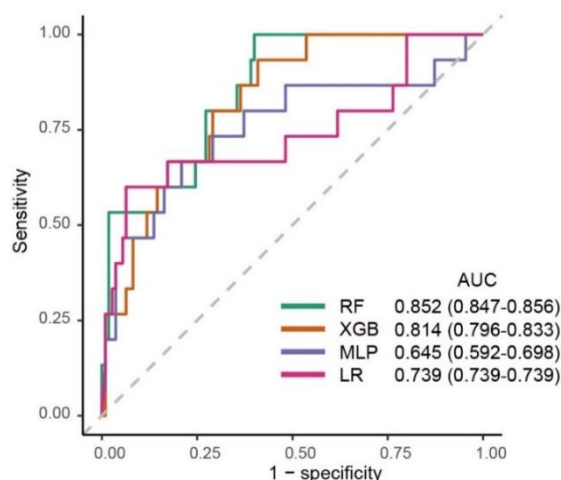


図 1 術前患者因子を用いて施行した各機械学習の精度

術後の骨盤傾斜の変化に最も影響を与える上位 5 因子は、術前の腰椎前弯角と大腿骨頸部前捻角、BMI、骨盤傾斜角(PT)、仙骨傾斜角(SS)であった(図 2)。

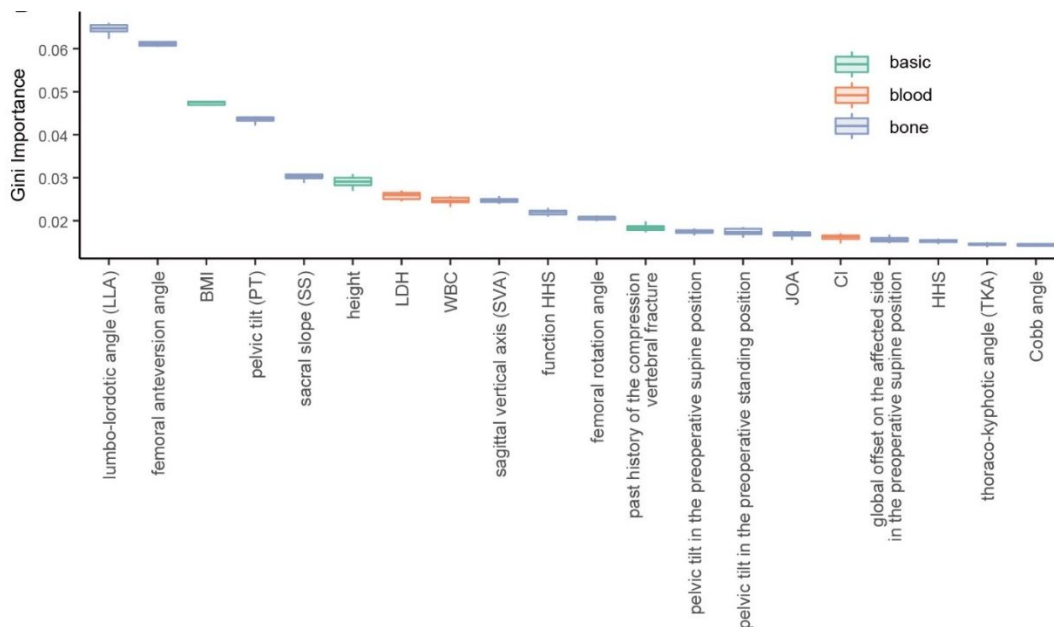


図 2 THA 術後骨盤傾斜を予測する上での変数重要度

また UMAP の結果から骨盤傾斜が術後 5 年で 20° 以上に後傾する症例(C 群)には 2 つの異なるタイプがあることが判明し、それぞれの群で骨盤傾斜の異なる挙動が認められ、また骨盤傾斜を予測するための重要予測変数の LLA と大腿骨頸部前捻角に有意な違いが認められた(図 3)。

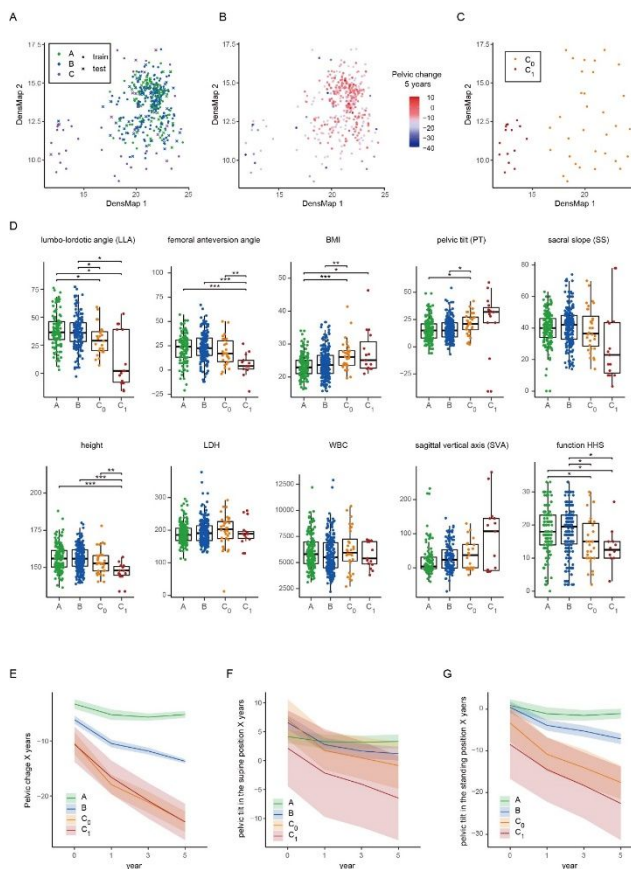


図 3 UMAP による分類と各群におけるパラメータの比較および骨盤の挙動

- A-C: UMAP を用いた分類、特に C 群は大きく分けて 2 群に分類された(黄 C0 群、赤 C1 群と定義)
- D: 各群における患者因子の比較、C0 群と C1 群では腰椎前弯角、大腿骨前捻角において有意な差を認めた。
- E: 各群の骨盤傾斜の挙動: PC は C0, C1 群で同等だが、C0 群では術前臥位で骨盤は前傾している。

これは新しい知見であり、PCが -20° 以下であっても、C0に分類される骨盤がもともと前傾傾向にあった群とそうでないC1に分類されることが判明した。さらに骨盤がこの2つのタイプの分別に関して解析を行い、決定木に含めることができた(図4)。

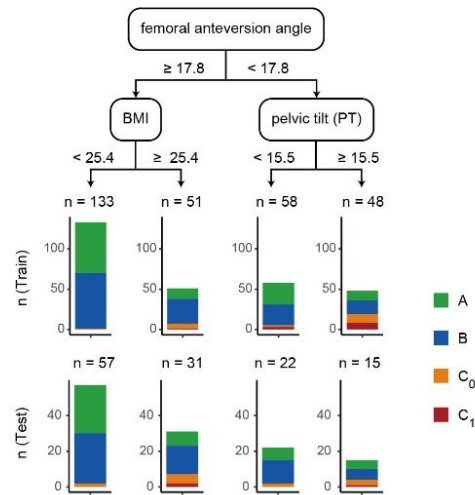
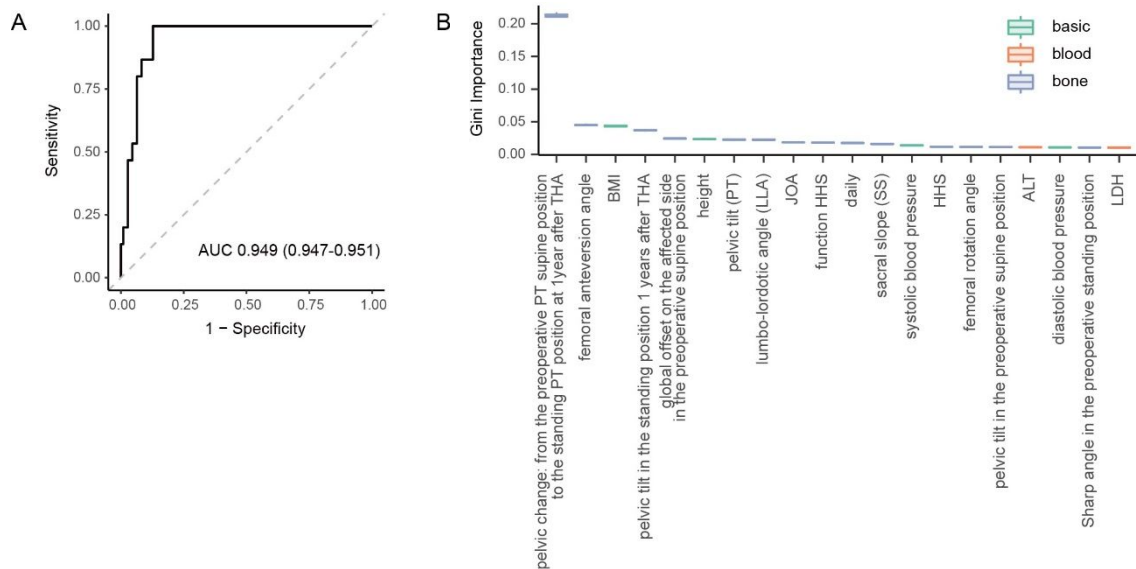


図4 重要予測変数を用いた決定木

またこの機械学習の結果を用いて決定木の作成を行ったが、術前因子だけでの予測はやや不正確で、術後1年時点での骨盤傾斜情報を用いると、より精度が高く術後5年までの骨盤傾斜変化の予測が可能であり(AUC=0.949)、より正確な決定木が作成できた(図5)。



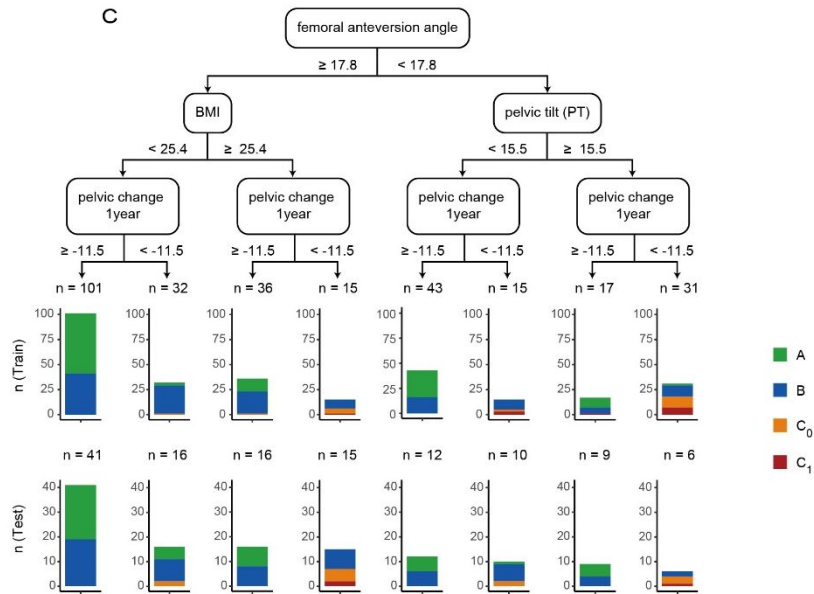


図5 THA 術後1年での因子を組み込んだ解析結果

A: RF モデル: AUC=0.949 と予測精度は十分に高い結果であった

B: THA 術後骨盤傾斜を予測する上での変数重要度: 術後1年でのPCが最も重要な因子であった。

C: 重要予測変数を用いた決定木: 術前因子のみの場合よりも決定木の精度が高くなった

本研究によって術前術後患者情報を AI に用いることによって THA 術後の骨盤傾斜の予測が高精度に可能となった。また同じ骨盤傾斜の変化を認める郡内にも異なる性質を有する症例が混在しており、それぞれの群で異なった治療戦略が必要となる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤井淳平、青山祥太郎、手塚太郎、崔 賢民、川上英良、稲葉 裕
2. 発表標題 人工知能を用いた術前患者因子に基づく人工股関節全置換術後の骨盤傾斜の予測
3. 学会等名 第48回日本股関節学会学術集会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川上 英良 (Kawakami Eiryo) (30725338)	国立研究開発法人理化学研究所・科技ハブ産連本部・チームリーダー (82401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------