

氏名	みやざき こうたろう 宮崎 弘太郎		
学位の種類	博士（医学）		
報告番号	甲第 1976 号		
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 16 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当（課程博士）		
学位論文題目	Influence of hindfoot alignment on postoperative lower limb alignment in medial opening wedge high tibial osteotomy (内側楔状開大式高位脛骨骨切り術における後足部アライメントの術後下肢アライメントに対する影響)		
論文審査委員	(主 査) 福岡大学	教授	立花 克郎
	(副 査) 福岡大学	教授	二村 聡
	福岡大学	講師	高山 幸久

## 内 容 の 要 旨

### 【目的】

内側型変形性膝関節症に対する内側楔状開大式高位脛骨骨切り術 (medial opening wedge high tibial osteotomy; MOWHTO) において、術前に計画した下肢アライメント（；下肢機能軸が脛骨近位関節面の内側縁から 62.5% の位置を通過する）を術後に再現することは、良好な術後成績を獲得するために重要である。

内側型変形性膝関節症において、後足部アライメントは、後足部の代償機能により距骨関節面は内反に傾斜し、踵骨が外反となっている。また、MOWHTO は、膝関節アライメントを改善させることで後足部アライメントも改善させると報告されている。我々は、術前計画通りに MOWHTO を施行したにも関わらず、術後後足部アライメントは改善せず、術後下肢アライメントは矯正損失となった症例を経験した。このような症例より、術後の後足部アライメントの異常が、術後下肢アライメントに影響しているのではないかと考えられた。

本研究の目的は、術前後における後足部アライメントと下肢アライメントの関連を評価し、後足部アライメントが術後下肢アライメントに影響を及ぼすことを明らかにすることである。

### 【対象と方法】

2017 年 6 月から 2020 年 5 月に当院で MOWHTO を施行した 43 例 43 膝を対象とした。全ての症例で、術前と術後 3 ヶ月経過時に単純 X 線にて立位下肢全長と hindfoot angle view を撮影した。

X 線学的評価項目として、下肢機能軸 (MA)、mechanical medial proximal tibial

angle (mMPTA)、mechanical lateral distal femoral angle (mLDFA)、mechanical lateral distal tibial angle (mLDTA)、talar tilt、joint line convergence angle (JLCA)、knee joint line obliquity relative to the ground (KJLO)、ankle joint line obliquity relative to the ground (AJLO)、Hindfoot angle を調査した。また、後足部アライメントの指標として、AJLO の絶対値と Hindfoot angle の絶対値の和を Hindfoot alignment angle と定義した。術後 MA57-67%を至適な下肢アライメント群 (A 群)、術後 MA57%未満を矯正損失であった下肢アライメント群 (U 群) とした。

統計学的手法として、術前後の比較を paired t test、2 群間 (A 群、U 群) の比較を Mann-Whitney U test を用いて行った。また、術後 MA を従属変数とし、術前の各 X 線学的評価項目、年齢、性別、BMI を独立変数として単回帰分析を行った。単回帰分析にて統計学的に有意であった項目を用いて重回帰分析を行った。最後に、重回帰分析にて統計学的に有意であった項目を用いて、術後矯正損失となる cut off 値を ROC 曲線にて算出した。

#### 【結果】

術前後の比較では、MA ( $p < 0.001$ )、mMPTA ( $p < 0.001$ )、KJLO ( $p < 0.001$ )、JLCA ( $p < 0.001$ )、AJLO ( $p < 0.001$ )、Hindfoot alignment angle ( $p < 0.001$ ) は術後有意に改善を認めた。U 群は 20 膝、A 群は 23 膝であった。2 群間の比較において、術前後 MA ( $p = 0.007$ ,  $p < 0.001$ ) は U 群の方が有意に小さく、術前後 mLDFA ( $p = 0.007$ ,  $p = 0.015$ )、術前後 Hindfoot alignment angle ( $p = 0.036$ ,  $p = 0.012$ ) は U 群の方が有意に大きかった。術後 AJLO と hindfoot angle の組み合わせには 6 パターンを認めた。術後 AJLO が内反、術後 Hindfoot angle が外反の組み合わせが最も多く、14 膝であった。6 膝に術後 AJLO が外反、術後 Hindfoot angle が内反、7 膝に術後 AJLO が内反、術後 Hindfoot angle が正常、7 膝に術後 AJLO が外反、術後 Hindfoot angle が正常、5 膝に術後 AJLO が内反、術後 Hindfoot angle が内反、4 膝に術後 AJLO が外反、術後 Hindfoot angle が内反を認めた。単回帰分析より、術後 MA と関連する術前因子は、mLDFA ( $t = -3.579$ ,  $p = 0.001$ )、talar tilt ( $t = -2.516$ ,  $p = 0.016$ )、AJLO ( $t = -2.386$ ,  $p = 0.022$ )、Hindfoot angle ( $t = -2.025$ ,  $p = 0.049$ )、Hindfoot alignment angle ( $t = -3.002$ ,  $p = 0.005$ ) であった。重回帰分析より、MOWHTO における術後 MA の有意な術前因子は、mLDFA ( $\beta = -0.402$ ,  $p = 0.005$ ) と Hindfoot alignment angle ( $\beta = -0.315$ ,  $p = 0.024$ ) であった。したがって、ROC 曲線より、術後 MA が矯正損失となる術前 Hindfoot alignment angle のカットオフ値は  $15.9^\circ$  (感度 73.9%、特異度 65.0%) であった。

#### 【結論】

術前の後足部アライメントの異常は、MOWHTO において術後矯正損失となる要因の 1 つである。術前の AJLO と Hindfoot angle に注意を向けるべきであり、術前の Hindfoot

alignment angle が  $15.9^\circ$  以上である場合は、術後矯正損失の可能性を考慮すべきと考えられた。したがって、この場合には人工関節への術式変更や矯正角の調整を検討する必要があると考えられる。

## 審査の結果の要旨

本論文は、内側楔状開大式高位脛骨骨切り術 (MOWHTO) における後足部アライメントの術後下肢アライメントに対する影響を評価した研究である。

内側型変形性膝関節症に対する MOWHTO において、術後に理想的な下肢機能軸を獲得することは、良好な術後臨床成績を獲得するために重要である。そのため、MOWHTO 後の下肢機能軸に影響する術前因子の一つを特定することは、術後成績を向上させる上で有用と思われる。

本論文で、術前 Hindfoot alignment angle が  $15.9^\circ$  以上の症例は、MOWHTO 後に under correction となる可能性が示唆され、後足部アライメントが下肢アライメントに影響することが明らかとなった。

本論文の斬新さ、重要性、研究方法の正確性、表現の明確さ、審査委員との質疑応答は以下の通りである。

### 1. 斬新さ

内側型変形性膝関節症や MOWHTO 後における膝関節のアライメントに対して、距骨下関節代償能が作用し、後足部アライメントが変化することは報告されている。しかし、距骨下関節代償能異常による後足部アライメントの異常が、MOWHTO 後の下肢機能軸に影響を及ぼすことは明らかにされておらず、本研究が初めてである。術前後における後足部アライメントと下肢アライメントの関連を調査した。

### 2. 重要性

本研究では、術前 Hindfoot alignment angle が  $15.9^\circ$  以上では、術後下肢機能軸が under correction となる可能性があり、理想的な術後下肢機能軸を獲得するための因子の一つを明らかにした。また、Hindfoot alignment angle が  $15.9^\circ$  以上の場合、人工関節置換術への術式変更の可能性もあり術式選択における重要な情報である。

### 3. 研究方法の正確性

画像学的評価項目は過去に報告された客観性・再現性の高い方法で行われ、統計学的

処理も適切に行われていた。また、検者内・検者間信頼性はいずれも高値であった。

#### 4. 表現の明確さ

明瞭な英文で簡潔に表記されており、論旨も的確である。本論文は、Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery に受理されている。専門的用語も適切に使用されている。

#### 5. 主な質疑応答

Q: この論文の最大の斬新さはなにか？

A: 本研究において、後足部アライメントが下肢機能軸に影響を及ぼしていることを明らかにしたことが最大の斬新な点である。

Q: この研究の今後はどうなるのか？

A: 本研究では、距骨下関節を直接的に評価できていない。距骨下関節代償能とは、距骨下関節の可動性によるものと思われるため、現在、荷重位と非荷重位での後足部アライメントの評価にて研究を続けている。

Q: 本研究の結果は、関節外科の間でもコンセンサスが得られそうか？

A: 下肢機能軸は、股関節から足部まで含むため本研究の結果だけでは、まだ不十分である可能性がある。しかし、MOWHTO 後の下肢機能軸に影響する因子の重要な一つとして示すことができたと思われる。

Q: under correction が生じた症例は、将来的にどうなるのか？

A: under correction の症例は長期的にみると、疼痛スコアも低く、変形が増悪する可能性もある。疼痛増悪時は、人工関節置換術へ移行する可能性がある。

Q: レントゲンの撮影方法に関して説明してほしい。

A: 下肢機能軸 (MA)、mechanical medial proximal tibial angle (mMPTA)、mechanical lateral distal femoral angle (mLDFA)、mechanical lateral distal tibial angle (mLDTA)、talar tilt、joint line convergence angle (JLCA)、knee joint line obliquity relative to the ground (KJLO)、ankle joint line obliquity relative to the ground (AJLO) に関しては、立位下肢全長にて計測を行った。Hindfoot angle のみ、後足部撮影を行った。後足部撮影は、カセットの上に立ち、30° 管球を振って後方から照射する撮影方法である。

Q: 今回、非荷重位での撮影を行わなかったのはなぜか？

A: 本研究にて、距骨下関節代償能を直接的に評価するには、距骨下関節の可動性を評

価するべきと再認識した。距骨下関節の可動性を評価する方法は、過去の報告でも確立していないため、現在は、荷重位・非荷重位での後足部アライメントの差を調査している。

Q: 距骨下関節の可動性を評価するためにはどのように評価すればよいか？

A: 荷重位 CT が撮影可能であれば、荷重位・非荷重位 CT によりさらに、詳細に距骨下関節の評価が可能と思われる。当院には荷重位 CT はないため、今後工夫が必要と思われる。

Q: コンピュータシミュレーションで評価はできないのか？

A: 下肢機能軸は、股関節から踵骨部まで含むため、各関節の靭帯バランスなどの軟部組織の影響を加味してコンピュータシミュレーションを行うのは、現時点では困難なのではないかと思われる。

Q: 計測の再現性や評価に用いた画像の妥当性はどうか？

A: 本研究では、検者内・検者間信頼性はいずれも高値であり、計測の再現性は問題ないと思われる。X線画像に関しては、立位下肢全長は膝蓋骨が正面になるように撮影しており、画像の妥当性における基準は設けている。

Q: Hindfoot alignment angle が  $15.9^\circ$  とカットオフ値が厳密であるが、臨床において  $16^\circ$  や  $15.8^\circ$  などの症例は今後どうしていくのか？

A: 年齢や活動性を考慮して人工関節置換術を選択するのか、MOWHTO を選択した場合の under correction のリスクも説明した上で術式選択を行っていく必要がある。

Q: 今後の距骨下関節の評価法はどう考えているか？

A: まずは、単純 X 線での評価を考えている。単純 X 線にて距骨下関節代償能の正常・異常の明確な評価を可能にした上で、距骨下関節代償能が正常・異常の場合における距骨下関節の違いを CT で詳細に評価を行いたい。

Q: 重回帰分析にて、mLDFA も因子として有意であるが、カットオフ値を算出していないのはなぜか？

A: 内反変形が強くなるにつれて、下腿は外旋する。そのような症例においては、立位下肢全長撮影時に膝蓋骨を正面にするために、通常より下肢を過内旋する必要があり、その結果、mLDFA は大きくなる。下肢機能軸と mLDFA との間は、このような相関関係が存在するため、mLDFA が下肢機能軸に影響する有意な因子となった要因と思われる。

Q: mL DFA は他の施設でも計測されているのか？

A: 大腿骨の変形、つまり mL DFA が異常となる場合は、骨切り術の中でも他の骨切り術を選択する必要があるので、他の施設においても計測するのは一般的である。

Q: 一般的に、体重が重いと矯正は悪くなるのか、BMI は有意差でていないが？

A: 予定通りに脛骨近位を矯正することは可能と思われるが、長期的には、術後の疼痛や矯正損失を生じる可能性はあると思われる。

Q: 英論文中にリミテーション項目の記載が多いが、reviewer からの指摘があったのか？

A: 指摘があり、指摘事項を追加記載した。

Q: カットオフ値  $15.9^{\circ}$  は実際、使用しているのか？

A: 骨切り術の症例では、全例 Hindfoot alignment angle を計測している。本研究に用いたデータには、acceptable correction 群の中にも Hindfoot alignment angle が  $15.9^{\circ}$  以上の症例もあり、まだカットオフ値の正確性は確立できていないと思われる。現在の実臨床において、明らかに Hindfoot alignment angle が大きい症例は、術後も Hindfoot alignment angle が大きい印象はあり、距骨下関節代償能の異常は存在すると思われる。今後、距骨下関節代償能の更なる解明が必要であると思われる。

本論文は、以上の内容の斬新さ、重要性、研究方法の正確性、表現の明確さ、及び質疑応答の結果を踏まえ、審査員で討議の結果、本論文は 学位論文に値し、学位申請者についても学位授与に値すると評価された。