内側楔状開大式高位脛骨骨切り術後1年における FTA と歩行中の膝関節内反角度との関係

*Relationship between the Femur-tibia and Knee Varus Angles during Gait One Year
after Open-wedge High Tibial Osteotomy*

山田 英司¹⁾ 福田 航¹⁾ 片岡 悠介¹⁾ 池野 祐太郎¹⁾
川上 翔平¹⁾ 青芝 貴夫¹⁾ 村本 浩章¹⁾ 清水 亮介¹⁾
須崎 裕司¹⁾ 酒井 淳子¹⁾ 岡 裕之¹⁾ 多田 健吾¹⁾

EIJI YAMADA, RPT, PhD¹⁾, WATARU FUKUDA, RPT, MS¹⁾, YUSUKE KATAOKA, RPT¹⁾, YUTARO IKENO, RPT, MS¹⁾,
SYOHEI KAWAKAMI, RPT¹⁾, TAKAO AOSHIBA, RPT¹⁾, HIROAKI MURAMOTO, RPT¹⁾, RYOSUKE SHIMIZU, RPT¹⁾,
HIROSHI SUSAKI, RPT¹⁾, JUNKO SAKAI, RPT¹⁾, HIROYUKI OKA, RPT¹⁾, KENGO TADA, RPT¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Joint Surgery Center, General Kaisei Hospital: 3-5-28 Muro-machi, Sakaide-shi, Kagawa
762-0007, Japan TEL +81 877-46-1011 E-mail: yamadaeiji1212@gmail.com

Rigakuryoho Kagaku 34(1): 27-30, 2019. Submitted Aug. 8, 2018. Accepted Sep. 5, 2018.

ABSTRACT: [Purpose] To clarify the relationship between the femur-tibia (FTA) and knee varus (KVA) angles during gait after open-wedge high tibial osteotomy (OWHTO), as well as the influence of changes in knee joint alignment on the hip and ankle joint angles in the frontal plane during gait. [Participants and Methods] A total of 49 patients who had undergone OWHTO in our hospital. We performed gait analysis before and 1 year after surgery to examine the relationship between the FTA and KVA at the 50% stance phase. We also compared values representing the hip, knee, and ankle joints at the 50% stance phase before and after surgery. [Results] There was a moderate positive correlation between the FTA and KVA at the 50% stance phase. [Conclusion] The results indicate the necessity of considering that the FTA and KVA during gait may not completely coincide after surgery.

Key words: open-wedge high tibial osteotomy, femur-tibia angle (FTA), knee varus angle

要旨:〔目的〕本研究の目的は内側楔状開大式高位脛骨骨切り術（OWHTO）術後の FTA と歩行中の膝関節内反角度との関係と、膝関節のアライメントの変化が、歩行中の股関節と足関節の前額面の角度に及ぼす影響を明らかにすることである。〔対象と方法〕当院にて、OWHTO が施行された 49 名を対象とした。術前と術後 1 年時に歩行分析を行い、FTA と立脚期 50% 時点の膝関節内反角度との関係を検討した。また、股関節、膝関節、足関節の立脚期 50% の時点の値を術前後で比較した。〔結果〕FTA と立脚期 50% 時点の膝関節内反角度との間には中等度の正の相関関係を示した。〔結語〕術後は FTA と歩行中の膝関節内反角度は完全に一致しないことを留意する必要があると考えられた。

キーワード: 内側楔状開大式高位脛骨骨切り術, FTA, 膝関節内反角度

¹⁾ 総合病院回生病院 関節外科センター附属理学療法部：香川県坂出市室町 3-5-28 (〒762-0007) TEL 0877-46-1011

I. はじめに

内側型変形性膝関節症（以下、膝 OA）は膝関節に加わる異常なメカニカルストレスによる関節軟骨の退行性疾患であり、その発症や進行に関与する因子として下肢のアライメント異常が着目されてきた¹⁾。変形性膝関節症に対する治療は保存療法と手術療法からなる。保存療法で効果が認められない場合、手術療法が選択され、その種類には関節鏡視下デブリドマン、高位脛骨骨切り術（High tibial osteotomy：以下、HTO）、人工膝関節置換術がある²⁾。HTO は外科的にアライメントを修正することを目的としており、外側楔状閉鎖式 HTO と内側楔状開大式 HTO（open wedge HTO：以下、OWHTO）の 2 種類があるが、それぞれ利点と欠点があるものの、近年は OWHTO が主流となってきた³⁾。

OWHTO の疼痛や関節機能に関する中・長期的な術後成績も報告もされてきており^{4,5)}、その効果は十分に認められているが、いくつかの問題点も指摘されている⁶⁾。最も重要な術前の計画におけるアライメントの決定は、一般的に立位での単純レントゲンを用いて行われる。具体的には大腿脛骨角（Femorotibial angle：以下、FTA）を何度に設定するか、ミクリッツ線を膝関節のどの部位を通過させるかが詳細に検討される。術後のアライメント不良は臨床症状の中・長期成績に影響を与える⁶⁾。矯正不足は内側コンパートメントの負荷を十分に減少させることができず、再内反の危険性がある。逆に過矯正は、外側コンパートメントの負荷を増大させ、外側コンパートメントの関節症変化を引き起こす可能性がある。これは、術前の計画と動作時のアライメントが一致していないことが原因の一つであり、静的な立位での画像でのアライメントと歩行中のアライメントがどの程度一致しているのか、あるいはその関係性はまだ明らかにされていない。

また、膝関節のアライメントの変化は他関節へも影響を及ぼす。特に、隣接する股関節、足関節の変化は、関節負荷の変化により疼痛や機能障害を引き起こす可能性があるが、矢状面に関する報告は散見するものの、前額面に関する報告は見当たらない。

よって、本研究の目的は、1. 術後の FTA と歩行中の膝関節内反角度との関係を明らかにすること、2. 膝関節のアライメントの変化が、歩行中の股関節と足関節の前額面の角度に及ぼす影響を明らかにすることである。

II. 対象と方法

1. 対象

当院にて膝 OA と診断され、OWHTO が施行された 49 名（男性 14 名、女性 35 名）を被験者とした。除外基準は、反対側の下肢に手術の既往があるもの、中枢神

表 1 基本属性

年齢（歳）	65.7 ± 7.8
性別（男性：女性）	14:35
体重（kg）	63.7 ± 10.8*
身長（m）	1.57 ± 0.07*
術前 FTA（°）	180.4 ± 3.0
術後 1 年 FTA（°）	168.6 ± 2.6
K/L grade 2	12
3	17
4	20

平均値 ± 標準偏差。FTA: Femoral tibial angle, K/L grade: Kellgren-Lawrence grade of OA Severity. *: 性差あり。

経系の疾患の既往があるもの、歩行に影響を及ぼす疾患の既往があるもの、独歩が不可能であるものとした。基本属性を表 1 に示す。 χ^2 検定において男女の比率に有意差を認めた（ $p < 0.01$ ）。基本属性で性差を認めた項目は体重（ $p < 0.01$ ）と身長（ $p < 0.01$ ）であった。手術は全員、同一の整形外科医によって行われた。術後、FTA は約 170°、ミクリッツ線は膝関節関節裂隙レベルで外側から 30～35% を通るよう術前計画が行われた。

本研究は総合病院回生病院倫理委員会の承認を得たうえで実施し（承認番号 2015-6）、すべての対象者には、事前に研究の趣旨、内容および結果の取り扱い等に関して説明し、同意を得た。

2. 方法

歩行分析は術前と術後 1 年時に行った。

方法は、8 m の歩行路において裸足での自由歩行速度で、3 回の歩行を計測した。3 次元動作解析装置による歩行分析区間は 3 m、その前後にそれぞれ 2.5 m の補助路を設けた。運動学・運動力学的データの測定には、10 台の赤外線カメラから構成される 3 次元動作解析（VICOM MX, VICON 社製）と 4 枚の床反力計（AMTI 社製）を用いた。サンプリング周波数は赤外線カメラが 120 Hz、床反力計は 960 Hz とし、運動学的データには 6 Hz、運動力学的データには 10 Hz の Butterworth filter を用いた。モデルは Kito らの報告^{6,7)}を参考にしたものを用いた。被験者には直径 9 mm の反射マークを両側の肩峰、肘頭、橈骨茎状突起、上前腸骨棘、上後腸骨棘、大転子、大腿骨内側上顆、大腿骨外側上顆、大転子と大腿骨外側上顆を結んだ線の中点、脛骨内側顆、腓骨頭、内果、外果、腓骨頭と外果を結んだ線の中点、踵骨隆起外側突起、載距突起、第 1 および第 5 中足骨頭、踵骨隆起の上部と下部、右肩甲骨に 41 点貼付した。

これらの反射マークから、解析ソフト VISUAL 3D（C-Motion 社製）を用いて、体幹、骨盤、大腿、下腿、足部のセグメントを作成し、8 リング剛体モデルを作成

した。歩行速度は、身体重心の1歩行周期の進行方向の速度の平均値とした。ステップ長は踵接地時の両側の踵マーカの距離とし、両ステップ長を足した値をストライド長とした。そして、逆動力学的計算により、股関節、膝関節、足関節の運動学、運動力学データを算出した。算出項目は立脚期50%時点の前額面の股関節、膝関節、足関節の角度と外部膝関節内反モーメントの最大値とした。なお、すべての値は3歩行の平均値として算出した。まず、FTAと立脚期50%時点の膝関節内反角度との関係を検討した。そして、股関節、膝関節、足関節の立脚期50%の時点の値を術前後で比較した。

統計解析は、FTAと膝関節内反角度との関係にはPearsonの相関係数を用いた。また、術前後の比較には、まず、正規性の検定にはShapiro-Wilk検定を用いた。その結果、すべて正規分布に従っていたため、対応のあるt検定を行った。解析には統計ソフトR (Ver. 2.8.1)を用いた。値は平均 ± 標準偏差で表し、有意水準は5%とした。

III. 結 果

FTAと立脚期50%時点の膝関節内反角度との間には中等度の正の相関関係を示した ($r=0.607$, $p<0.01$) (図1)。

図1 FTAと膝関節内反角度の関係

表2に各項目の術前後の変化を示す。歩行速度、ストライド長は有意に増加し、外部膝関節内反モーメントの最大値は有意に減少した。股関節内転角度は有意に増加し、膝関節内反角度は有意に減少したが、足関節内反角度は有意な変化を示さなかった。

表3に、各関節の術後に変化した運動方向の人数を示す。股関節と膝関節は全員、同一方向に変化した。足関節では内反方向27名、外反方向22名と一定の傾向を示さなかった。

IV. 考 察

FTAと立脚期50%時点の膝関節内反角度との間には、中等度の相関しか認められなかった。これは、静的な単純レントゲンを用いた術前計画が歩行時の膝関節内反角度に一定程度しか影響していないことを示している。術後の予定矯正角から逸脱したアライメントの不良は、歩行時に膝関節に異常なメカニカルストレスを与える⁹⁾。よって、術後はFTAと歩行時の膝関節内反角度は一致していない可能性があることを考慮する必要がある。

OWHTO術後、外部膝関節内反モーメントは有意に減少していた。これは、これまでの報告と一致する結果となった^{4,5,8,9)}。外部膝関節内反モーメントは荷重時の膝関節内側コンパートメントに加わる圧縮ストレスを反映する指標である⁹⁾。外部膝関節内反モーメントの大きさは床反力ベクトルの大きさとレバーアームの長さによって決定される。Huntら¹⁰⁾は膝OA患者では床反力は小さいが、レバーアームが大きく、外部膝関節内反モーメントが最も大きくなる時期はレバーアームが最も長くなる時期と一致していると報告している。OWHTOは外科的に内反膝を外反膝に矯正する手術であり、ミクリッツ線が膝関節中央より外側を通るように計画される。よって、このアライメントの変化により、レバーアームが減少し、外部膝関節内反モーメントが減少したと考えられる。

股関節は、外転位から内転位に有意に変化した。歩行時の股関節外転角度は重症度が高くなるに伴い、外転角度が大きくなることが報告されている¹¹⁾。よって、

表2 術前後における各項目の変化

	術前	術後1年
歩行速度 (m/s)	0.87 ± 0.24	0.97 ± 0.18**
ストライド長 (m)	0.93 ± 0.15	1.01 ± 0.11**
外部膝関節内反モーメントの最大値 (Nm/kg)	0.48 ± 0.12	0.22 ± 0.15**
股関節内転角度 (°)	1.4 ± 3.3	6.3 ± 3.2**
膝関節内反角度 (°)	4.3 ± 3.2	-4.7 ± 3.8**
足関節内反角度 (°)	0.6 ± 4.1	1.4 ± 3.8

平均値 ± 標準偏差. **: $p<0.01$.

表3 各関節における、術前後の変化の運動方向

変化の運動方向			
股関節	内転	49	外転 0
膝関節	内反	0	外反 49
足関節	内反	27	外反 22

単位：名。

OWHTOによる膝関節の外反矯正により、股関節が内転位となったと考えられる。また、変化の方向は対象全員が一致して内転しており、OWHTO後の股関節の変化は一定の傾向を示すことが示唆された。

足関節の変化は一定の傾向を示さず、OWHTOによって、内反方向に変化したものが27名、外反方向に変化したものが22名と、やや内反方向に変化したものが多かった。膝OAの足部に関する報告は多いが、一般的に膝関節の内反変形を代償するため、足部を回内しているとの報告が多い^{12,13)}。しかし、この代償には限界があり、重度の膝関節の内反変形には対応できない場合があるとされている^{12,13)}。このように、膝OAの足部での代償は個人差が大きいと考えられ、本研究でも、術前の平均と標準偏差が $0.6 \pm 4.1^\circ$ とデータのばらつきが大きかった。よって、術前の足部での代償のばらつきの大きさが有意差を認めなかった一因であると考えられる。

OWHTOの術前後における、足関節の変化に関する報告は、我々の知る限り認められないが、人工膝関節置換術後の報告はいくつか存在する。人工膝関節置換術後の足部の回内は、術後には相対的回外化する¹⁴⁾、回内位を保ったままで、有意差を認めなかった¹⁵⁾など結果は一様でない。また、前額面の足部の変化は、距骨下関節のみでなく、内側縦アーチなどの影響も受けると考えられる。膝OAでは、舟状骨高位は健常者より有意に低下し、内側縦アーチが低下していることも報告されている¹⁴⁾。よってこのような足部機能の違いも影響を及ぼしているのではないかと考えられた。

本研究の限界はFTAを歩行中の1時点の膝関節内反角度と比較している点である。今回は、単脚支持期であること、股関節、膝関節、足関節角度が立位時と最も近似していることから、立脚期50%時点を解析した。今後、他の時期での関係を検討する必要がある。

また、本研究では膝関節内反角度と股関節内転角度、足関節内反角度との関係について検討していない。今後、それぞれの関係についても検討する必要があると考えられる。

利益相反 本研究において開示すべき利益相反はない。

謝辞 本研究において、対象の収集に協力いただきました、総合病院回生病院関節外科センターのスタッフの皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Kutzner I, Heinlein B, Graichen F, et al.: Loading of the knee joint during activities of daily living measured in vivo in five subjects. *J Biomech*, 2010, 43: 2164-2173.
- 2) 美崎定也：第2節 治療の概要。杉本和隆・他（編），人工関節のリハビリテーション 術前・術後期・術後のガイドブック，三輪書店，東京，2015，pp125-130.
- 3) 安田和則：日本での流れ。日本Knee Osteotomyフォーラム（編），ゼロから始める！Knee Osteotomyアップデート，全日本病院出版会，東京，2018，pp2-6.
- 4) Giuseffi SA, Replogle WH, Shelton WR: Opening-wedge high tibial osteotomy: review of 100 consecutive cases. *Arthroscopy*, 2015, 31: 2128-2137.
- 5) Lee SH, Lee OS, Teo SH, et al.: Change in gait after high tibial osteotomy: a systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*, 2017, 57: 57-68.
- 6) Kito N, Shinkoda K, Yamasaki T, et al.: Contribution of knee adduction moment impulse to pain and disability in Japanese women with medial knee osteoarthritis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2010, 25: 914-919.
- 7) 山田英司，福田 航，片岡悠介・他：通常歩行における重症度の低い変形性膝関節症患者の膝関節外反モーメントと下肢関節角度の特徴。理学療法科学，2018，33: 611-617.
- 8) Deie M, Hosono T, Shimada N, et al.: Differences between opening versus closing high tibial osteotomy on clinical outcomes and gait analysis. *Knee*, 2014, 21: 1046-1051.
- 9) Wada M, Imura S, Nagatani K, et al.: Relationship between gait and clinical results after high tibial osteotomy. *Clin Orthop Relat Res*, 1998, (354): 180-188.
- 10) Hunt MA, Birmingham TB, Giffin JR, et al.: Associations among knee adduction moment, frontal plane ground reaction force, and lever arm during walking in patients with knee osteoarthritis. *J Biomech*, 2006, 39: 2213-2220.
- 11) 山田英司：変形性膝関節症の歩行のバイオメカニクス。福井 勉・他（編），バイオメカニクスと動作分析，三輪書店，東京，2017，pp76-82.
- 12) 梁 祐昭，木ノ下光雄，森下 忍・他：下肢アライメントと距骨下関節の動き（第5報）—膝関節術後の比較—。日本足の外科学会雑誌，1993，14: 108-113.
- 13) 梁 祐昭，木ノ下光雄，森下 忍・他：下肢アライメントと距骨下関節の動き（第5報）—変形性膝関節症と距踵部角—。日本足の外科学会雑誌，1994，15: 272-276.
- 14) 福田浩史：高齢者特有の足部機能障害と理学療法。理学療法，2007，24: 692-701.
- 15) 木ノ下繁，田邊芳恵，伊藤俊一・他：人工膝関節置換術が中足部および後足部アライメントに与える影響。北海道理学療法，2008，25: 51-55.