



Radiological assessments and clinical results of intra-articular osteotomy for traumatic osteoarthritis of the ankle

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-10-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 原田, 将太 メールアドレス: 所属:
URL	https://fmu.repo.nii.ac.jp/records/2000416

学位論文

Radiological assessments and clinical results of intra-articular osteotomy for
traumatic osteoarthritis of the ankle

(外傷性足関節症に対する関節内骨切り術の X 線評価及び臨床成績)

福島県立医科大学

外傷学講座

原田 将太

Radiological assessments and clinical results of intra-articular osteotomy for traumatic osteoarthritis of the ankle

外傷性足関節症に対する関節内骨切り術の X 線評価及び臨床成績

福島県立医科大学外傷学講座

原田将太

概要

【背景と目的】 加齢による変形性足関節症に対する治療には足関節固定術が選択されることが多い。しかし足関節果部骨折や脛骨天蓋骨折後に起こる外傷性足関節症は活動性の高い若年者に多く、可動域も比較的保たれていることが多いために関節固定術を行うことは躊躇され治療方針決定に難渋する。我々は 1994 年に寺本が開発した Distal Tibial Oblique Osteotomy:DTOO 及びそのコンセプトから派生した Distal Tibial Intra-articular Osteotomy:DTIO、Distal Fibular Oblique Osteotomy:DFOO といった関節内骨切り術を、可動域の残存する外傷性足関節症症例に施行し足関節可動域の維持に努めてきた。本研究の目的は外傷性足関節症に対する関節内骨切り術の X 線学的計測を行って関節形態の変化を評価し、その有用性を報告することである。

【対象と方法】 対象は当科及び関連病院で関節内骨切り術を施行した外傷性足関節症患者 23 例 23 足である。これら 23 例の手術術式、固定方法、術前後の立位足関節単純 X 線正面像と側面像の X 線学的評価、Japanese Society for Surgery of the Foot ankle/hindfoot scale(以下 JSSF scale)による臨床成績、術後合併症を調査した。

【結果】 23 例中男性 14 例 14 足、女性 9 例 9 足で手術時年齢中央値は 52 歳(14 歳から 87 歳)、平均経過観察期間は 25 ヶ月(6 ヶ月から 121 ヶ月)であった。術式は DTOO が 13 例、DFOO が 2 例、DTOO+DFOO が 2 例、Medial-Distal tibial intra-articular osteotomy(M-DTIO)+DFOO が 1 例、Lateral-Distal tibial intra-articular osteotomy(L-DTIO)+DFOO が 3 例、M-DTIO 後 DTOO+DFOO が 1 例、DTOO 後 Low Tibial Osteotomy(LTO)が 1 例、固定方法はリング型創外固定器が 15 例、Locking compression plate(LCP)固定が 6 例、LCP+Kirschner-wire(K-wire)固定が 1 例、スクリュー+K-wire による固定が 1 例であった。X 線評価のうち TAS : Tibial ankle surface angle($P=0.0106$)、TTS : Tibiotalar surface angle($P=0.000894$)、MMA : Medial malleolar angle($P=0.0052$)、EA : Empirical axis($P=0.00049$)、FA : Fibular angle($P=0.0000784$)、TTA : Talar tilt angle($P=0.0269$)、TLS : Tibial lateral

surface angle($P=0.0206$)は術前後で有意に変化していた。また JSSF scale は術前 50.3 ± 10.5 点から術後 87.5 ± 8.9 点に有意に改善した($P=0.0000287$)。

【結論】 関節内骨切り術は術前後で足関節荷重時の X 線学的形態を変化させる可能性があり、短期臨床成績は良好であった。足関節可動域の残存する外傷性足関節症に対する治療法として有用である。

ハイライト

外傷性足関節症患者の中でも、年齢が若く活動的な患者をどのように治療するかは難しい課題である。

関節内骨切り術の前後で X 線学的評価を行ったところ、TAS、TTS、MMA、EA、FA、TTA、TLS に有意な変化が見られた。

DTOO、DTIO、DFOO は、TTS、FA、TTA を大きく変化させ、荷重時の脛骨と距骨の解剖学的関係を変化させる可能性がある。

DTOO、DTIO、DFOO は、外傷性足関節症患者の短期臨床成績を有意に改善した。

DTOO、DTIO、DFOO は、外傷性足関節症患者に適用可能な手術として考慮される。

はじめに

加齢に伴う変形性足関節症の発症率は、股関節、膝関節、手関節に比べて低いことが報告されている[1]。しかし、日本では、正座の習慣など日本人特有の文化や生活習慣の影響で、他国に比べて変形性足関節症の発症率が高いと言われている。そのため本邦の整形外科医は、欧米諸国の整形外科医に比べて変形性足関節症の患者さんを治療する機会が多くある。また日本では、先天的な脛骨の内反に起因する一次性変形性足関節症が多く見られると報告されている[2]。寺本は1994年に足関節の機能を維持しながら変形性足関節症を治療するために遠位脛骨斜め骨切り術(DTOO: distal tibial oblique osteotomy)を考案した[3-6]。DTOOでは、次のような手順で足関節の形態を変化させる。すなわち、脛骨内果の近位約5cmから遠位脛腓関節の中心に向かって脛骨を斜めに骨切りし、その後、距骨の外側関節面が腓骨の内側関節面に接触するまで、ラミナースプレッダーを用いて骨切り部の隙間を広げていく。足関節の内返し外返しおよび前後方向の動的安定性が改善したことを確認した後、骨切りした脛骨をリング型創外固定器またはロッキングプレートで固定する。骨の間隙には、骨盤の腸骨稜から採取した自家骨を充填する。術後6〜8週間で部分荷重を許可し、その後徐々に負荷を増やしていく。リング型創外固定器を使用して治療した症例では、術後3〜4ヶ月で骨癒合が得られた後に創外固定器を外す。DTOOは足関節の接触面積を増やして関節内の荷重圧を分散させ、足関節に動的安定性を与えることで足関節の痛みを軽減させる。DTOOは、日本を中心に臨床成績が優れていることが報告されている[3-6]。これまで、このDTOOのコンセプトに基づき、足関節周囲のいくつかの関節内骨切り術が開発されてきた。代表的な術式には遠位脛骨関節内骨切り術(DTIO: distal tibial intra-articular osteotomy)と遠位腓骨斜め骨切り術(DFOO: distal fibular oblique osteotomy)があり、DTIOでは脛骨天蓋関節面に向かって脛骨を骨切りする。DFOOでは、腓骨遠位部を遠位脛腓関節に向かって斜めに骨切りする(図1)。

現在、重度の変形性足関節症の治療には、足関節固定術(Ankle arthrodesis : AA)と人工足関節全置換術(total ankle replacement : TAR)が一般的に行われている。AA と TAR を比較したいくつかの研究では、これらの手術の臨床結果はほぼ同等であると報告されている[7-8]。しかし、AA は隣接する関節に悪影響を及ぼすこと[9-10]、TAR の再置換率が高いこと、TAR 後の長期的な臨床結果が芳しくないこと[11-15]などを考慮すると、AA も TAR も長期予後が約束された決定的な治療法とは言えない。また、外傷性足関節症は、著明な転位のある足関節脱臼骨折や足関節果部骨折、脛骨天蓋骨折などの後に続発して発症するため、足関節の著明な関節内変形がみられることがある。外傷性足関節症を発症している患者は、一次性変形性足関節症の患者に比べて比較的若く、活動性が高い。また、感染歴がある症例や足関節可動域が保たれている症例も少なくない。しかし、現時点では、外傷性足関節症の治療方針を決定するのに役立つ分類はない[16]。そのため、整形外科医は自信を持って AA または TAR を患者に勧めることができない。さらに、AA や TAR を受けることを頑なに拒否する患者も相当数存在する。このような背景から、我々は足関節の機能を維持する目的で、足関節可動域の残存した外傷性足関節症患者の治療に、関節内骨切り術(DTOO、DTIO、DFOO)を適用している。

本研究の目的は、術前・術後の立位足関節 X 線正面像と側面像から、DTOO、DTIO、DFOO が足関節の形態に及ぼす影響を評価すること、また、関節内骨切り術を受けた患者の臨床成績を報告し、その有用性を明らかにすることである。

対象者および方法

2010 年 5 月から 2021 年 12 月の間に、福島県立医科大学整形外科学講座関連病院で外傷性足関節症の治療のために手術を受けた患者を対象とした。本研究は福島県立医科大学倫理委員会で受理された(一般 2021-327)。除外基準は、足関節の可動域が 10 度未満に制限されていたために足関節固定術を受けた患者である。外傷性足関節症の原因は、足関節果部骨

折が 13 例、脛骨天蓋骨折が 3 例、遠位脛骨・腓骨骨折が 3 例、遠位脛骨・腓骨骨端線損傷が 1 例、頻回の足関節捻挫が 3 例であった。受傷から最初の骨切り手術までの期間の中央値は 240 ヶ月（8～600 ヶ月）であった。全患者が足関節痛を訴え、患者の年齢、過去の手術回数、過去の感染症、変形性足関節症の型（内反型もしくは外反型）に関わらず、関節内骨切り術を行った。本研究の対象者の詳細を表 1 に示す。

全体で 23 例の患者（男性：14 例、女性：9 例）の 23 足関節（左：7 足、右：16 足）に関節内骨切り術（DFOB、DTIO、DFOB）を施行した。手術時の年齢中央値は 52 歳（14～87 歳）。平均経過観察期間は 25 ± 23 ヶ月（範囲 6～121 ヶ月）であった。骨切り術の内訳は DFOB 単独が 13 例（うち 1 例は踵骨骨切り術を併用）、DFOB 単独が 2 例、DFOB と DFOB の併用が 2 例、内側-遠位脛骨関節内骨切り術（medial-distal tibial intra-articular osteotomy：M-DTIO）と DFOB の併用が 1 例、外側-遠位脛骨関節内骨切り術（lateral-distal tibial intra-articular osteotomy：L-DTIO）と DFOB の併用が 3 例、M-DTIO 後、二期的に DFOB と DFOB の併用が 1 例、DFOB の後に二期的に低位脛骨骨切り術（low tibial osteotomy：LTO）が 1 例であった。固定法としてリング型創外固定器は 15 例、ロッキングコンプレッションプレート（LCP：locking compression plate）は 6 例、LCP とキルシュナー鋼線（K-wire：Kirschner wire）の併用は 1 例、スクリューと K-wire の併用は 1 例に適用された。

十分な矯正効果を得るためにアキレス腱の延長が必要だったのは 12 例、骨棘切除を要したのは 10 例であった（表 1）。各症例の臨床成績は、術前に測定した日本足の外科学会足関節・後足部スケール（JSSF scale：Japanese Society for Surgery of the Foot ankle/hindfoot scale）と最終経過観察時を比較して評価した。また、骨癒合の有無、有害事象の有無についても調査した。JSSF scale はすでにその妥当性が検証されており、「痛み」に 40 点、「機能」に 50 点、「アライメント」に 10 点の合計 100 点とした評価尺度である[17-18]。足関節形態の変化を評価するために、術前・術後の立位足関節 X 線正面像を用いて、脛骨天蓋角（TAS：

Tibial ankle surface angle)、脛骨距骨上縁角 (TTS : Tibiotalar surface angle)、内果傾斜角 (MMA : medial malleolar angle)、果間角 (EA : empirical axis)、脛骨角 (TA : tibial angle)、腓骨角 (FA : fibular angle)、距骨傾斜角 (TTA : talar tilt angle)、 α 角 (αA : α angle)、 β 角 (βA : β angle)、足底脛骨角 (PST : plantar surface tibial angle) を測定した。また、側面天蓋角 (TLS : tibial lateral surface angle) を、術前および術後の立位足関節側面 X 線像を用いて測定した (図 1) [19-23]。

手術方法

全身麻酔下に患者を仰臥位にする。

(1) 透視下に足関節のストレステストを行う。

手術前に透視を用いて足関節の動的不安定性を確認する。具体的には、正面像では内返し外返し、内旋外旋、底屈背屈、下方牽引、側面像では底屈背屈、前後引き出し、下方牽引等で動的不安定性を評価する。術前の動的不安定性に関するデータは、骨切り部をどの程度まで開大させて足関節の安定性を得るかを判断するために必要不可欠である。原則として患側の内返し外返しストレスによる距骨の内反と外反の程度に着目し、透視画像を動画で記録しておく。また内返しストレス時、外返しストレス時の足関節正面透視画像を保存しておく。

(2) 骨切りを行う。

DTOO : 脛骨遠位内果から約 5cm 近位を起点とし、遠位脛腓靭帯の中心付近までの骨切り線を決定する。下腿の遠位内側で、デザインした骨切り線の始点の直上に、長さ約 3cm の皮膚切開を設ける。1.8~2.0mm のキルシュナー鋼線を刺入してガイドとし、骨切り想定線に沿って骨膜を剥離した後、透視下で薄刃の骨ノミを用いて骨切りを行う。

DTIO : DTOO と同じように皮膚を切開し、薄刃の骨ノミを用いて脛骨天蓋関節面に向かって同様に骨切りを行う。

DFOO：腓骨遠位部の直上で 8cm の皮膚切開を行い、透視下に腓骨遠位部先端から近位に約 5cm の点から遠位脛腓間まで薄刃の骨ノミを用いて腓骨を斜めに骨切りする。骨質が良く硬い骨の場合は、骨切りの前に K-wire で骨切り線に沿った骨孔を作成する。

(3)骨切り部の間隙を開大する。

ラミナースプレッダーを挿入する前に、骨ノミで骨切り部の間隙を少しずつ広げる操作を繰り返し、周囲の軟部組織の緊張を緩める。その後、ラミナースプレッダーを骨切り部に挿入し、透視を見ながら骨切り部を徐々に開大する。

DTOO や DTIO では、通常、距骨の外側関節面と腓骨の内側関節面が接触するまで骨切りの間隙を広げるが、開大後に足関節正面透視画像をみながら内返し外返しストレスをかけて、術前に記録しておいた動画やストレス時の静止画と比較して距骨の内反と外反が制動されていることを確認する。距骨の制動が不十分と判定した場合は、スプレッダーをかける位置や開大具合を調整して、再度上述の距骨の制動を確認する。この操作を繰り返し、十分な距骨の安定性が得られた位置を矯正位とする(矯正困難な場合は下記*を参照)。

DFOO では、骨切り部の間隙にラミナースプレッダーを挿入するのが難しい場合がある。このような場合には、骨把持鉗子で遠位骨片を矯正位置に保持し、K-wire 等で一時的に仮固定する。徒手的にアライメントを矯正することが困難な場合、リング型創外固定器で遠位骨片を強力に引っ張り、回旋を調整してアライメントを矯正する。

* 十分な矯正が困難な場合

a. 骨棘を切除する。

DTOO や DTIO では、骨棘が距骨の回旋や外旋の妨げになることがある。多くの場合、腓骨の前方にある骨棘や脛骨の前外側にある骨棘が距骨の動きを妨げている。

b. アキレス腱の Z 延長術を行う。

骨切り部の間隙を開大することは一期的な骨延長と同じであり、軟部組織の緊張を高める。特に、距骨傾斜が改善されない、距骨の前方亜脱臼が残っている、足関節の背屈が 0 度以下の場合は、アキレス腱の Z 延長が必要となることがある。

(4) 骨切りした骨をリング型創外固定器やロッキングプレートで固定する。

適正な矯正位を決定した後、骨切りした骨をリング型創外固定器またはロッキングプレートで固定する。足関節周辺の軟部組織は薄く血流が良くない。このような解剖学的特性と、骨切り部を一期的に開大することを考えると、感染を防ぐためには術中術後に細心の注意が必要である。そのため、当院足の外科グループでは、固定方法としてリング型創外固定器を第一選択としており、十分な軟部組織の余裕がある場合以外は内固定を行わないようにしている。

(5) 骨切り開大部に自家骨移植を行う。

骨盤の腸骨稜から採取した自家骨（全層ブロックまたは海綿骨）で骨切り開大部を充填する。

(6) 閉創する。

骨切り部にドレーンを設置し、閉創する。

後療法

術直後から足底接地を許可する。術後 6～8 週間で部分荷重を開始し、段階的に荷重量を増やして術後約 3 ヶ月で全荷重を許可する。足関節は自動運動のみ許可し、むやみな他動可動域訓練を行うことは避ける。術後 3～4 ヶ月後に骨癒合が得られたら、リング型創外固定器を除去する。ロッキングプレート固定の場合は術後 1 年から 2 年でインプラント刺激症状がある場合は抜釘を考慮する。

統計解析

得られた術前と術後のデータを、統計ソフト STATA (バージョン 16.1 ; Stata Corp LLC, College Station, TX) を用いて Wilcoxon signed-rank test で分析し、術後の変化を評価した。P 値はすべてのパラメータで <0.05 とした。

結果

X 線学的評価

前述のように、術前と術後の TAS、TTS、MMA、EA、TA、FA、TTA、 αA 、 βA 、PST、TLS を X 線学的に評価した。各パラメータの術前・術後の測定値は以下の通りである。TAS：術前 85.3 ± 9.7 度 (範囲 55～99 度) および術後 90.8 ± 6.5 度 (範囲 76～100 度)、TTS：術前 79.8 ± 13.4 度 (範囲 50～101 度) および術後 90.0 ± 5.2 度 (範囲 76～99 度)、MMA：術前 34.3 ± 14.4 度 (範囲 8～72 度) および術後 27.3 ± 6.6 度 (範囲 17～44 度)、EA：術前 75.9 ± 7.6 度 (範囲 57～89 度) および術後 84.9 ± 5.3 度 (範囲 73～94 度)、TA：術前 64.4 ± 13.8 度 (範囲 34～88 度) および術後 63.4 ± 7.9 度 (範囲 44～75 度)、FA：術前 53.0 ± 9.9 度 (範囲 31～71 度) および術後 60.4 ± 7.9 度 (範囲 44～73 度)、TTA：術前 6.2 ± 8.4 度 (範囲 0～26 度) および術後 1.8 ± 2.1 度 (範囲 0～8 度)、 αA ：術前 117.0 ± 11.9 度 (範囲 100～148 度) および術後 117.4 ± 7.8 度 (範囲 104～135 度)、 βA ：術前 104.7 ± 8.4 度 (範囲 90～125 度) および術後 104.3 ± 7.2 度 (範囲 92～117 度)、PST：術前 87.4 ± 4.7 度 (範囲 71～94 度) および術後 88.6 ± 2.8 度 (範囲 80～93 度)、TLS：術前 80.7 ± 7.4 度 (範囲 67～92 度) および術後 84.8 ± 7.7 度 (範囲 69～103 度) であった。TAS、TTS、MMA、EA、FA、TTA、TLS は手術後に有意な変化が見られた。一方、TA、 αA 、 βA 、PST については、術後に有意な変化は見られなかった (表 2)。

臨床成績，有害事象，追加手術

JSSF scale は、術前 50.3 ± 10.5 点（33～77 点）から術後 87.5 ± 8.9 点（73～100 点）へと術後有意に改善した（ $p=0.00000287$ ）。すべての症例に腸骨全層ブロックまたは海綿骨移植が行われ骨癒合が得られた。術後深部感染を生じた症例はなかった。骨切りした骨を LCP、スクリュー、キルシュナー鋼線で固定した 5 例は、患者が局所刺激による症状を訴えたため抜釘を行った。リング型創外固定器で固定した 15 例すべてで軽度のピンサイト感染が生じた。ピンサイトの腫脹や発赤が強い症例には、1 週間、患肢に体重をかけないようにし、ピンサイトをシャワーで洗うように指示した。これらの処置を行ったところ、すべての症例でピンサイト感染は改善し、周術期の抗生物質の予防投与に加えて、ピンサイト感染の治療のために抗生物質の投与を必要とした症例はなかった。1 例（表 1. 23 番）は DTOO と同時に扁平足に対する踵骨の骨切りを行い、2 例（表 1. 8 番と 16 番）は後に追加骨切りを行った。表 1. 8 番は初回の骨切りから 2 年後も痛みが残存したため、DTOO と DFOO を併用した骨切り術を行い、その後の経過観察で足関節の痛みは緩和された。一方、表 1. 16 番は最初の骨切りから 8 年後に長距離歩行時の易疲労感の訴えがあったため、関節外でのアライメント矯正のために LTO を行ったところ術後疲労感は消失した。足関節の痛みは 23 人全員が消失もしくは緩和された。平均 25 ヶ月の経過観察期間中、AA や TAR による再手術を受けた患者はいなかった。

症例提示

症例 1（表 1. 15 番）：87 歳男性。ゴルフのレッスンプロ。50 年前に右下腿骨骨折を受傷して変形癒合となり、外傷性足関節症を生じた。患者は高齢にもかかわらず非常に活動性が高く、自立して歩行可能であった。数年前から右足関節の痛みが悪化したため、手術加療を希望された。術前の JSSF scale は 48 点（疼痛 20 点、機能 23 点、アライメント 5 点）であった。術前の足関節背屈角度は 5 度、足関節底屈角度は 20 度であった。前医では、AA も

しくは TAR を勧められたが、患者は拒否したため、骨切りによる関節温存手術目的に当科に紹介された。術前の立位足関節 X 線写真ではほとんどの関節裂隙が消失していた(図 3)。しかし、足関節可動域は残存していたため、DFOO を行った。骨切りした骨を LCP で固定し、骨切り部の間隙に腸骨から採取した海綿骨を充填した。プレートスクリューを除去した後に撮影した立位足関節 X 線写真を図 3 に示す。足関節の痛みは緩和され、術後も足関節可動域は維持されていた(足関節背屈：5 度、足関節底屈：20 度)。JSSF scale は 79 点(疼痛 30 点、機能 39 点、アライメント 10 点)に改善した。

症例 2 (表 1. 14 番)：63 歳女性。15 年前に右足関節果部骨折を受傷し、外傷性足関節症の原因となる変形癒合を起こしていた。右足関節痛が増悪したため、足の外科専門医の在籍する当科に紹介された。術前の JSSF scale は 65 点(疼痛 30 点、機能 30 点、アライメント 5 点)であった。術前の足関節背屈角度は 5 度、足関節底屈角度は 45 度であった。術前の立位足関節 X 線写真と足関節の内返し外返しストレス X 線写真を示す(図 4)。立位足関節 X 線写真では、距骨がわずかに外反位となり、外側距腿関節裂隙が狭小化していた。骨折部での腓骨の短縮と外反変形によって、距骨の外反および関節内変形を生じたと考えられたため DFOO を行い、骨切りした骨を LCP で固定した。腓骨をわずかに延長し、遠位骨片を軽度内反、内旋させることで腓骨のアライメントを矯正し、術前の内返し外返しストレステストで観察された不安定性が解消された。術前立位足関節 X 線写真と術中透視画像、抜釘後に撮影した立位足関節 X 線写真を図 4 に示す。術前の立位 X 線写真で観察された距骨の外反が、手術によって修正されていることがわかる。JSSF scale は 97 点(疼痛 40 点、機能 47 点、アライメント 10 点)に改善し、足関節可動域も維持されていた(足関節背屈：5 度、足関節底屈：45 度)。足関節痛は消失して自立歩行が可能となり、日常生活に支障をきたすことはなくなった。

症例 3（表 1. 11 番）：57 歳女性。28 年前に交通事故により右下腿部を骨折し変形癒合となり、外傷性足関節症を生じた。ここ数年で足関節の痛みが悪化して歩行に支障をきたしたため、手術加療を希望され当科を受診した。術前の JSSF スケールは 59 点（疼痛 20 点、機能 34 点、アライメント 5 点）で距腿関節可動域は残存していた（足関節背屈：10 度、足関節底屈：45 度）。まず、足関節の関節内安定性を向上させるために DTOO を実施した。しかし、DTOO 後も距骨は脛骨遠位部の軸に対して内反位であった。そこで、追加で DFOO を実施した。これらの処置により、足関節の安定性が向上しただけでなく、関節外のアライメント不良も修正された。図 5 に術前立位足関節 X 線写真と術中透視画像、抜釘後の立位足関節 X 線写真を示す。JSSF scale は 100 点（疼痛 40 点、機能 50 点、アライメント 10 点）に改善し、足関節可動域も維持されていた（足首背屈：10 度、足底屈：45 度）。疼痛なく自立歩行可能となり、日常生活に支障をきたすことはなくなった。

症例 4（表 1.8 番）。49 歳男性。15 歳頃に右足関節を捻挫したが、病院を受診しておらず詳細は不明であった。その後、何度も右足関節捻挫を繰り返していたものの、患者は医師の診察を受けずに安静にして治療していた。20 代後半になって右足関節に痛みが出てきたため、複数の整形外科医に相談した。いずれの整形外科医も足関節の痛みを取り除くには固定術以外の治療法はないと説明したが、患者は固定術を頑なに拒否した。そこで、セカンドオピニオンとして足の外科専門医の在籍する当科を紹介受診した。術前の JSSF scale は 59 点（疼痛 20 点、機能 34 点、アライメント 5 点）であった。術前の足関節背屈角度は 0 度、底屈角度は 10 度であった。立位足関節 X 線写真では、距骨の高度な内反と脛骨天蓋関節面の高度な摩耗が認められた（図 6）。これらの所見から、患者には AA による治療を勧めたが、患者は関節機能を温存できる手術を強く希望した。そこで、疼痛が改善しない可能性を説明した上で DTIO を行って治療した。その結果、JSSF scale は術後 2 年で 74 点（疼痛 30 点、機能 34 点、アライメント 10 点）に改善した。足関節の可動域（足関節背屈：0 度、足

関節底屈：10 度）に大きな変化はなく、足関節痛は軽減したものの残存した。立位足関節 X 線写真では、距骨の軽度内反が残存していた（図 6）。痛みをとるために再度 AA を勧めたが、患者は AA による治療を頑なに拒否した。そこで、関節内の不安定性と関節外アライメントを同時に矯正するために、DToo と DFOO を併用した追加手術を行った（図 6）。追加手術から 1 年後、JSSF scale は 78 点（疼痛 30 点、機能 38 点、アライメント 10 点）に改善した。

症例 5（表 1. 23 番）：65 歳女性。21 年前に右足関節果部骨折を受傷し、手術加療を受けたが変形癒合となった。しばらく疼痛はなかったが 10 年ほど前から右足関節痛を生じ、近医で保存的に加療されていたが、増悪するため手術加療を希望され当科を紹介受診した。術前の JSSF スケールは 43 点（疼痛 20 点、機能 23 点、アライメント 0 点）で距腿関節可動域は残存していた（足関節背屈：5 度、足関節底屈：25 度）。重度扁平足を合併しており、踵骨骨切り術を DToo と同時に施行した。図 7 に術前立位足関節 X 線写真と術中透視画像、術後立位足関節 X 線写真を示す。術後 6 ヶ月の経過観察時、JSSF scale は 73 点（疼痛 30 点、機能 38 点、アライメント 5 点）に改善し、足関節可動域は維持されていた（足関節背屈：5 度、足関節底屈：25 度）。足背リスフラン関節レベルに疼痛があり、抜釘時に足根骨での骨切りを予定している。

考察

重度の外傷性変形性足関節症に適用される外科的治療法には、AA、TAR、足関節牽引(AJD: Ankle joint distraction)、骨切り術などがある。これらの中で、歴史的に最も一般的に適用されてきたのは AA だが、AA は隣接関節の関節症性変化を引き起こすことが知られている[9-10]。したがって、外傷性足関節症の患者、特に若年者に対しては、AA は最後の手段として位置づけられるべきであると考えている。AJD は、AA や TAR が必要になるまでの時

間を延長する可能性があるが、AJD で治療した患者の 40%以上が最終的に AA や TAR を受けたという研究結果があるため[24]、AJD が決定的な治療法となる可能性は低いと思われる。TAR は有効な治療法になり得ると考えるが、TAR の臨床成績は人工股関節全置換術や人工膝関節全置換術に比べて悪く、また TAR は高い確率で再手術が必要となる[11-14]。特に、重度の外傷性足関節症に対する TAR の臨床結果は極めて悪いと報告されている[25]。加齢に伴う変形性足関節症とは異なり、外傷性足関節症は足関節の比較的高エネルギー損傷の後遺症であること、若くて活動性の高い患者の割合が多いこと、足関節可動域が残存していること、症例によっては感染の病歴があることなど、様々な理由により、整形外科医は治療方針決定に難渋する。このような背景から、関節機能を温存できる骨切り術が有効な選択肢となり得るが、LTO については、高倉・田中分類の 2 期または 3a 期までが適応とされており[26][27]、比較的軽症の限られた症例にしか適用できない。高倉・田中分類は内反型変形性足関節症のために開発された分類で、外傷性足関節症にそのまま適用することは無理があるが、仮に外傷性足関節症にこの分類を適用したとしても、LTO が有効なのは軽度の外傷性足関節症に限られると思われる。一方、1994 年に寺本が考案した DTOO は、高倉・田中分類で 3b 期または 4 期に分類される変形性足関節症で、関節内変形が著明でも、足関節の可動域が残存している症例に適用できるとされている[3-6]。どちらも脛骨遠位部の骨切り術ではあるが、LTO と DTOO の決定的な違いは、足関節の関節面形状を変えるかどうか、また、一般的に内返し外返しストレステストで評価される足関節の動的安定性を変えるかどうかという点にある。LTO は、関節の形状を変えずにアライメントを修正することを目的としている。今回の研究は、術後の結果を立位 X 線で評価し、DTOO をはじめとした関節内骨切りによって足関節の適合性が変化したことを示した点で意義があると考ええる。DTOO は関節形状を変化させ、接触面積を増やすことで、荷重圧を分散させる効果が期待できる[28]。その結果、歩行時など足関節に動的ストレスがかかったときの足関節の安定性が向上し、足関節痛の緩和につながると考えられる。我々の足の外科グループでは、

上記のようなコンセプトに基づき、複雑な変形を有する外傷性足関節症患者に対する治療方針を決定し、その臨床成績は良好であった。しかし、これらのコンセプトに基づいて治療を遂行するには、DTOO 原法だけでなく、元々の骨折部位に応じて DTIO や DFOO を適用する必要がある。表 1 の 16 番の症例は、初回は DTOO のみで治療し、足関節の痛みはほぼ消失したものの、長時間歩行時の易疲労感を訴えていた。関節外のアライメントを矯正するために追加で LTO を行い、長時間歩行時の疲労感は軽減された。現在も経過観察中であるが、良好な経過をたどっている。DTOO だけでもアライメントの修正に効果がある場合もあるが、この症例のように、DTOO 後も関節外のアライメント不良が残ることがある。このようなケースでは、まず関節内骨切りを行って関節内の動的安定性を獲得した後に、関節外骨切りを行ってアライメントを修正することが効果的と考えている。関節内変形の著明な表 1 の 8 番の症例では、DTIO だけではアライメントを十分に矯正することができなかった。DTIO 後に JSSF scale は改善したものの、足関節の痛みは残存した。それでも患者は足関節固定術を拒否したため、追加の骨切り術を行ってアライメントを修正した。しかし、追加手術の 1 年後も軽度の足関節痛は残存した。このことは重度の変形性足関節症に対する関節内骨切り術の限界を示唆している。今後も可能な限り経過観察を続けて、長期予後を明らかにする必要がある。

図 2 に示した、本研究で X 線評価に用いたパラメータのうち、EA と PST は関節外因子によって構成されており、TAS、MMA、TLS は、脛骨軸と脛骨遠位関節面との関係を反映しているが脛骨のみの構成要素からなる。一方、TTS、TA、FA、TTA は、脛骨と距骨の両方の因子から構成されており、これらのパラメータは脛骨と距骨の関係を評価するのに適している。 αA と βA は、距骨のみからなる因子、すなわち関節内因子でのみ規定される。今回の研究では、関節外因子による EA、脛骨軸と脛骨遠位関節面との関係を示す TAS、MMA、TLS、脛骨と距骨との関係を示す 4 つのパラメータ (TTS、TA、FA、TTA) のうち 3 つのパラメータである TTS、FA、TTA に術前後で有意差がみられた。渉猟し得た限

り、関節内骨切りの前後に撮影した立位足関節 X 線写真をもとに、脛骨と距骨からなる X 線学的パラメーターを網羅して評価した研究は、本研究が初めてである。これまでも LTO 後に TAS と TLS に有意な変化があったとの報告はあるが、TTS、TA、FA、TTA など、脛骨と距骨の関係を反映したパラメータを含む、多様なパラメータを用いた X 線評価を行った研究はこれまでなかった。同様に、関節内骨切り術についても、脛骨と距骨の両方の要素を反映したパラメータを用いて、臨床結果とともに X 線学的に評価した研究はほとんどない。Ahn TK らは、足関節モーティス開大を伴う変形性足関節症の 18 症例に、DTOO と同様の骨切りである「腓骨骨切りを伴わない遠位脛骨骨切り術」を行った際の臨床成績を報告している。彼らによれば、 AOFAS (American Orthopaedic Foot & Ankle Society) score は術後有意に改善し (術前スコア : 78.4、術後スコア : 89)、medial distal tibial angle (本研究では TAS に相当) は術後に増加し (術前角度 : 86.6 度、術後 92.9 度)、anterior distal tibial angle (本研究では TLS に相当) が有意に増加した (術前 81.1 度、術後 84.3 度)。一方、距骨傾斜 (本研究では TTA に相当) については、術前の距骨傾斜は 5.6 度、術後は 5.5 度と、有意な変化は見られなかったとも報告している[29]。彼らの研究では、足関節モーティス開大を伴う変形性足関節症患者に対して、腓骨骨切りを伴わない遠位脛骨骨切り術の効果を評価していたのに対し、我々の研究は、内反型と外反型のいずれも含む外傷性足関節症の患者に対して、DTOO、DTIO、DFOO の効果を評価していたため、彼らの研究結果と我々の研究結果を単純に比較することは難しい。また、本研究の結果は、彼らの報告とは異なり、術前後の TTA に有意差が見られた。この違いは、DTOO に限らず、DTIO や DFOO も含めて骨切りの効果を評価したこと、また、我々の研究に登録された患者は術前のスコアが非常に低いことから、彼らの研究に登録された患者に比べて重症例が多い可能性があると考えられる。言うまでもなく、AOFAS score と JSSF scale はいくつかの点で異なるため、それぞれの患者群の術前状態を単純に比較することは困難である。彼らは、寺本の論文[4]を引用し、腓骨骨切りを伴わない distal tibial osteotomy が DTOO に近い術式であると述べ

ているが、彼らが報告した論文には、手術中の足関節の動的安定性の確認に関する記述がないため、彼らが寺本の DTOO のコンセプトに基づいて手術を行ったかどうかは不明である。今回の研究では、距骨の骨切りを行った被験者はいなかった。したがって、 αA と βA は距骨に関連した要因のみで提供されるため、手術後に αA と βA が大きく変化することはないという結果が予想された。しかし、それぞれのパラメータは 2 次元的な情報である X 線写真に基づいて測定されているため、回旋などの 3 次元的な挙動は X 線写真には反映されていない可能性がある。

今回の研究では、DTOO、DTIO、DFOO は、脛骨軸と脛骨遠位関節面との関係を変化させることで、荷重負荷時の距骨周辺の関節内での状態を変化させる可能性を示した。 αA も βA も有意差はなかったが、これは、2 次元の X 線写真での評価には限界があるためと考えられる。図 8 に示すように、膝蓋骨が真上を向くように患部下腿を置くと、DTOO、DTIO、DFOO 後の足の位置は骨切り前の足の位置に比べて変化していることが多い。このことは、DTOO、DTIO、DFOO が、正面像の内外反変形や側面像での前後凹凸変形だけでなく、回旋変形も矯正できる三次元的な骨切り術であることを証明しているのかもしれない。2 次元の X 線写真だけでは、DTOO、DTIO、DFOO の効果を総合的に評価することは難しいと考えられ、今後は 3DCT などを用いた 3 次元画像解析が必要と考えている。

距骨が脛骨天蓋に過度に陥没しているような重度の変形性関節症症例（表 1 の 8 番の症例の術前立位足関節 X 線写真 [図 9 参照] に示されているように）では、脛骨遠位関節面に沿ってどのように線を引くかによって、TTA、TTS、TAS の値が変わる可能性がある。我々の知る限り、脛骨天蓋の摩耗が激しく、脛骨関節面が内側と外側に 2 つあるような重度の変形性関節症に対する骨切り術について、X 線評価を行った結果を報告した論文はなかった。そのため、重度の変形性関節症症例における遠位脛骨関節面のラインを決定するのに有効な情報を得ることができなかった。本研究では、このような症例に対しては、できるだけ正常な形状の関節面を基準にして、脛骨遠位部関節面に沿ったラインを引いた。

術中の透視画像で、脛骨軸と距骨滑車上縁に沿った線が垂直に交わること (TTS が 90 度) を確認することが、許容範囲内の矯正ができていることを示す一つの基準とはなる。しかし、TTS は体重をかけた状態で評価する必要があるため、術中は足底に軸方向の圧迫を加えて擬似荷重状態を再現した。本研究では、手術後に TTS が大きく変化したことを確認したが、あくまで動的安定性を得ることが DTOO のコンセプトであるため、我々は術中透視下に内返し外返しや前方引き出し、底背屈などのストレステストを行って足関節の動的安定性を必ず評価している [3-6]。また、必要に応じてアキレス腱延長術や骨棘切除術を行って十分な矯正を行う。しかし、アキレス腱延長術は下腿三頭筋筋力を減弱させる可能性があり、骨棘切除術は関節の不安定性を強める可能性がある。これらの弊害を考慮して、我々はアキレス腱延長術・骨棘切除術を全例にルーチンで適用することはしなかった。そのため、アキレス腱延長術・骨棘切除術が必要な患者を適切に見分ける方法を見出すことが今後の課題であり、外傷性足関節症の治療方針決定に役立つ分類を確立する必要がある。

制限事項

本研究の限界は、後方視的であること、対象患者数が少ないこと、複数の外科医が手術を行ったことなどが挙げられる。また、X 線評価は一人の足の外科専門医によって評価されており、X 線評価の結果は観察者間および観察者内の信頼性を評価していない。また、本論文で示された臨床成績は短期的なものであるが、患者の詳細な治療内容が記述されていることが長所である。

結論

DTOO、DTIO、DFOO は立位荷重時の距腿関節の挙動に影響を及ぼすことが示唆され、外傷性足関節症に対する短期成績は良好であった。DTOO、DTIO、DFOO は外傷性足関節症患者に適用できる治療選択肢の一つとなり得る。

利害関係の開示

この原稿の内容について開示すべき利益相反はありません。

謝辞

本論文の執筆にあたり、多大なるサポートとアドバイスをいただいた Peter V Giannoudis 先生、寺本司先生、高木基行先生、浅原智彦先生、加藤成隆先生、竹中信之先生、松下降先生、乾貴博先生、渡部欣忍先生、西井幸信先生、衣笠清人先生、大塚和孝先生、紺野慎一先生に深謝いたします。

参考文献

- [1] Cushnaghan J, Dieppe P, Study of 500 patients with limb joint osteoarthritis. I. Analysis by age, sex, and distribution of symptomatic joint sites. *Ann Rheum Dis.* 1991;50(1):8-13.
- [2] Tochigi Y, Kakihana M, Kaneko T, Ogawa M, Ozeki S, Pathogenesis of Ankle Osteoarthritis in a Japanese Population, *J. Jpn. Soc. Surg. Foot* 2015;36(1):173-175(Japanese)
- [3] Teramoto T, Harada S, Takaki M, Asahara T, Otsuka K, Tashiro K, The Teramoto distal tibial oblique osteotomy (DToo): surgical technique and applicability for ankle osteoarthritis with varus deformity, *Strat Traum Limb Recon* 2018;13:43?9.
- [4] Teramoto T, Tashiro K, Otsuka K, Takaki M, Makino Y, and Asahara T, The changes in the instability of the ankle joint after distal tibial oblique osteotomy performed for the treatment of osteoarthritis of the ankle joint, *Journal of Japanese Association of External Fixation and Limb Lengthening* 2009;20:119-26.
- [5] Teramoto T, Harada S, Takaki M, Operative methods of arthroplasty used by intra-articular osteotomy of the knee joint and ankle joint, *Journal of Japanese Association of External Fixation and Limb Lengthening* 2014;25:169-76

- [6] Teramoto T, Distal tibial oblique osteotomy for osteoarthritis of the ankle, *Orthopaedic Surgery and Traumatology* 2008;51:889-99(Japanese)
- [7] Cort D. Lawton, Bennet A. Butler, Robert G. Dekker II, AdamPrescott and Anish R. Kadakia. Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis--a comparison of outcomes over the last decade. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2017;12:76
- [8] Wąsik J, Stołtny T, Pasek J, Szyluk K, Pyda M, Ostąłowska A Effect of Total Ankle Arthroplasty and Ankle Arthrodesis for Ankle Osteoarthritis/ A Comparative Study. *Med Sci Monit*. 2019;10(25):6797-804.
- [9] Jeffrey S. Ling, Niall A. Smyth, Ethan J. Fraser, MaCalus V. Hogan, Christine M. Seaworth, Keir A. Ross et al. Investigating the Relationship Between Ankle Arthrodesis and Adjacent-Joint Arthritis in the Hindfoot. A Systematic Review. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97:513-9.
- [10] Yasui Y, Hannon CP, Seow D, Kennedy JG. Ankle arthrodesis: A systematic approach and review of the literature. *World J Orthop*. 2016;7(11):700-8. eCollection. Review.
- [11] Elizabeth A. Cody, Daniel J. Scott, Mark E. Easley. Total Ankle Arthroplasty A Critical Analysis Review. *JBJS Reviews* 2018;6(8):e8
- [12] Sadoghi P, Liebensteiner M, Agreiter M, Leithner A, Bohler N, Labek G. Revision surgery after total joint arthroplasty: a complication-based analysis using worldwide arthroplasty registers. *J Arthroplasty*. 2013;28(8):1329-32
- [13] Labek G, Todorov S, Iovanescu L, Stoica CI, Bohler N. Outcome after total ankle arthroplasty-results and findings from worldwide arthroplasty registers. *Int Orthop*. 2013;37(9):1677-82
- [14] Tsun Yee Law, Karim G. Sabeh, Samuel Rosas, Zachary Hubbard, Sarah Altajar, Martin W. Roche. Trends in total ankle arthroplasty and revisions in the Medicare database. *Ann Transl Med* 2018;6(7):112
- [16] Gramlich Y1, Neun O2, Klug A2, Backup J2, Stein T2, Neumann A2,
- [15] Claessen FM, Meijer DT, van den Bekerom MP, Gevers Deynoot BD, Mallee WH, Doornberg JN. et al. Reliability of classification for post-traumatic ankle osteoarthritis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24:1332-7.

[16] Nozaka K, Miyakoshi N, Kashiwagura T, Kasukawa Y, Saito H, Kijima H. Effectiveness of distal tibial osteotomy with distraction arthroplasty in varus ankle osteoarthritis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):31.

[17] Niki H, Aoki H, Inokuchi S, Ozeki S, Kinoshita M, Kura H et al. Development and reliability of a standard rating system for outcome measurement of foot and ankle disorders I: development of standard rating system. *J Orthop Sci* 2005;10:457-65.

[18] Niki H, Aoki H, Inokuchi S, Ozeki S, Kinoshita M, Kura H et al. Development and reliability of a standard rating system for outcome measurement of foot and ankle disorders II: interclinician and intraclinician reliability and validity of the newly established standard rating scales and Japanese Orthopaedic Association rating scale. *J Orthop Sci* 2005;10:466-74.

[19] Monji J. Roentgenological measurement of the shape of the osteoarthritic ankle. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi.* 1980;54(8):791-802. (Japanese)

[20] Keats TE, Teeslink R, Diamond AE, Williams JH. Normal axial relationships of the major joints. *Radiology.* 1966;87:904-907.

[21] Christopher E. Gross, William Barfield, Christine Schweizer, Helmut Rasch, Michael T. Hirschmann, Beat Hintermann. The Utility of the Ankle SPECT/CT Scan to Predict Functional and Clinical Outcomes in Supramalleolar Osteotomy Patients. *J Orthop Res.* 2018;36(7):2015-21

[22] Najefi AA, Buraimoh O, Blackwell J, Bing A, Varrall R, Townshend D. Should the Tibiotalar Angle Be Measured Using an AP or Mortise Radiograph? Does It Matter? *J Foot Ankle Surg.* 2019;58(5):930-2.

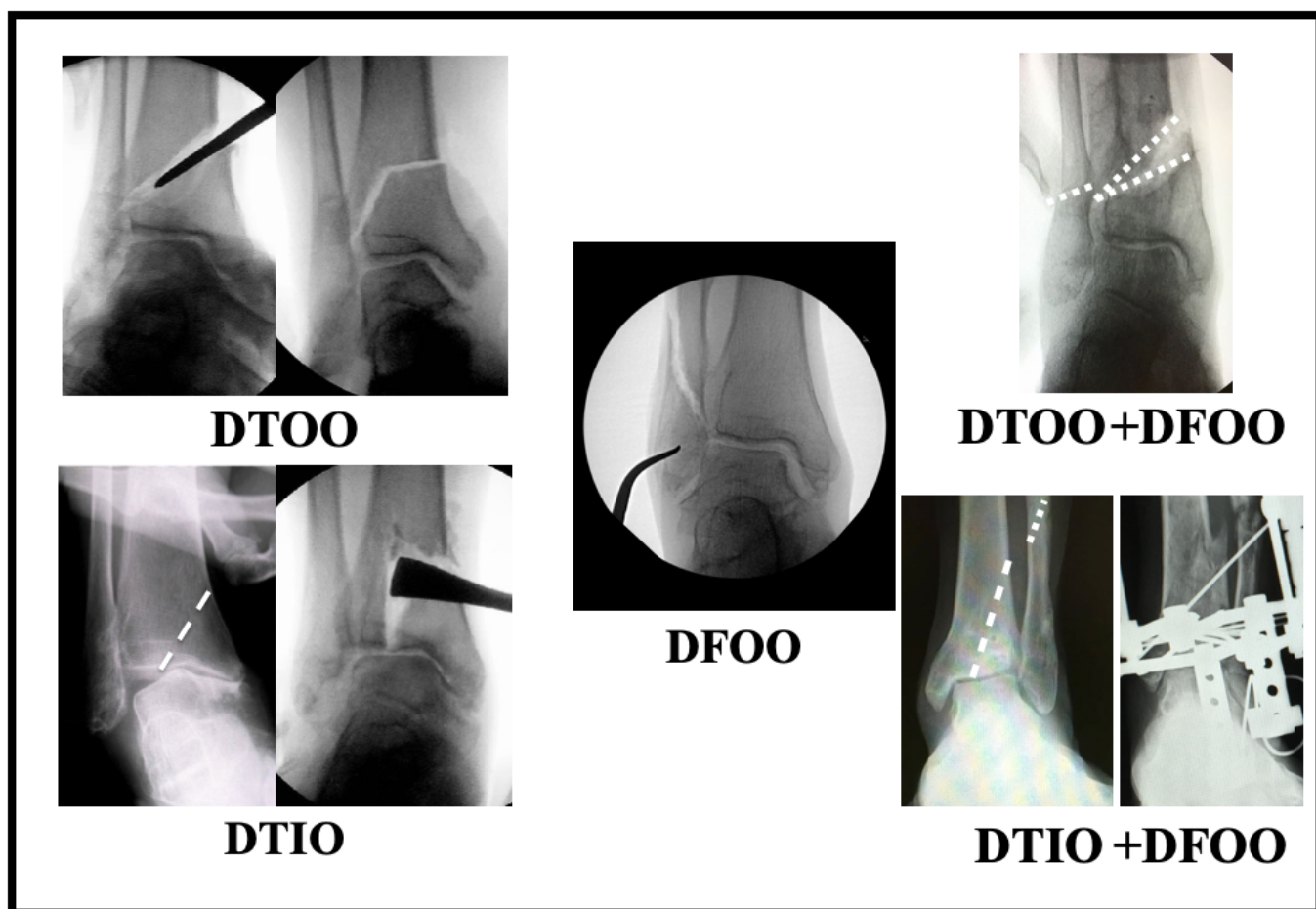
[23] Krahenbuhl N, Horn-Lang T, Hintermann B, Knupp M. The subtalar joint: A complex mechanism. *EFORT Open Rev.* 2017;2(7):309-16.

[24] Rodriguez-Merchan EC. Joint Distraction in Advanced Osteoarthritis of the Ankle. *Arch Bone Jt Surg.* 2017 ;5(4):208-12. Review.

[25] Gramlich Y, Neun O, Klug A, Buckup J, Stein T, Neumann A, Total ankle replacement leads to high revision rates in post-traumatic end-stage arthrosis. *Int Orthop.* 2018;42(10):2375-81.

- [26] Tanaka Y, Takakura Y, Hayashi K, Taniguchi A, Kumai T, Sugimoto K. Low tibial osteotomy for varus-type osteoarthritis of the ankle. *J Bone Joint Surg Br.* 2006 Jul;88(7):909-13.
- [27] Takakura Y, Takaoka T, Tanaka Y, Yajima H, Tamai S. Results of opening-wedge osteotomy for the treatment of a post-traumatic varus deformity of the ankle. *J Bone Joint Surg [Am]* 1998;80-A:213-8.
- [28] Watanabe Y, Takenaka N, Kinugasa K, Matsushita T, Teramoto T. Intra-and Extra-Articular Deformity of Lower Limb: Tibial Condylar Valgus Osteotomy(TCVO) and Distal Tibial Oblique Osteotomy(DTOO) for Reconstruction of Joint Congruency. *Adv Orthop.* 2019; Article ID 8605674, 9 pages.
- [29] Ahn TK, Yi Y, Cho JH, Lee WC. A cohort study of patients undergoing distal tibial osteotomy without fibular osteotomy for medial ankle arthritis with mortise widening. *J Bone Joint Surg Am.* 2015 Mar 4;97(5):381-8.

図 1：各関節内骨切り術の骨切り部位



遠位脛骨斜め骨切り術 DTOO: Distal Tibial Oblique Osteotomy

遠位脛骨関節内骨切り術 DTIO: Distal Tibial Intra-articular Osteotomy

遠位腓骨斜め骨切り術 DFOO: Distal Fibular Oblique Osteotomy

左上：DTOO は遠位脛骨内側から遠位脛腓関節の中心に及ぶ斜め直線上もしくはL字型の骨切りを行う。

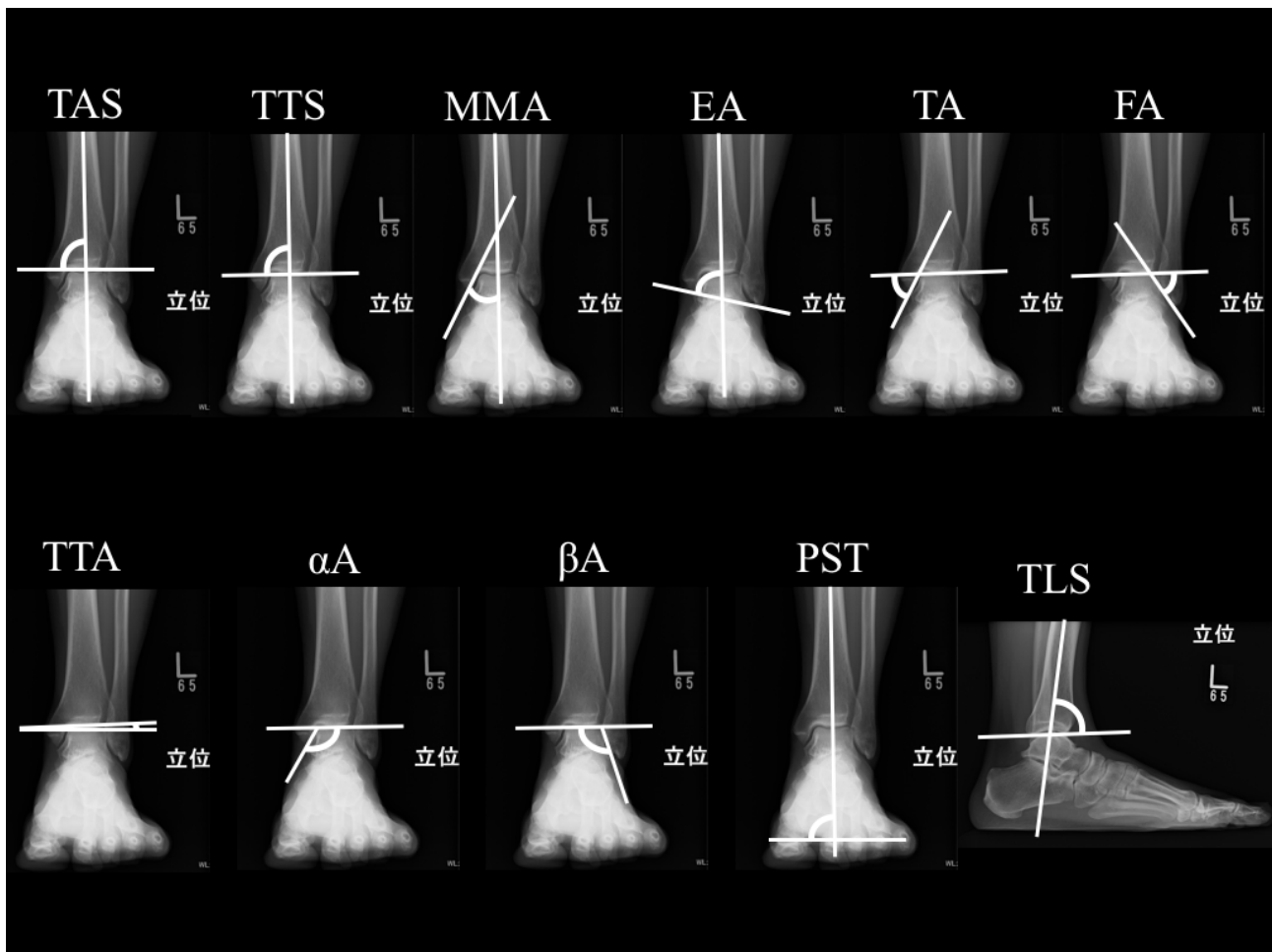
左下：DTIO は遠位脛骨内側から脛骨天蓋関節面に及ぶ斜め直線上もしくはL字型の骨切りを行う。

中央：DFOO は腓骨遠位部から遠位脛腓関節に向かう斜め骨切りを行う。

右上：DTOO と DFOO の併用症例を示す。

右下：DTIO と DFOO の併用症例を示す。DTIO には内側 DTIO(M-DTIO：Medial-DTIO)と外側 DTIO(L-DTIO：Lateral-DTIO)がある。左下に示した図は M-DTIO で、骨切り線は脛骨遠位内側から脛骨天蓋関節面に及ぶ。一方、ここに示したのは L-DTIO で骨切り線は脛骨遠位外側から脛骨天蓋関節面に及ぶ。

図 2：立位足関節 X 線写真における X 線学的評価項目一覧



正面天蓋角 **TAS** (Tibial ankle surface angle): 脛骨遠位 1/3 の骨軸と脛骨天蓋関節面に引いた線との角

脛骨距骨上縁角 **TTS** (Tibiotalar surface angle): 脛骨遠位 1/3 の骨軸と距骨滑車上縁の接線とのなす角

内果傾斜角 **MMA** (Medial malleolar angle): 脛骨遠位 1/3 の骨軸と内果関節面の接線とのなす角

果間角 **EA** (Empirical axis): 脛骨遠位 1/3 の骨軸と内果と外果の先端を結ぶ線がなす角

脛骨角 **TA** (Tibial angle): 距骨滑車上縁の接線と内果関節面の接線がなす角

腓骨角 **FA** (Fibular angle): 距骨滑車上縁の接線と外果関節面の接線がなす角

距骨傾斜角 **TTA** (Talar tilt angle): 脛骨天蓋関節面に引いた線と距骨滑車上縁の接線がなす角

α 角 **αA** (α -angle): 距骨滑車上縁の接線と距骨の内側関節面の接線とのなす角

β 角 **βA** (β -angle): 距骨滑車上縁の接線と距骨の外側関節面の接線とのなす角

足底脛骨角 **PST** (Plantar surface tibial angle): 脛骨遠位端 1/3 の骨軸と足底面に沿った線とのなす角

側面天蓋角 **TLS** (Tibial lateral surface angle): 脛骨遠位 1/3 の骨軸と脛骨天蓋の前縁と後縁を結ぶ線とのなす角

図 3：症例 1



左上：術前の立位足関節正面 X 線写真

左下：術前の立位足関節側面 X 線写真

脛骨は変形癒合しており、荷重時に距骨は内反、正面像、側面等ともに関節裂隙はほぼ消失しているが、足関節可動域は残存していた。

中央上段：骨切り線は遠位脛骨内果の約 5cm 近位から遠位脛腓関節のやや近位部までとし、骨切りした脛骨を LCP で固定する予定であったため、遠位骨片内側が突出しないように L 字型の骨切りを施した。

中央中段：脛骨骨切り部の間隙をラミナースプレッダーで広げたが、この時点ではまだ距骨は内反位で、内返し外返しストレステストでは不安定性が残っていた。

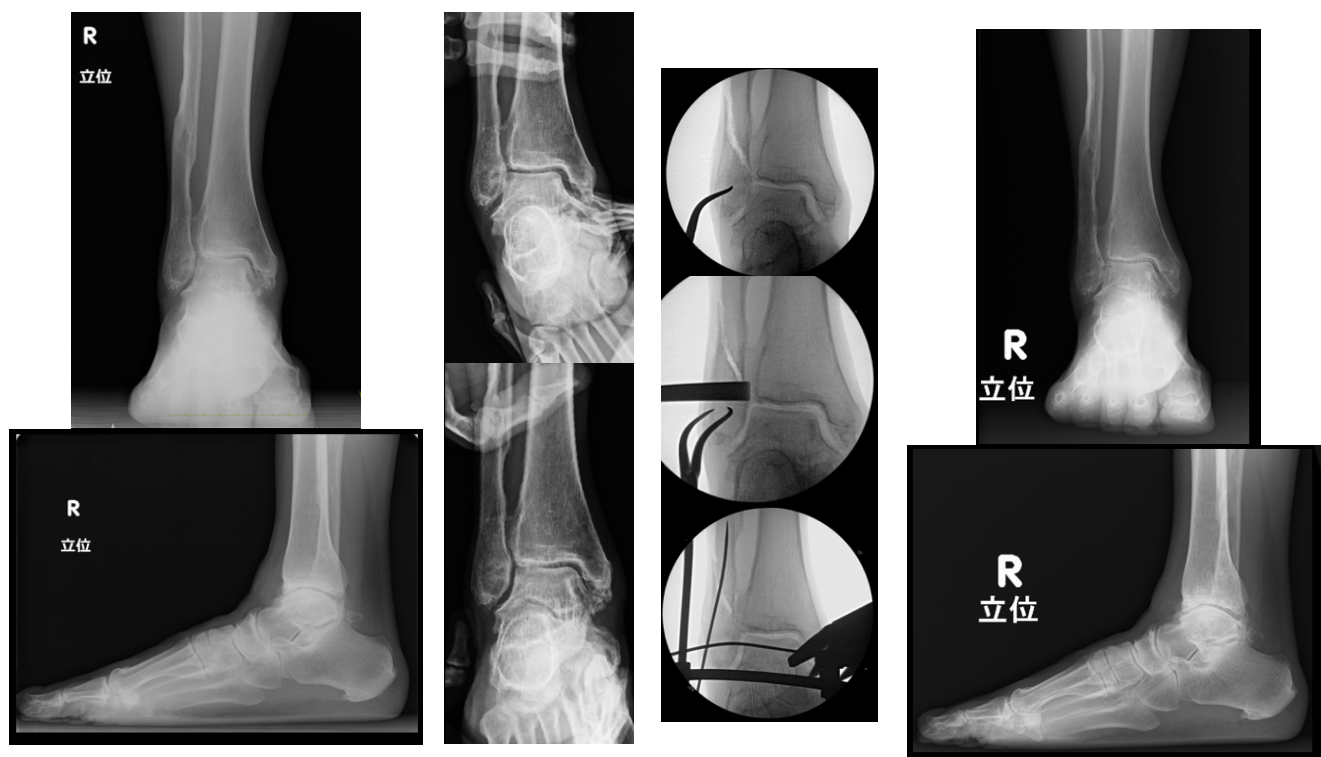
中央下段：遠位脛腓関節を K-wire で仮固定し、骨切り部の間隙をラミナースプレッダーで開大した。仮固定により遠位脛腓関節を支点とした矯正が可能となり、距骨の偏位が改善された。内返し外返しストレステストで関節の安定性が改善した。

右上：抜釘後の立位足関節正面 X 線写真

右下：抜釘後の立位足関節側面 X 線写真

距骨の内反は改善された。関節裂隙の狭小化はあるが、関節の適合性は改善されている。術後足関節可動域は背屈、底屈ともに術前と同等であった。

図 4：症例 2



左上：術前立位足関節正面単純X線写真

左下：術前立位足関節側面単純X線写真

腓骨は脛腓間の近位で変形癒合していることがわかる。立位荷重時に距骨はわずかに外反し距腿関節外側関節裂隙は狭小化している。

左中上：術前足関節内反内旋ストレス時正面単純X線写真

左中下：術前足関節外反外旋ストレス時正面単純X線写真

内反ストレスをかけることで脛骨と距骨の適合性が改善し、外反外旋させることで腓骨内側関節面と距骨外側関節面の適合性が改善している。

右中上：DFOOの骨切りラインを示す。腓骨遠位部を内反内旋させるように矯正すること

を見通して、骨切り部の接触を増やす目的と、腓骨を下方に牽引して延長する際に脛腓間の剥離が必要になることが予想されたためこのような骨切りラインに設定した。

右中中央：腓骨が引き下がるようにノミで前脛腓間を剥離しているところ。

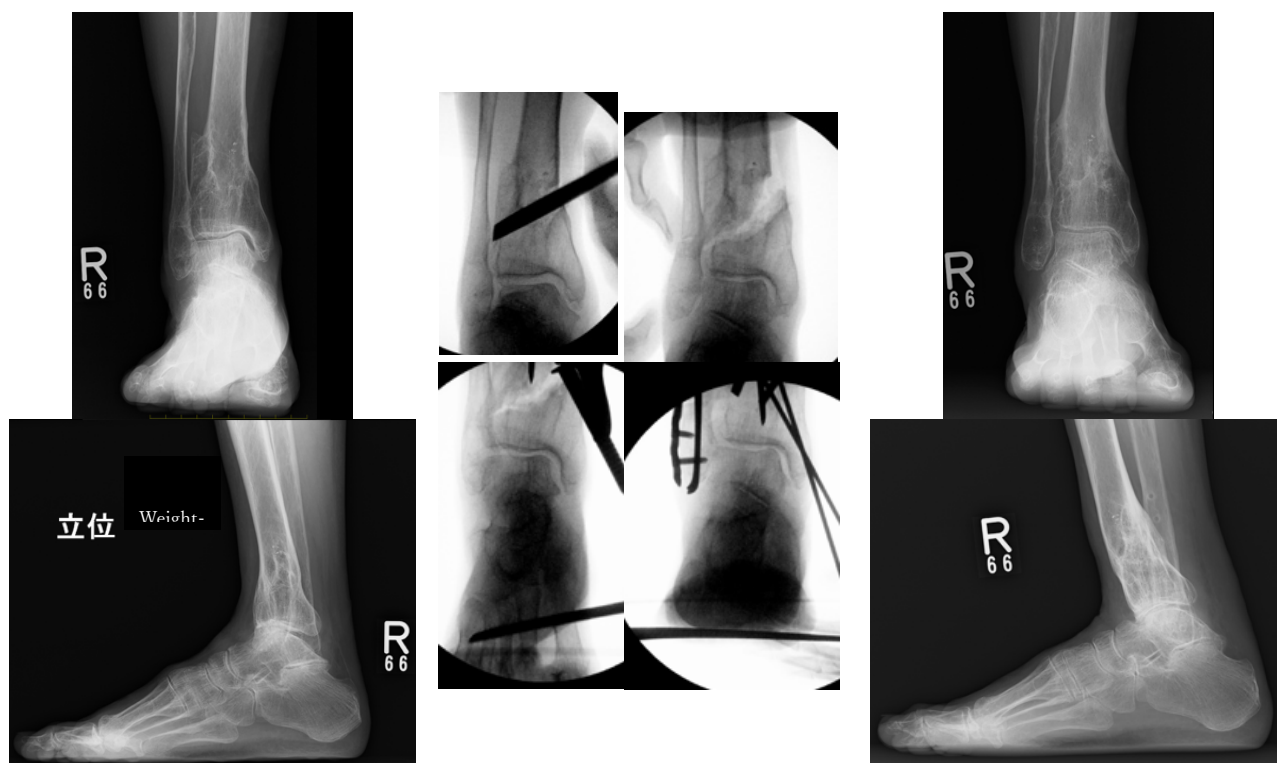
右中下：Kirschner鋼線を腓骨遠位に刺入して、イリザロフ創外固定器を用いて下方に牽引しつつやや内反内旋させた状態で仮固定しているところ。仮固定後、透視下に動的安定性が得られていることを確認した。

右上：抜釘術後立位足関節正面単純X線写真

右下：抜釘術後立位足関節側面単純X線写真

術前と比較すると距骨はやや内反し脛骨天蓋関節面と距骨上縁はほぼ平行となった。

図 5：症例 3



左上：術前立位足関節正面単純X線写真

左下：術前立位足関節側面単純X線写真

脛骨遠位部骨折の変形癒合後で距骨は脛骨軸に対して内反、側面では脛骨前方の被覆が浅く距骨は前方亜脱臼している。

左中上：内果から近位に約5cmの部位から脛腓間やや近位に向かうDTOOの骨切りラインを示す。

左中下：DTOO後スプレッダーで開大した状態。脛骨長軸に対して足底面は内反している。

右中上：DTOO後、腓骨遠位で骨切りを追加して徒手的に外反させている状態。脛骨長軸

と距骨はほぼ垂直になった。

右中下：D TOO+D FOO後仮固定した状態では脛骨長軸と足底面はほぼ垂直となった。

右上：抜釘術後立位足関節正面単純X線写真

右下：抜釘術後立位足関節側面単純X線写真

術前と比較して距骨は脛骨長軸に対してほぼ垂直となり距腿関節の適合性は改善している。側面では脛骨天蓋の前方が被覆され、距骨の前方亜脱臼が改善した。本症例ではD TOO 後アキレス腱の緊張により尖足となったためアキレス腱のZ 延長を行った。そのため距腿関節はやや過背屈な印象はあるが日常生活に支障はない。

図 6：症例 4



左上：術前立位足関節正面単純X線写真

左下：術前立位足関節側面単純X線写真

距骨が極度に内反し脛骨天蓋関節面内側は大きく摩耗している。側面像では距腿関節裂隙はほぼ消失しているように見える。

左中上下：初回手術時術中透視画像

DTIOの骨切り線を示す。骨切り矯正後の内側への骨片の突出を抑えるために上記のような骨切りラインに設定した。

中央上：初回手術抜釘後立位足関節正面単純X線写真

中央下：初回手術抜釘後立位足関節側面単純X線写真

術前と比較し改善はしたものの、立位荷重時の軽度の距骨内反が残存した。術前と比較し側面像での距腿関節裂隙は明瞭になった。

右中上下：再手術時術中透視画像

わずかに残存した関節内の不安定性を改善させるためにまずDTOOを行い、さらに全体のアライメントを整えるために腓骨で外反骨切りを行い、リング型創外固定器とKirschner鋼線で固定し、腸骨から海綿骨移植を行なった。

右上：再手術抜釘後立位足関節正面単純X線写真

右下：再手術抜釘後立位足関節側面単純X線写真

距骨の内反は改善し足底接地可能で術前とほぼ同等の可動域は維持されている。

図 7：症例 5



左上：術前の立位足関節正面 X 線写真

左下：術前の立位足関節側面 X 線写真

遠位脛腓間は骨癒合し、正面、側面ともに天蓋と距骨間の関節裂隙はほぼ消失しているが、足関節可動域は背屈 5 度、底屈 25 度であった。また重度扁平足を認める。

中央：術中透視画像

骨切り線は遠位脛骨内果の約 5cm 近位から遠位脛腓関節の中央付近までとし、癒合していた遠位脛腓間も骨切りしてラミナスプレッダーで開大し、Kirschner 鋼線で仮固定した。

右上：術後 6 ヶ月の立位足関節正面 X 線写真

右下：術後 6 ヶ月の立位足関節側面 X 線写真

内反していた距骨が外反方向に矯正され、関節裂隙の狭小化はあるものの関節の適合性は改善された。扁平足に対して踵骨の骨切り術を追加したが、抜釘時に足根骨の骨切り術を追加施行予定である。

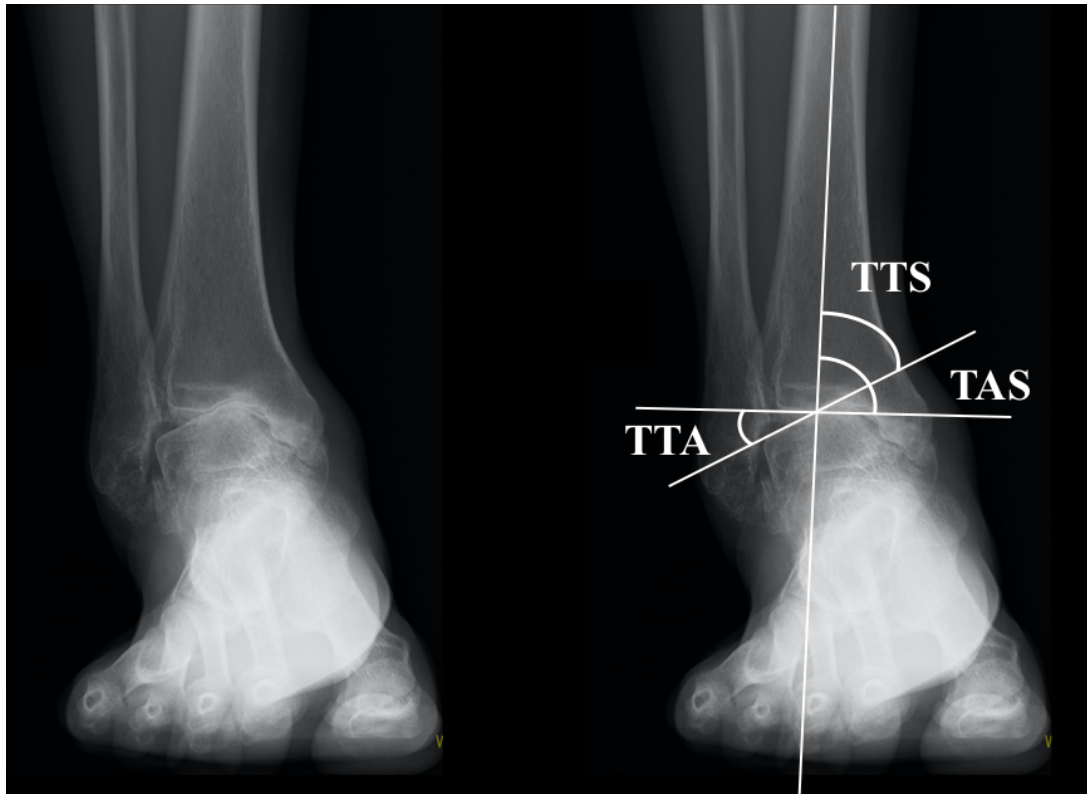
図 8 : DTOO 前後の足部肢位



左 : DTOO術前の足部(膝蓋骨正面位)

右 : DTOO 施行後の足部(膝蓋骨正面位)

図9: 症例4(表1. 8番) 術前立位足関節正面単純X線写真



距骨が内反し脛骨天蓋関節面内側に陥没した変形を認める。このように脛骨天蓋関節面の陥没が著しい症例の天蓋関節面は外側に設定、すなわち右図のようにTAS、TTS、TTAを設定した。

表 1: 患者背景

番号	年齢	性別	左右	原因外傷	受傷からの 期間(月)	手術 歴	感染 歴	内反/外反	アキレス腱 延長	骨棘切除	経過観察 期間(月)	手術方法	固定方法
1	57	女	左	足関節果部 骨折	96	2	-	外反	-	-	25	L-DTIO+DFOO	CEF
2	37	男	左	脛骨天蓋 骨折	13	3	+	内反	+	-	19	DTOO	CEF
3	62	男	右	足関節果部 骨折	528	0	-	内反	+	+	50	DTOO	CEF
4	30	男	右	足関節果部 骨折	17	2	-	内反	-	-	62	M-DTIO+DFOO	LCP+KW
5	22	男	左	足関節果部 骨折	8	1	-	外反	-	-	50	DFOO	CEF
6	37	男	左	脛骨天蓋 骨折(開放)	29	7	+	内反	+	-	56	DTOO	CEF
7	28	女	左	足関節果部 骨折	120	2	-	外反	-	-	37	L-DTIO+DFOO	CEF
8 [#]	49	男	右	頻回の捻挫	408	0	-	内反	+	+	50	M-DTIO →DTOO+DFOO	CEF
9	14	男	左	遠位脛骨腓骨 骨端線損傷	65	3	+	外反	-	-	32	L-DTIO+DFOO	Screw+KW
10	50	女	右	頻回の捻挫	420	0	-	内反	+	+	26	DTOO	CEF
11	57	女	右	脛骨腓骨 遠位部骨折	336	2	-	内反	+	-	22	DTOO+DFOO	CEF

番号	年齢	性別	左右	原因外傷	受傷からの 期間(月)	手術 歴	感染 歴	内反/外反	アキレス腱 延長	骨棘切除	経過観察 期間(月)	手術方法	固定方法
12	34	男	右	頻回の捻挫	240	0	-	内反	+	+	26	DTOO	CEF
13	71	女	右	足関節果部 骨折	24	0	-	内反	-	-	62	DTOO	CEF
14	63	女	右	足関節果部 骨折	180	2	-	外反	-	+	30	DFOO	LCP
15	87	男	右	脛骨腓骨 遠位部骨折	600	0	-	内反	+	-	25	DTOO	LCP
16 [#]	52	男	右	足関節果部 骨折	372	0	-	内反	-	-	121	DTOO → LTO	CEF
17	55	男	右	足関節果部 骨折	420	0	-	内反	-	+	43	DTOO+DFOO	CEF
18	40	男	左	脛骨天蓋骨折	48	2	-	内反	+	+	38	DTOO	LCP
19	75	女	右	足関節果部 骨折	420	0	-	内反	+	+	26	DTOO	CEF
20	49	女	右	脛骨腓骨 遠位部骨折	240	2	-	内反	+	+	44	DTOO	CEF
21	64	男	右	足関節果部 骨折	540	0	-	外反	-	-	6	DTOO	LCP
22	71	男	右	足関節果部 骨折	180	0	-	内反	+	-	12	DTOO	LCP
23	65	女	右	足関節果部 骨折	252	1	-	内反	-	+	6	DTOO	LCP

DFOO: Distal fibular oblique osteotomy
DTOO: Distal tibial oblique osteotomy
DTIO: Distal tibial intra-articular osteotomy
M-DTIO: Medial DTIO
L-DTIO: Lateral DTIO
LTO: Low tibial osteotomy
CEF: Circular external fixator
LCP: Locking compression plate
KW: Kirschner wire
Second-stage operation was performed.

表 2：術前後の JSSF scale と X 線学的評価項目

	術前	術後	P 値
JSSF scale	50.3±10.5	87.5±8.9	0.00000287
TAS	85.3±9.7	90.8±6.5	0.0106
TTS	79.8±13.4	90.3±5.6	0.000894
MMA	34.3±14.4	27.3±6.6	0.0052
EA	75.9±7.6	84.9±5.3	0.00049
TA	64.4±13.8	63.4±7.9	0.807
FA	53.0±9.9	60.4±7.9	0.0000784
TTA	6.2±8.4	1.8±2.1	0.0269
α A	117.0±11.9	117.4±7.8	0.477
β A	104.7±8.4	104.3±7.2	0.889
PST	87.4±4.7	88.6±2.8	0.162
TLS	80.7 ±7.4	84.8±7.7	0.0206

JSSF scale: Japanese Society for Surgery of the Foot ankle/hindfoot scale

TAS: Tibial ankle surface angle

TTS: Tibiotalar surface angle

MMA: Medial malleolar angle

EA: Empirical axis

TA: Tibial angle

FA: Fibular angle

TTA: Talar tilt angle

α A: α -angle

β A: β -angle

PST: Planter surface tibial angle

TLS: Tibial lateral surface angle