

膝周囲骨切り術後に 片脚着地動作が可能となった患者 2 名の 片脚着地動作時の特徴

Physical characteristics of Two Patients who acquired the ability to land
on a single leg after around-the-knee osteotomy

岩根弘人^{*1}, 大路駿介^{*2}, 東山学史^{*1}, 酒井宏介^{*1}
河合 暁^{*3}, 井石智也^{*3}, 中山 寛^{*3}

キー・ワード : Osteoarthritis of the knee, Around the knee osteotomy, Single-leg landing maneuver
変形性膝関節症, 膝周囲骨切り術, 片脚着地動作

〔要旨〕 球技スポーツでは片脚での着地動作が必要であるが、膝周囲骨切り術（AKO）後患者における片脚着地再獲得の可否やその身体機能因子は不明である。今回我々は AKO 後 6 ヶ月で症状なく片脚着地動作が可能となり、サッカーとバレーボールに復帰した 2 症例のジャンプ着地キネマティクスと身体機能特徴を検討したので提示する。1 症例目は高位脛骨骨切り術を受けた 39 歳男性、2 症例目は脛骨粗面下骨切り術を受けた 56 歳女性。術前は疼痛により片脚着地動作が困難であった。術後 6 ヶ月での片脚着地動作が可能となり、前額面評価において非術側と比べて術側の膝が外反位で着地していた。また、股関節、膝関節、足関節の等尺性筋力を評価において、limb symmetry index は 89, 118% であった。膝周囲骨切り後に片脚着地を再獲得できる症例があり、手術によるアライメント矯正および、良好な下肢筋力により片脚着地を再獲得できた可能性がある。

1. はじめに

膝周囲骨切り術（Around the knee osteotomy : AKO）はスポーツ復帰を目指す活動性の高い変形性膝関節症（以下、膝 OA）患者に対する手術療法の 1 つである。関節を温存することによって術後に活動性の高いスポーツ活動を行うことが可能であり、スポーツ復帰率は 82% と報告されている¹⁾。一方、球技などの活動性の高いスポーツへの復帰率は低下すると報告されている¹⁾。片脚着地動作の獲得はスポーツ復帰を許可する際に用いられる動

作項目であるが、過去の報告において AKO 後患者の片脚着地動作に関する報告はない。

我々は、術前は膝痛により片脚着地が困難だったが、AKO 後に疼痛なく片脚着地動作を再獲得し、球技スポーツに復帰した症例について、着地動作中のキネマティクス評価を含めて報告する。

2. 症例

当院で AKO を受けた 2 名である。症例 1 は 39 歳男性（180cm, 70kg）、術前 Tegner Activity Score（以下、TAS）7、Kellgren-Lawrence（以下、K-L）分類 3 であった。術式は高位脛骨骨切り術（open wedge high tibial osteotomy : 以下、OWHTO）、mechanical axis（以下 %MA）：術前 24.7% であった。スポーツ復帰を希望しており、競技はサッカー、外傷や手術の既往はなかった。

手術所見：全身麻酔下、仰臥位にて手術を開始

*1 大阪回生病院リハビリテーションセンター

*2 順天堂大学保健医療学部

*3 兵庫医科大学整形外科教室

Corresponding author : 岩根弘人 (hiroron19970408@gmail.com)

した。関節鏡所見で内側大腿顆 (medial femoral condyle : 以下, MFC) には, 術前 MRI 所見と一致する部位に軟骨軟化および裂隙があった, プロービングにより軟化を確認したため, 1.5mm K-wire を用いて8か所のドリリングを施行した。軟骨損傷の程度は International Cartilage Repair Society (以下, ICRS) グレード II であった。内側脛骨顆 (medial tibial condyle : 以下, MTC) も ICRS グレード II の軟骨変性があった。内側半月板中節に小範囲のささくれ状断裂があった, シェーバーを用いて部分切除を行った。外側大腿顆および外側脛骨顆はいずれも ICRS グレード II であった。前十字靱帯は連続性を保たれていた。膝蓋大腿関節では滑車部に ICRS グレード II の軟骨変性があった。関節面より約2横指遠位から約6cmの斜皮切を加え, 鵞足部をコの字状に切離 (骨切り後に修復) し, 内側側副靱帯を剥離した。骨切りを行い, 8mmの開大を行った。イメージ透視下で下肢アライメントを確認し, 術後%MAは55%とした。固定にはプレートを用いた。

症例2は56歳女性 (156cm, 56kg), 術前 TAS 7, K-L 分類2であった。術式は脛骨粗面下骨切り術 (open wedge distal tuberosity tibial osteotomy : 以下, OWDTO) と内側半月板の centralization, %MA : 術前 33.3%, スポーツ復帰を希望しており, 競技はバレーボール, 外傷や手術の既往はなかった。

手術所見 : 全身麻酔下, 仰臥位にて手術を開始し, 関節鏡所見で内側半月板に変性およびフラップ状断裂があったため, 切除した。MFC, MTC には ICRS グレード IV の高度軟骨欠損があった。前十字靱帯は連続性を保たれていたが, 脛骨付着部に骨棘形成があったため, 切除した。膝蓋大腿関節では滑車部および膝蓋関節面ともに ICRS グレード IV の高度軟骨変性があった。内側大腿顆の骨棘に対してはシェーバーを用いて切除を行った。内側 meniscotibial ligament を剥離し, 同部位の骨棘の切除, 新鮮化を行った。その後, 内側に2つのアンカー用ポータルを作成し, アンカー2本を用いて centralization を行った。続いて脛骨粗面下骨切り術を施行し, 6mmの開大を行い, 術後%MAは55%とした。固定にはプレートを使用し, 前後方向はスクリューにて固定した。各症例のレントゲン所見を図1に示す。

術後後療法について, 2症例ともに荷重は術後

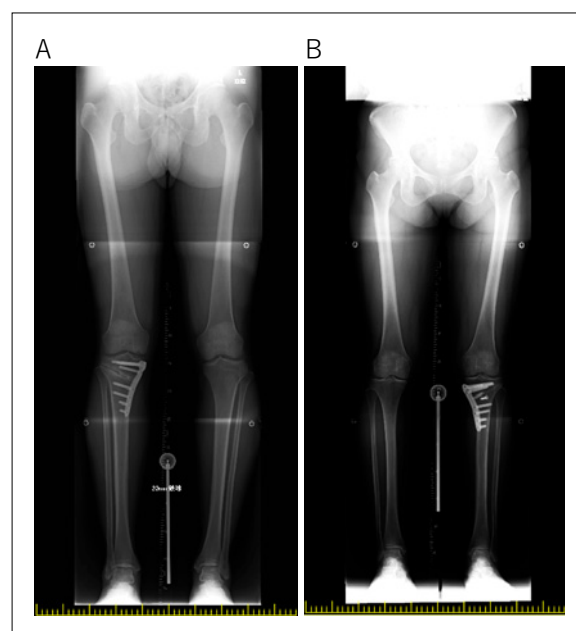


図1 レントゲン画像 (右/左)

A : 症例① K/L grade : 3/2, FTA : 171.1°/179.1°, m MPTA : 88.5/84.0, m LDFA : 88.2/86.2, JLCA : 0.8/1.8, %MA : 55.0/25.3

B : 症例② K/L grade : 2/2, FTA : 179.1°/171.7°, m MPTA : 86.6/88.5, m LDFA : 86.4/88.1, JLCA : 2.2/0.9, %MA : 34.3/55.0

- ・K/L grade (Kellgren-Lawrence 分類)
- ・mMPTA (mechanical medial proximal tibial angle)
- ・mLDFA (mechanical lateral distal femoral angle)
- ・JLCA (joint line convergence angle)
- ・%MA (mechanical axis)

2週間非荷重, 6週目以降は全荷重とした。関節可動域訓練では, 伸展制限なし, 屈曲は術後から30°まで実施し, 段階的に4週目から120°とした。筋力増強訓練は, 12週目からスクワットなどの荷重訓練を開始した。ジョギングは症例1, 2で16週目, 12週目から開始した。着地動作は症例1, 2ともに20週目から開始した。いずれも担当医師の診断のもとで調整した。両症例とも術後6ヶ月で術前と同レベルのスポーツ復帰可能となった。症状や画像所見の悪化はなかった。

片脚着地動作の計測方法は両症例ともに疼痛なく20cm台からの片脚着地が可能となったため, 計測課題を試行した。先行研究を参考に計測には高さ20cmの台を用い, 台の前縁から30cm前方に着地位置を設定した。測定脚で台上に立ち, 上肢運動の影響を避けるため両腕を前胸部で組ませた。ジャンプは最小限にし, 着地するように指示

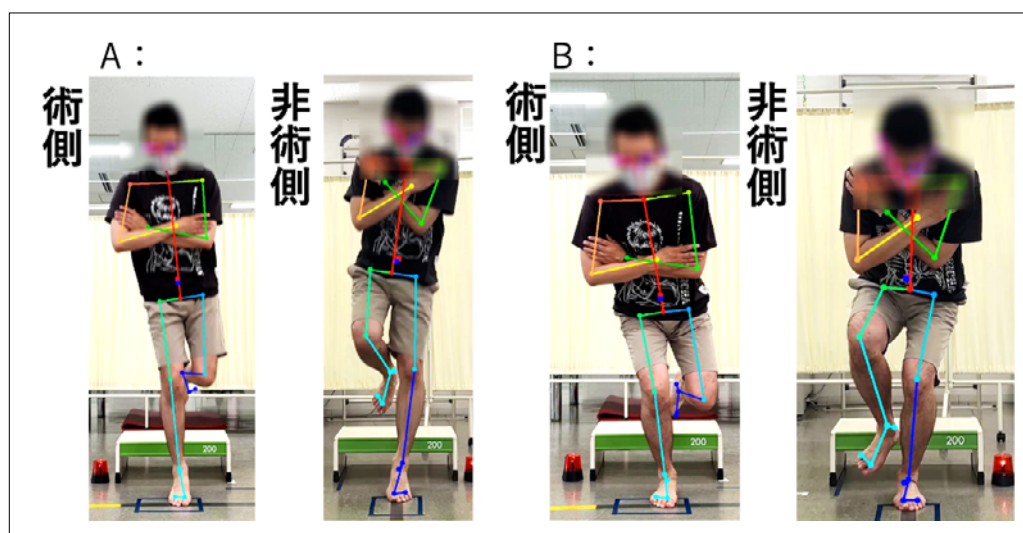


図2 症例①片脚着地動作

A：つま先接地時（術側・非術側）

B：最大内外反時（術側・非術側）

した。着地姿勢は任意とした。課題の説明はデモンストレーションと口頭で行い、各脚で3回練習した。非術側と術側で各3回測定し、成功動作を測定した。成功試技は着地後2秒間静止できた試技とし、失敗試技は反対側の下肢がついた、体幹が大きく回旋した、足底が離れた動作とした。課題は裸足で行わせた。

測定機器は、iPhone15(Apple 社製)を用いて、フレームレート 120fps で撮影した。iPhone は前額面に三脚を用いて設置した。位置は着地点より 2.5m 離れた位置とし、三脚の高さは 75cm に設定した。動作解析ソフト(HUSMotionAnalyzer, 北海道科学大学²⁾)を用いて、片脚着地中のつま先接地時、最大膝内外反時、つま先接地から最大膝内外反時の変化量(+:膝外反)を算出した。なお本法の妥当性、再現性については井野ら²⁾により三次元動作解析装置 VICON との比較検証が報告されており、ジャンプ着地時における膝関節外反角度の妥当性は平均絶対誤差で 3.2 度(95% 信頼区間: 2.1-4.4 度)、再テスト再現性(級内相関係数 ICC 1.3)は 0.93(95% 信頼区間: 0.86-0.97)であった。

筋力評価は膝関節伸展・屈曲、股関節伸展・外転・内転、足関節底屈の等尺性トルクを徒手筋力計(酒井医療株式会社 Hand Held Dynamometer mobieZII)を用いて測定した。測定は専用のベルトでベッドまたは動揺性がない物に固定して実施した。膝関節伸展と屈曲の測定肢位は端座位とし、

伸展は膝関節屈曲 60°, 屈曲は膝関節屈曲 80° で測定した。ベルト固定位置は下腿遠位とした。股関節伸展・外転・内転は腹臥位で測定し、伸展は股関節屈曲伸展中間で膝関節屈曲 90°, 外転・内転は股関節外内転中間位で実施した。ベルト固定位置は大腿遠位とした。足関節底屈は仰臥位で測定し、足関節底背屈中間位で実施した。ベルト固定は第 1~5 趾の中足骨頭とした。全測定は 3 秒間の最大等尺性筋力(N)を体重(kg)で除し、2 回の最大値を計測。得られたトルク値から limb symmetry index((術側/非術側)×100%)を算出した³⁾。

また、患者立脚型アウトカムとして Knee injury Osteoarthritis Outcome Score(以下、KOOS)を評価した。

本研究は大阪回生病院倫理委員会の承認(倫理番号: 24-08 号)受け、対象者へ口頭、書面で説明を行い、書面同意を得た。

片脚着地動作に関する症例 1, 2 の結果は図 2~4 と表 1~4 に示す。動作解析では、症例①において、つま先接地時(術側/非術側): 5.4°/-4.5°, 最大内外反時: 18.8°/2.0°, 変化量: 13.4°/6.5°であった。症例②では、つま先接地: 5.2°/-3.3°, 最大内外反時: 16.3°/2.3°, 変化量: 11.1°/5.6°であった。

3. 考察

今回の 2 症例が疼痛なく片脚着地を獲得できた要因として以下の 2 つが挙げられる。1 つ目は AKO による下肢アライメントの矯正により膝関

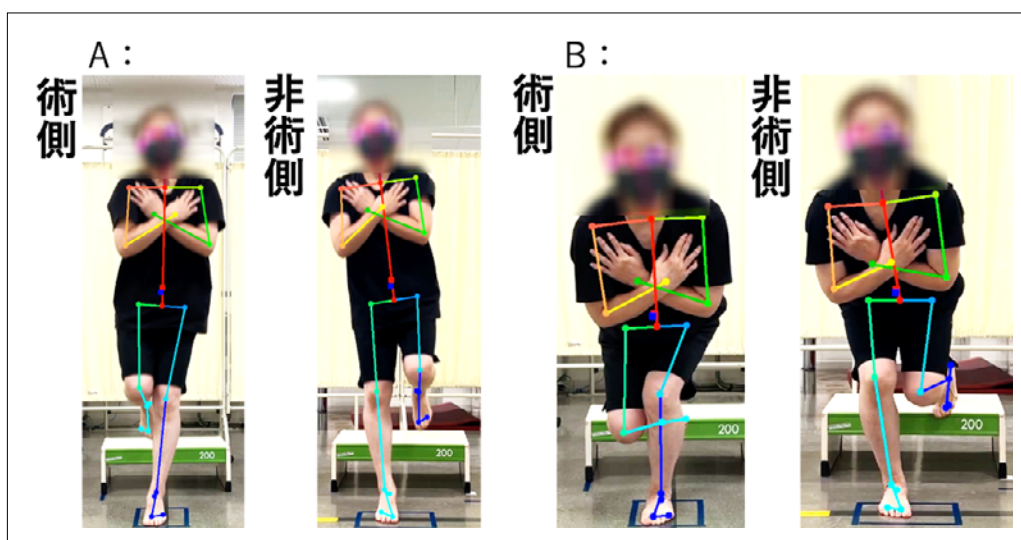


図3 症例②片脚着地動作
A：つま先接地時（術側・非術側）
B：最大内外反時（術側・非術側）

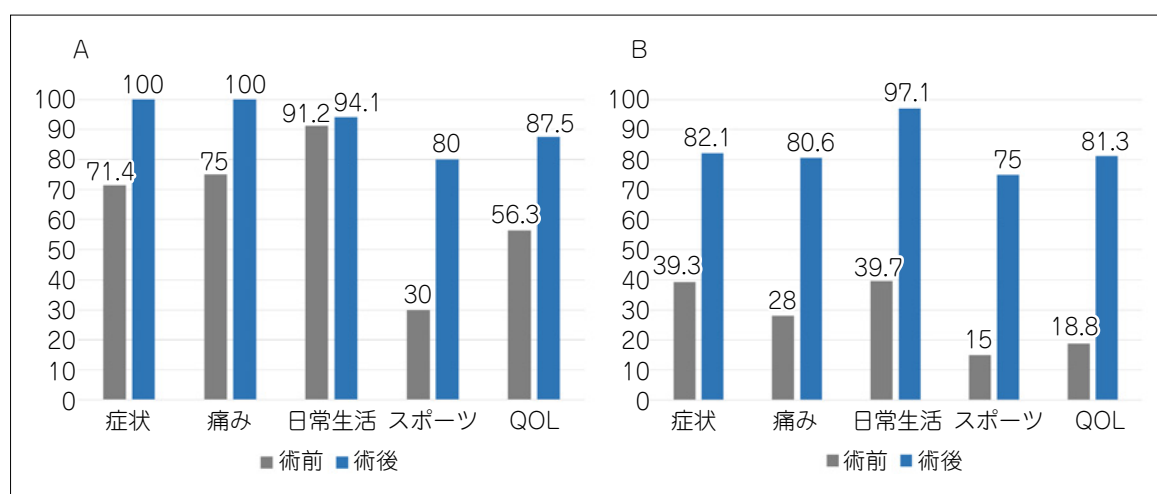


図4 A：症例①術後6ヶ月時点のKOOS
B：症例②術後6ヶ月時点のKOOS

表1 症例①術側と非術側の比較（+：外反）

	つま先 接地時	最大 内外反時	変化量
術側	5.4°	18.8°	13.4°
非術側	-4.5°	2.0°	6.5°

表2 症例①術後6ヶ月時点の筋力

部位	方向	術側	非術側	LSI
膝関節	伸展	5.85	5.72	102%
	屈曲	4.52	4.56	99%
股関節	伸展	4.82	5.20	93%
	外転	3.87	3.28	118%
足関節	内転	4.00	4.55	89%
	底屈	5.03	5.11	98%

節内側のメカニカルストレス減少効果である。OWHTO後に内側コンパートメント圧が低下すると報告している⁴⁾。そのため、膝関節内側のメカニカルストレスが減少し、疼痛なく獲得できた要因と考える。

2つ目は術側の膝伸展筋力改善による着地緩衝

作用である。運動力学的に着地時の足背屈、膝・股屈曲の外部モーメントを制御するためには、足底屈、膝・股伸展の筋活動が必須である。前十字

表3 症例②術側と非術側の比較（+：外反）

	つま先 接地時	最大 内外反時	変化量
術側	5.2°	16.3°	11.1°
非術側	-3.3°	2.3°	5.6°

表4 症例②術後6ヶ月時点の筋力

部位	方向	術側	非術側	LSI
膝関節	伸展	5.42	5.32	102%
	屈曲	3.58	3.80	94%
股関節	伸展	4.16	3.58	116%
	外転	3.76	3.61	104%
	内転	3.50	3.08	113%
足関節	底屈	7.93	7.65	104%

靱帯再建術後患者では、膝伸展筋力の対称性が不良な者（LSI<85%）は、良好な者に比べて片脚着地中の力学的パターンが非対称になると示されている⁵⁾また、スポーツ復帰基準としても膝伸展筋力のLSI90%以上が広く用いられており、動作の安定性や再受傷予防の観点から臨床的に重要な基準とされる。そのため、片脚着地動作獲得にはLSI90%以上が重要な因子であると考えられる。AKO後の下肢筋力と着地緩衝との関連性に関する先行研究はなく、今後の臨床研究においてAKO後の片脚着地再獲得に寄与する因子の検討が必要である。

両症例ともに片脚着地を獲得しているが、キネマティクスでは術側は非術側に対して膝外反を呈していた。健常成人では股関節筋力低下と着地中の膝外反は関連すると示されている⁶⁾。両症例ともに良好な股関節筋力の対称性を獲得しており、筋力による可能性は低い。両症例の術後の静止立位Femorotibial angle（FTA）は、症例①では術側/非術側で171.1°/179.1°、症例②では171.7°/179.1°であった。これらを加味すると、着地中の膝外反は機能的な要因ではなく、AKOに伴う構造変化の結果である可能性が示唆される。しかし健常アスリートにおいて、膝内外反の静的アライメントと着地中の膝外反運動との関連性は弱いことが先行研究で示されている⁷⁾。これは静的-動的アライメントの関係性が健常成人と、人工的に静的アライメントを修正しているAKO患者とでは異なる可能性を示すデータである。着地中の膝外反は前十字靱帯や内側側副靱帯損傷の危険因子であ

る^{8,9)}。外反矯正によって疼痛がなくなったものの、外反によるスポーツ外傷のリスクが懸念される可能性があるため、今後のAKO後に球技種目に参加する患者における着地アライメントとスポーツ外傷発症リスクの長期的な臨床研究が必要である。

先行研究においてAKO後患者が疼痛なく片脚ジャンプ着地を行えるという根拠は示されておらず、本報告ではAKO後の球技スポーツ復帰に関わる貴重なデータを示した。今回の2症例の術前TASは7であり、39歳と56歳である。これは先行研究と乖離していない¹⁰⁾。スポーツ復帰を目指す膝OA患者において、AKOと術後理学療法により片脚着地を獲得できる可能性があり、本症例のデータは一般化できるものであると考える。

本症例報告により、AKO後患者において疼痛なく片脚着地動作を再獲得できる可能性が示された。術後の術側下肢筋力回復が疼痛のない片脚着地に必要な因子である可能性があり、今後の臨床研究の必要性を示した。また膝外反位での着地が長期的な関節機能や新たなスポーツ外傷リスクに与える影響については不明である。今後、疼痛なく片脚着地を獲得するための標準化されたりハビリテーションプログラムの確立と、AKO後の着地動作特性に関するさらなる症例の蓄積が必要である。これらの知見により、AKO後患者のスポーツ復帰に向けた治療指針の構築に寄与することが期待される。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

Hiroto Iwane : Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Project administration, Writing original draft

Shunsuke Ohji : Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Methodology, Resources, Writing review & editing, Supervision

Satoshi Higashiyama : Conceptualization, Data curation, Methodology, Project administration, Writing original draft, Writing review & editing, Supervision

Kosuke Sakai : Conceptualization, Data curation, Writing original draft

Akira Kawai : Resources, Writing review & editing, Supervision

Tomoya Iseki : Writingreview & editing, Supervision
Hiroshi Nakayama : Writingreview & editing, Supervision

文 献

- 1) Hoorntje A, Kuijer P, van Ginneken BT, et al. Prognostic factors for return to sport after high tibial osteotomy: A directed acyclic graph approach. *Am J Sports Med.* 2019; 47: 1854-1862 doi: 10.1177/0363546519849476.
- 2) Ino T, Samukawa M, Ishida T, et al. Validity and reliability of OpenPose-based motion analysis in measuring knee valgus during drop vertical jump test. *J Sports Sci Med.* 2024; 23: 515-525 doi: 10.52082/jssm.2024.515.
- 3) Katoh M, Isozaki K. Reliability of isometric knee extension muscle strength measurements of healthy elderly subjects made with a hand-held dynamometer and a belt. *J Phys Ther Sci.* 2014; 26: 1855-1859 doi: 10.1589/jpts.26.1855.
- 4) Ishii Y, Ishikawa M, Kamei G, et al. Effect of limb alignment correction on medial meniscus extrusion under loading condition in high tibial osteotomy. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol.* 2023; 34: 1-8 doi: 10.1016/j.asmart.2023.100191.
- 5) Schmitt, Laura C, Paterno, Mark V, Ford, Kevin R, et al. Strength asymmetry and landing mechanics at return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 2015; 47: 1426-1434 doi: 10.1249/MSS.0000000000000560.
- 6) Shirasawa H, Ogasawara G, Ueda D. The influence of hip strength on knee kinematics during a single-legged medial drop landing among competitive collegiate basketball players. *Int J Sports Phys Ther.* 2015; 10: 592-601.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4595912/>. Accessed May 12, 2025.
- 7) Sayers, Mark G.L, Buhmann, Robert L, Collings, Tyler J, et al. Does lower extremity alignment during normal stance predict lower limb kinematics and kinetics during drop landings? *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation.* 2023; 15: 1-8 doi: 10.1186/s13102-023-00781-6.
- 8) Olsen O, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: A systematic video analysis. *Am J Sports Med.* 2004; 32: 1002-1012 doi: 10.1177/0363546503261724.
- 9) Buckthorpe M, Pisoni D, Tosarelli F, et al. Three main mechanisms characterize medial collateral ligament injuries in professional male soccer — blow to the knee, contact to the leg or foot, and sliding: Video analysis of 37 consecutive injuries. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2021; 51: 611-618 doi: 10.2519/jospt.2021.10529.
- 10) Kanto R, Nakayama H, Iseki T, et al. Return to sports rate after opening wedge high tibial osteotomy in athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021; 29: 381-388 doi: 10.1007/s00167-020-05967-w.

(受付 : 2025 年 5 月 29 日, 受理 : 2026 年 4 月 17 日)

Physical characteristics of Two Patients who acquired the ability to land on a single leg after around-the-knee osteotomy

Iwane, H.^{*1}, Ohji, S.^{*2}, Higashiyama, S.^{*1}, Sakai, K.^{*1}
Kawai, A.^{*3}, Iseki, T.^{*3}, Nakayama, H.^{*3}

^{*1} Osaka Kaisei Hospital Rehabilitation Center

^{*2} Faculty of Health Science, Juntendo University

^{*3} Hyogo Medical University Dept. of Orthopaedic Surgery

Key words: Osteoarthritis of the knee, Around the knee osteotomy, Single-leg landing maneuver

[Abstract] Landing on one leg is an essential maneuver in many ball sports. However, little is known about the recovery of this ability following around-the-knee osteotomy (AKO). This report details two patients who successfully returned to soccer and volleyball without symptoms six months after AKO: a 39-year-old man following open wedge high tibial osteotomy and a 56-year-old woman following open wedge distal tuberosity tibial osteotomy. Prior to surgery, both patients had difficulty in landing on a single leg due to knee pain. Postoperative frontal plane analysis showed that the affected leg knee joint valgus position upon landing compared to the unaffected leg. Isometric strength testing of the hip, knee, and ankle joints, the limb symmetry index ranged from 89% to 118%. These results suggest that patients with high activity levels may regain the ability to land on one foot after AKO. alignment correction and restoration of muscular strength may contribute to the return of this dynamic function.