
総 説

成人期扁平足のオーダーメイド治療をめざして

城戸 優充, 生駒 和也*, 久保 俊一

京都府立医科大学大学院医学研究科運動器機能再生外科学 (整形外科)

Towards Custom-made Treatment for Adult Acquired Flatfoot Deformity

Masamitsu Kido, Kazuya Ikoma and Toshikazu Kubo

Department of Orthopaedics, Kyoto Prefectural University of Medicine

Graduate School of Medical Science

抄 録

足は多数の骨, 靭帯, 筋腱から構成され, アーチ構造をとる. 成人期扁平足は, 後脛骨筋腱機能不全症によってアーチ構造が破綻して生じることが多い. 成人期扁平足には様々なタイプの変形があり, 診断・治療することが難しい. 重症化すると歩行不能となるため, 早期診断が重要となる.

診断は, 病歴, 身体所見および画像所見 (足底鏡, X線, CT画像, MR画像など) から総合的に行う. 軽症例では, 足底挿板 (インソール) による装具療法が効果的である. 重症例では, 変形の生じている部位によって骨切り術や関節固定術を組み合わせる. しかし手術療法に関して, 統一された基準は確立されていない. 各症例に合わせたオーダーメイド治療を行うことが重要である. 手術シミュレーションの開発が期待される.

キーワード: 成人期扁平足, 荷重, 後脛骨筋腱機能不全症, オーダーメイド治療.

Abstract

A foot consists of numerous bones and soft tissues such as muscles, tendons and ligaments. It forms an arch structure. Adult acquired flatfoot deformity (AAFD) usually occurs, as the arch structure collapses due to posterior tibial tendon dysfunction (PTTD). There are different types of flatfoot deformation, therefore it is difficult to make a precise diagnosis and treatment. Early diagnosis is important because it becomes impossible to walk if it becomes severe. Diagnosis is comprehensively performed from medical history, physical examinations and image findings (pedography, radiography, CT, MRI, etc). In mild cases, conservative treatment using an orthosis (insole) is effective. In severe cases, osteotomy and arthrodesis are commonly combined. Regarding surgical treatment, however, unified standards have not been established. Development of surgical simulation is expected to lead to custom-made treatment for each case.

平成30年7月6日受付 平成30年8月31日受理

*連絡先 生駒和也 〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路上ル梶井町465番地

kazuya@koto.kpu-m.ac.jp

Key Words: Adult acquired flatfoot deformity (AAFD), Loading, Posterior tibial tendon dysfunction (PTTD), Custom-made treatment.

はじめに

足は、直立二足歩行を行うヒトと地球との唯一の接点である。およそ26個の骨、多数の靭帯および筋腱が複雑にアーチ（土ふまず）を構成する。リスフラン関節（足根中足関節）、ショパール関節（横足根関節）を境界に、前足部、中足部、後足部の3つのパートに分けられる（図1）。主として下腿に起始し、足部に停止する外在筋が大きな作用をもつ。中でも下腿三頭筋の作用がもっとも大きく、人体最大の腱であるアキレス腱となって踵骨後方突起に付着する。下腿前面には背屈筋群である前脛骨筋、長母趾伸筋、長趾伸筋、後面には底屈筋群である後脛骨筋、長母趾屈筋、長趾屈筋、外側には長・短腓骨筋腱が走行する。これら外在筋がバランスよく働くことによって、効率的に体重を支える。足部アーチ構造は、荷重によりその立体形状が変化する。したがって正確な臨床評価には、荷重条件が重要になる。

成人期扁平足の病態と診断

扁平足は発症時期によって幼児期扁平足、青年期扁平足、成人期扁平足に分類できる。成人期扁平足（adult acquired flatfoot deformity, AAFD）は足部アーチ低下、前足部外転、後足部外反を特徴とする足部変形である（図2a）。後脛骨筋腱は、脛骨、腓骨、骨間膜後面から起始し、舟状骨結節から楔状骨および中足骨基部にかけて停止する、足部アーチを内側から支える最大の力源である。1989年にJohnsonは、後脛骨筋腱の機能が破綻する後脛骨筋腱機能不全症（posterior tibial tendon dysfunction, PTTD）をAAFDの主な原因と提唱した¹⁾。それ以来、PTTD病期分類では、Johnson分類が今日まで汎用されている。1期は後脛骨筋腱の腱鞘炎のみで変形はなく、2期は徒手的に変形を矯正できる扁平足である。徒手的に変形を矯正できなくなると3期、外反型変形性足関節症をとまなうと4期に分類される。しかし扁平足には様々なタイプの変形があり、近年、前足部変形の状態で2期を

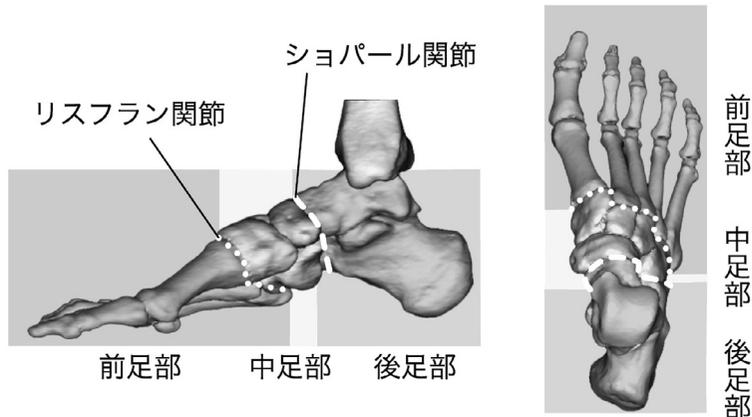


図1 正常足の解剖

リスフラン関節（点線（前方））、ショパール関節（破線（後方））によって前足部、中足部、後足部に分けられる（左：側面像、右：正面像）。



足部アーチ低下

右前足部外転

図2a 成人期扁平足の特徴

足部アーチの低下（左），前足部外転（右），後足部外反（画像なし）を特徴とする足部変形である。右図では，左足に比して右前足部が外転している。

too many toes sign
(右陽性)single heel rise test
(右陽性)

図2b 成人期扁平足の身体所見と診察法

too many toes sign（左）と single heel rise test（右）を特徴とする。左図では，左足に比して右前足部が外転しているため，too many toes signが右足で陽性になっている。右図では，片脚立位で右踵部を挙上できなくなっている。

さらに細かく分類する報告が散見される²⁾。ばね靭帯，三角靭帯を含めた内側複合体の障害や距骨外側突起の形状なども変形に関与すると言われる。われわれは複数の因子が影響していると考えている。変形が重症化すると，アーチ構造が破綻して歩行不能となるため，早期診断が重要となる。

AAFDの診断は，病歴，身体所見と画像所見

から総合的に行われる³⁾。特徴的な身体所見には too many toes sign，診察法には single heel rise testがある（図2b）。自然立位で後方から視診した際，前足部外転をきたす too many toes sign と片脚立位で踵部を挙上させる single heel rise test が診断に有効である。PTTDでは片脚立位で踵部を挙上できなくなる。画像評価には，足底の形状を評価する足底鏡，荷重X線像，CT画



図3 重症例の画像所見

荷重X線側面像(左)では足部アーチの破綻を認める。3D-CT画像(右)でも著明な変形を認める。本症例はPTTD 4期の重症例であり、疼痛のため歩行不能となっていた。



図4 扁平足モデルに対する手術シミュレーション

軽症扁平足モデル(左:術前, 右:術後)における荷重時の応力分布図を示す。踵骨骨切り術(中央)では、最適な骨切り部位、骨切り角度を計算できた。

像, MR画像などがある(図3)。

われわれは、足底鏡と荷重X線所見とを組み合わせ、AAFDのカットオフ値を割り出し、足部検診に役立てている⁴⁾。CT画像を用いた研究では、作製した足部荷重装置を用いて、PTTD 2

期の軽症扁平足で荷重により距舟および距踵関節で外反が増大することを3次的に明らかにした⁵⁾。また、後脛骨筋腱断裂をとまうことが多い重症例で、X線における変形の指標とMR画像における断裂所見に相関があることを報告し

ている⁶⁾。

成人期扁平足のオーダーメイド治療

扁平足変形の部位や様式は多彩であるため、各症例に合わせて治療することが重要である。軽症例では、足底挿板（インソール）による装具療法が効果的である。われわれは、各症例の足部を採型しコンピューター処理を行って、変形の程度に応じたオーダーメイドの足底挿板を処方している。また先述の足部荷重装置を用いて、オーダーメイドの足底挿板がAAFDにおける距舟および距踵関節での外反を抑制することを確認している⁷⁾。重症例では、手術療法が採用される。変形の生じている部位によって、踵骨隆起内側移動術などの骨切り術や距舟関節などの関節固定術を組み合わせる。仁木ら³⁾、Blumanら²⁾などが診断・治療アルゴリズムを提唱しているが、手術療法に関しては、現在統一された基準は確立されていない。われわれは、剛体の応力シミュレーションを行う有限

要素法を用いて、CT画像データから扁平足モデルを作製することに成功している⁸⁾。扁平足モデルに対して手術シミュレーションを行い（図4）、最適な踵骨骨切り部位、骨切り角度を計算することが可能となった⁹⁾。しかし、骨モデルの作製、骨切りのシミュレーション解析などに数日程度の時間を要する問題がある。今後は、モデル作製やシミュレーションの自動化が課題となる。

ま と め

足は多数の骨、靭帯、筋腱から構成され、アーチ構造をとる。アーチ構造が破綻する成人期扁平足には様々なタイプの変形があり、診断・治療することが難しい。各症例に合わせたオーダーメイド治療を行うことが重要である。手術シミュレーションの開発が期待される。

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

文

- 1) Johnson KA, Strom DE. Tibialis posterior tendon dysfunction. *Clin Orthop Relat Res.* 1989; 239: 196-206.
- 2) Bluman EM, Title CI, Myerson MS. Posterior tibial tendon rupture: a refined classification system. *Foot Ankle Clin.* 2007; 12: 233-249.
- 3) 仁木久照. 扁平足（後脛骨筋腱機能不全）. 最新整形外科学大系 第18巻 下腿・足関節・足部. 第1版. 越智光夫, 越智隆弘, 高倉義典編. 東京: 中山書店. 2007; 253-262.
- 4) Inui K, Ikoma K, Imai K, Ohashi S, Maki M, Kido M, Hara Y, Oka Y, Fujiwara H, Kubo T. Examination of the Correlation Between Foot Morphology Measurements Using Pedography and Radiographic Measurements. *J Foot Ankle Surg.* 2017; 56: 298-303.
- 5) Kido M, Ikoma K, Imai K, Tokunaga D, Inoue N, Kubo T. Load response of the medial longitudinal arch in patients with flatfoot deformity: in vivo 3D study. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2013; 28: 568-573.
- 6) Ikoma K, Ohashi S, Maki M, Kido M, Hara Y, Kubo

献

- T. Diagnostic Characteristics of Standard Radiographs and Magnetic Resonance Imaging of Ruptures of the Tibialis Posterior Tendon. *J Foot Ankle Surg.* 2016; 55: 542-546.
- 7) Kido M, Ikoma K, Hara Y, Imai K, Maki M, Ikeda T, Fujiwara H, Tokunaga D, Inoue N, Kubo T. Effect of therapeutic insoles on the medial longitudinal arch in patients with flatfoot deformity: a three-dimensional loading computed tomography study. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2014; 29: 1095-1098.
- 8) Wang Z, Imai K, Kido M, Ikoma K, Hirai S. A finite element model of flatfoot (Pes Planus) for improving surgical plan. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2014; 2014: 844-847.
- 9) Wang Z, Kido M, Imai K, Ikoma K, Hirai S. Towards patient-specific medializing calcaneal osteotomy for adult flatfoot: a finite element study. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2018; 15: 1-12.

著者プロフィール



城戸 優充 Masamitsu Kido

所属・職：京都府立医科大学大学院医学研究科運動器機能再生外科学・助教

略 歴：2005年3月 京都府立医科大学医学部卒業

2005年4月 京都第一赤十字病院 研修医

2007年4月 京都府立医科大学運動器機能再生外科 専攻医

2008年4月 京都中部医療センター整形外科 専攻医

2009年4月～2013年3月

京都府立医科大学運動器機能再生外科 大学院

2013年4月 京都府立医科大学運動器機能再生外科 専攻医

2014年1月 京都府立医科大学附属北部医療センター整形外科 助教

2016年10月～現職

専門分野：足の外科，バイオメカニクス

- 主な業績：1. Kido M, Ikoma K, Imai K, Maki M, Takatori R, Tokunaga D, Inoue N, Kubo T. Load response of the tarsal bones in patients with flatfoot deformity: in vivo 3D study. *Foot Ankle Int*, **32**: 1017-1022, 2011.
2. Ikoma K, Noguchi M, Nagasawa K, Maki M, Kido M, Hara Y, Kubo T. A new radiographic view of the hindfoot. *J Foot Ankle Res*, **13**: 48, 2013.
3. Kido M, Ikoma K, Imai K, Tokunaga D, Inoue N, Kubo T. Load response of the medial longitudinal arch in patients with flatfoot deformity: in vivo 3D study. *Clin Biomech* (Bristol, Avon), **28**: 568-573, 2013.
4. Kido M, Ikoma K, Hara Y, Matsuda K, Kawata M, Umeda M, Kubo T. Selective visualization of rabbit knee cartilage using MR imaging with a double-contrast agent. *J Magn Reson Imaging*, **39**: 1186-1190, 2014.
5. Kido M, Ikoma K, Hara Y, Imai K, Maki M, Ikeda T, Fujiwara H, Tokunaga D, Inoue N, Kubo T. Effect of therapeutic insoles on the medial longitudinal arch in patients with flatfoot deformity: a three-dimensional loading computed tomography study. *Clin Biomech* (Bristol, Avon), **29**: 1095-1098, 2014.
6. Wang Z, Imai K, Kido M, Ikoma K, Hirai S. A finite element model of flatfoot (Pes Planus) for improving surgical plan. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 844-847, 2014.
7. Hara Y, Ikoma K, Kido M, Sukenari T, Arai Y, Fujiwara H, Kawata M, Kubo T. Diffusion tensor imaging assesses triceps surae dysfunction after achilles tenotomy in rats. *J Magn Reson Imaging*, **41**: 1541-1548, 2015.
8. Imai K, Ikoma K, Kido M, Maki M, Fujiwara H, Arai Y, Oda R, Tokunaga D, Inoue N, Kubo T. Joint space width of the tibiotalar joint in the healthy foot. *J Foot Ankle Res*, **8**: 26, 2015. doi: 10.1186/s13047-015-0086-5.
9. Yoshioka N, Ikoma K, Kido M, Imai K, Maki M, Arai Y, Fujiwara H, Tokunaga D, Inoue N, Kubo T. Weight-bearing three-dimensional computed tomography analysis of the forefoot in patients with flatfoot deformity. *J Orthop Sci*, **21**: 154-158, 2016.
10. Ikoma K, Ohashi S, Maki M, Kido M, Hara Y, Kubo T. Diagnostic Characteristics of Standard Radiographs and Magnetic Resonance Imaging of Ruptures of the Tibialis Posterior Tendon. *J Foot Ankle Surg*, **55**: 542-546, 2016.
11. Inui K, Ikoma K, Imai K, Ohashi S, Maki M, Kido M, Hara Y, Oka Y, Fujiwara H, Kubo T. Examination of the Correlation Between Foot Morphology Measurements Using Pedography and Radiographic Measurements. *J Foot Ankle Surg*, **56**: 298-303, 2017.
12. Ikoma K, Hara Y, Kido M, Imai K, Maki M, Ohashi S, Kubo T. Relationship Between Grading With Magnetic Resonance Imaging and Radiographic Parameters in Posterior Tibial Tendon Dysfunction. *J Foot Ankle Surg*, **56**: 718-723, 2017.
13. Onishi O, Ikoma K, Kido M, Kabuto Y, Ueshima K, Matsuda KI, Tanaka M, Kubo T. Early detection of osteoarthritis in rabbits using MRI with a double-contrast agent. *BMC Musculoskelet Disord*, **19**: 81, 2018.
14. Wang Z, Kido M, Imai K, Ikoma K, Hirai S. Towards patient-specific medializing calcaneal osteotomy for adult flatfoot: a finite element study. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, **15**: 1-12, 2018.