《教育講演》

足の障害と靴の医学*1

橋本 健史*2

はじめに

最近、遺伝子研究が急速に進歩して、ヒトとサル
の遺伝子はその約 99%までは同一であるとい
う報告があった。ヒトとサルを分けるものは何で
あろうか？ それは直立二足歩行を常時、日常的
に行うかどうかにあるのではないか。私は足の構
造とくにアーチ構造の違いを強調したい。サルの
足部は扁平で、足アーチ構造は存在しない。これ
に対して、約 370 万年前の猿人の足跡にはすでに
土踏まず一足アーチ構造一が存在した¹⁾。人類史
のかなり初期の段階である猿人の足跡にすでに足
アーチ構造が存在した事実は、足アーチ構造が直
立二足歩行にとって非常に重要な要素であること
をうかがわせる。

本稿では、足アーチ構造についての最近の知見
と、最近注目を浴びてきているアーチが消失する
新しい病気（後脛骨筋腱機能不全）についての診
断、治療について報告する。また、このように重
要な足の障害のうち、最も頻度の高い疾患として
足関節外側靭帯損傷をとりあげ、その診断、治療
法について述べる。さらに、足の障害の予防、治
療に欠くことのできないテーマが靴の選択、処方
である。靴の構造と機能について、最新の知見を
まじえて報告する。

足アーチ構造

1. 解剖

足には 3 つのアーチ構造①内側縦アーチ、②外
側縦アーチおよび③横アーチが存在する。内側縦
アーチは踵骨、距骨、舟状骨、楔状骨、中足骨と
これらをつなぐ靭帯および筋群からなり、足部内
側でアーチを作っている。外側縦アーチは踵骨、
立方骨、中足骨とこれらをつなぐ靭帯および筋群
からなり、足部外側でアーチを作っている。横
アーチは楔状骨、立方骨、中足骨とこれらをつな
ぐ靭帯および筋群からなり、足の横方向でアーチ
を作っている（図 1）。

2. 機能

足部アーチ構造には、Truss mechanism と Wind-
lass mechanism という 2 つの機能がある。Truss

図 1 足の 3 つのアーチ

M：内側縦アーチ，L：外側縦アーチ，T：横アーチ

*1 本稿は第 46 回日本リハビリテーション医学会学術集会教育講演（2009 年 6 月 4 日，静岡）をまとめたものである。

*2 慶應義塾大学月が瀬リハビリテーションセンター整形外科/〒 410-3293 静岡県伊豆市月ヶ瀬 380-2

E-mail: hashimoto@ktrc.med.keio.ac.jp

図2 足部アーチ構造
a: Truss mechanism, b: Windlass mechanism

mechanism とは、足アーチの三角形構造が体重を受けたときに高さが低くなり体重を支える構造である。四角形構造に比較して格段に強度が増大する（図2a）。Windlass というのは船の錨の巻き上げ機のことであり、足において母趾がその役目を担っている。足底腱膜は踵骨から母趾基節骨に付着している。母趾が背屈するとこの足底腱膜が巻き上げられ、足アーチが高まる働きのことを Windlass mechanism という（図2b）。歩行に際して、踵接地時に Truss mechanism が働いて体重を支え、踵離地時に母趾が背屈して Windlass mechanism が働いて足アーチが高まり、推進力を確実に伝える。これにより効率的な歩行をすることができるのである。

われわれは、赤外線反射マーカーと3次元動態解析装置を用いたバイオメカニクス的手法を用いて歩行解析を行った。その結果、足アーチは踵接地時に急激に低下し、立脚期は徐々に低下を続け（Truss mechanism）、踵離地時に増大する（Windlass mechanism）ことを確かめることができた^{2,3)}。

後脛骨筋腱機能不全

最近、後天的に足アーチが破綻して扁平足となる後脛骨筋腱機能不全という疾患が注目されている。本疾患の原因は足アーチ機能に重要な働きをする後脛骨筋腱が加齢などにより壊死を起こして生じる。後脛骨筋腱が足アーチに重要な働きを

持っている証拠として、われわれは16歳、男子の片側性扁平足の症例を経験した。本症例は4歳時にガラスによる切創で後脛骨筋腱を切断した。13歳頃から足部痛を訴え、16歳時には片側性の扁平足となっていたのである⁴⁾。

1) 病 因

後脛骨筋腱は脛骨、腓骨および下腿骨間膜から起始して、踵骨、舟状骨、楔状骨および第2、3、4中足骨とほとんどすべての足根骨に停止する。回外筋としてだけでなく、足アーチを保持する重要な腱である。しかしながら、その内果下方において血管の少ない疎血部位が存在し、加齢とともに血流障害が生じて機能不全となることがある⁵⁾。

2) 症 状

後脛骨筋腱の機能不全に伴い、その部位の腫脹、疼痛、さらには扁平足が生じる。

3) 診 断

足部内側の疼痛を訴え、後脛骨筋腱に沿う圧痛があったら本疾患を疑う。本疾患の診断においては、single heel rise test と too many toe sign および単純X線所見と magnetic resonance image (MRI) が有用である。single heel rise test とは、片脚立位で爪先立ちが可能かどうかを調べる検査で本疾患では不能である。too many toe sign とは、後方から立位を観察したときに患側の足趾がたくさん見えることである（図3）。

4) 分 類

Johnson らによって、3つに分類された⁶⁾。Stage 1 は疼痛が内果に局限し、扁平足変形のないもの、stage 2 は疼痛が足部内側の広範囲に拡がり、扁平足変形が生じているが徒手で矯正可能なもの、

図3 too many toe sign

後方からみたときにt：患側足趾が多く見える。

stage 3 は疼痛が足部内側、外側に拡がり、扁平足変形が矯正不能なものである (表)。

5) 治 療

Stage 1 に対しては足底板の処方と足周囲筋力増強を指導する。Stage 2 に対しては長趾屈筋腱や長母趾屈筋腱を後脛骨筋腱へ腱移行し、さらに踵骨骨切りまたは、Lateral column lengthening (踵立方関節固定) を行う (図4, 5)。Stage 3 に対しては距骨下関節固定または3関節固定術を行う。術後は膝下ギプス固定を行い、6週でギプスを除

表 Johnson による後脛骨筋腱機能不全の分類

	Stage 1	Stage 2	Stage 3
疼痛・腫脹	内果下方	内側広範囲	内側、外側
Too many toe sign	-	+	+
Single heel rise 不能			
可動性	flexible	flexible	rigid

a

b

図4 63歳、女性：後脛骨筋腱機能不全Johnson分類stage2に対する踵骨骨切り術

a：側面像。踵骨体部での骨切り。螺子2本で固定した。b：軸写。踵骨を内方へ10mm移動した。

Pre

Post

図5 図4と同症例

Pre：変性した後脛骨筋腱 (P) を示す。Post：長趾屈筋腱 (FD) を腱交差部で切離反転して、舟状骨 (N) にあけた骨トンネル (B) を通して、後脛骨筋腱 (P) に縫着する。

去して1/3 荷重歩行を開始，8週で全荷重歩行を開始する．12週でジョギングを許可している．

足関節外側靭帯損傷

足関節捻挫は下肢外傷中最も多い外傷である．安易な治療がなされがちであるが，約20%は陳旧化するといわれ，変形性足関節症をまねく場合もあるので，初期の慎重な治療が必要である．

1) 診 断

足関節外果部における前距腓靭帯，踵腓靭帯の圧痛を確認する．徒手足関節ストレス検査を行い，左右差を確認する．単純X線検査で距骨骨軟骨障害，三角骨症候群，距骨外側突起骨折など他の異常がないことを確認することが大事である．

2) 分 類

重症度に応じて3つに分類するのが一般的である．1度損傷は靭帯の軽度の部分断裂であり，軽度の腫脹，疼痛があるが，足関節ストレス検査は陰性である．2度損傷は靭帯の中等度の断裂であり，足関節ストレス検査が陽性となる．3度損傷は靭帯の完全断裂であり，腫脹が著しく，荷重ができないほどの疼痛がある．

3) 治 療

1度損傷に対しては，鎮痛・消炎のための内服・シップ，関節可動域訓練，足関節周囲筋力増強訓練（セラバンド・tilt boardを用いる）が勧められる．2度，3度損傷に対しては，足関節ストレスX線検査を行い，距骨傾斜角 10° 以上は靭帯の完全断裂とみてよい．2度損傷については，固定はせずに早期からの理学療法がよいとする報告⁷⁾と10日程度のギプス固定（荷重は許可する）がよいとする報告⁸⁾があり，論争中である．われわれは，3週間のギプス固定を行い，そののち，理学療法を行って良い結果を得ている．3度損傷については，2度損傷と同様の保存治療でよいとする意見と観血的治療（靭帯縫合術）が必要であるとする意見⁹⁾に分かれる．われわれは，距骨傾斜角 15° 以上の症例でとくにスポーツ選手や足関節を酷使用する仕事をする症例の場合には観血的治療を行っている．

4) 陳旧例

急性足関節捻挫の約20%が慢性化する．足関節不安定性が存在し，疼痛と不安定感を訴える．この不安定性が歩行時のいつ生じているのか不明であったが，われわれは片側性の陳旧性足関節外側靭帯損傷患者の歩行解析を行い，健側と比較した結果，歩行周期の踵接地直前に患側の足関節が異常に内反，内旋していることがわかった¹⁰⁾．この不安定性が繰り返されて，やがて変形性足関節症に進展していく可能性があると考えている．

治療は足関節周囲の筋力増強等の理学療法が中心となるが，6カ月の保存治療に抵抗する症例に対しては手術を行っている．手術方法はさまざまな方法が報告されているが，遺残靭帯などを利用する解剖学的再建術と移植腱などを用いて靭帯を再建する非解剖学的再建術とに分類される．われわれは，半切，遊離した短腓骨筋腱を移植して，靭帯を再建する方法を行って良い結果を得ている（図6，7）¹¹⁾．術後は膝下ギプス固定を行い，術後1週で荷重歩行を許可，術後4週でギプスを除去して，理学療法を開始，2カ月からジョギングを開始，6カ月で元のスポーツへの復帰を許可している．

図6 短腓骨筋腱の半切・遊離

a: 短腓骨筋腱（PB）を縦に半切．b: 遊離した短腓骨筋腱．男性で15 cm，女性で12 cm 必要．

図7 靭帯再建術

a: 靭帯再建のシェーマ. 3.5 mm の骨孔を前距腓靭帯 (ATF) の起始, 停止部および踵腓靭帯 (CF) の起始, 停止部に作成して, そこに短腓骨筋腱を通す. b: 実際の術中所見.

靴の構造と機能

足の障害の予防, 治療に欠くことのできないテーマが靴の選択, 処方である. 適当でない靴によって, さまざまな足の障害が生じ, また, 正しい靴によってさまざまな足の障害を治療することができる.

1) 靴の構造

靴は, さまざまな部分の集合体である (図8). なかでも重要な部分がシャンクであり, これが足

アーチを支え, 助ける役目をしている. また, 側面から見たとき, 靴は全体として, 舟型をしており, 歩きやすい構造を持っている. 前方のそりを toe spring, 後方のそりを heel spring といい, 全体として, rocker bar 構造を持っている (図9).

2) 靴の機能

それでは, 靴は実際にはどのような機能を持っているのだろうか. 靴のはたらきとしては, 足の保護と装飾である. これは, 靴の起源が古代ローマ軍兵士の靴と中世貴族の靴にさかのぼるこ

図8 靴の構造

a: 靴を下面からみたところ. s: Shank. ふまずしん. 靴内部の長軸アーチの下部に挿入した保護材. b: Buffer heel. バッファーヒール. 高さ3~5cmの幅広い踵. b: 靴を上面からみたところ. t: toe cap. 飾革 (かざりがわ), さきたま. 足趾をいれて保護する. t: tongue. ベロ, 舌革. c: counter. 月形しん. 踵部を補強し, 支える. qu: quarter. 腰革 (こしかわ). 靴の後部を構成する. h: heel. ヒール, かかと. 接地時の衝撃を吸収する. v: vamp. 爪革. 足の前部を保護する.

図9 靴の側面

前方のそりがToe: toe springであり、後方のそりがHeel: heel springである。全体のカーブをRocker: rocker barという。

とでわかる。われわれは、靴に小さな穴を開けて、そこから赤外線反射マーカを貼付させて歩かせ、裸足と靴を履いた時とを3次元動態解析により比較した。その結果、靴を装着すると、踵接地直後の急激な足アーチの低下は緩和されたが、踵離地後の足アーチ高の回復は減少した。また、歩行相全体の足アーチの変化率は減少した¹²⁾。すなわち、靴は足への衝撃をやわらげ、足アーチの負担を軽減していることがわかった。

以上を勘案して、足により靴とは、まず足のサイズに合っている靴（足を靴の前方につめた時に踵に鉛筆がはいる程度）、飾革が十分にひろく、足趾を保護していること。また、月形しんが十分に踵をサポートし、ふまずしんがしっかりしており、靴が中足趾節間関節部で曲がること。また、ヒールが強度十分で衝撃を吸収できることなどである。

おわりに

以上、足の障害と靴についての最新の知見を述

べた。現代人にとっては足と靴は不可分の関係である。どちらの知識も健康な生活にとって大切なことであると考える。

文 献

- 1) Charteris J, Wall JC, Nottrodt JW: Pliocene hominid gait: New interpretations based on available footprint data from Laetoli. *Am J Phys Anthropol* 1982; 58: 133-144
- 2) 橋本健史, 池澤裕子, 星野 達, 谷島 浩, 小久保哲郎, 井口 傑: 歩行時における靴の機能についての運動学的検討. *靴の医学* 2003; 17: 92-95
- 3) 橋本健史, 池澤裕子, 谷島 浩, 小久保哲郎, 井口 傑: 歩行時における靴の機能についての運動学的検討—windlass mechanismに対する効果について—. *靴の医学* 2004; 18: 76-80
- 4) 池澤裕子, 橋本健史, 大平民生, 戸山芳昭: 後脛骨筋腱の切断により生じた外反扁平足の1例. *関東整形災害外科学会誌* 2002; 33: 298-301
- 5) Frey C, Shereff M, Greenidge N: Vascularity of the posterior tibial tendon. *J Bone Joint Surg* 1990; 72A: 884-888
- 6) Johnson KA, Strom DE: Tibialis posterior tendon dysfunction. *Clin Orthop* 1989; 239: 196-206
- 7) Jones MH, Amendola AS: Acute treatment of inversion ankle sprains. *Clin Orthop Relat Res* 2007; 455: 169-172
- 8) Lamb SE, Marsh JL, Hutton JL, Nakash R, Cooke MW: Mechanical supports for acute, severe ankle sprain: a pragmatic, multicentre, randomised controlled trial. *Lancet* 2009; 373: 575-581
- 9) Pijnenburg ACM, Bogaard K, Krips R, Marti RK, Bossuyt PMM, van Dijk CN: Operative and functional treatment of rupture of the lateral ligament of the ankle. *J Bone Joint Surg*. 2003; 85B: 525-530
- 10) Hashimoto T, Inokuchi S: A kinematic study of ankle joint instability due to rupture of the lateral ligaments. *Foot Ankle Int* 1997; 18: 729-734
- 11) 橋本健史: IV外傷の治療—1. 2. 足関節靭帯損傷応用編 ③腓骨筋腱による再建. *足の外科の要点と盲点* (山本晴康 編). 文光堂, 東京, 2006; pp 164-167
- 12) 橋本健史, 池澤裕子, 星野 達, 谷島 浩, 小久保哲郎, 井口 傑: 歩行時における靴の機能についての運動学的検討. *靴の医学* 2003; 17: 92-95