

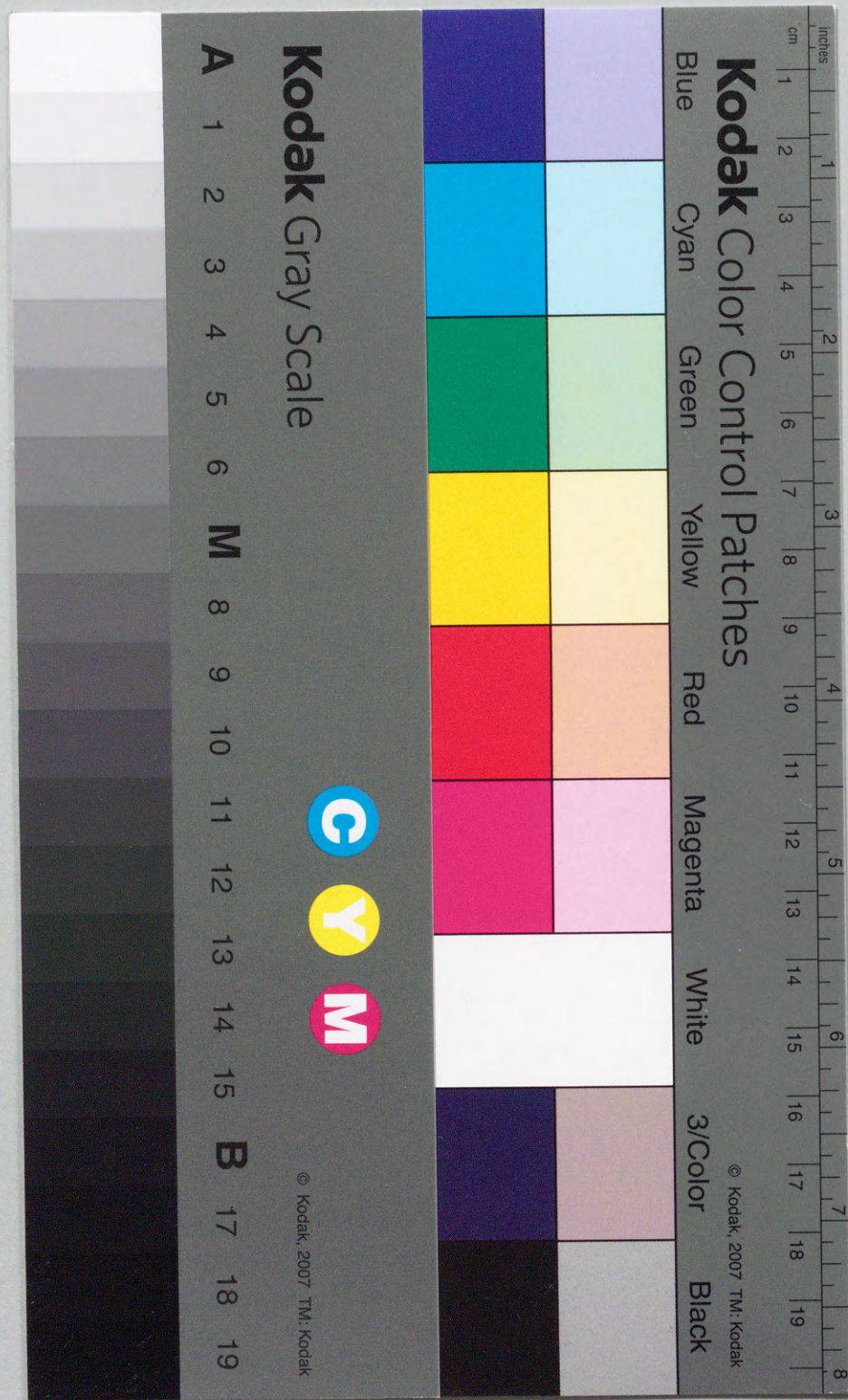
主論文

足底屈筋の筋力と足縦アーチの関連について

山本和司¹⁾

中部日本整形外科災害外科学会雑誌 第36巻 第5号 別冊

平成5年9月1日発行



足底屈筋の筋力と足縦アーチの関連について

山 本 和 司¹⁾

(受付:平成5年5月12日, 受理:平成5年6月29日)

要 約

1. 足底屈筋の筋力を定量的に測定する筋力計を考案作製し, 健康人の右足37足について趾全体の屈曲力, 母趾外転力および小趾外転力を測定した.
2. 足縦アーチは, 右片脚起立時のフットプリントを採取して, アーチ部足底最小横径を踵部足底最大横径で割った値 (arch index) およびアーチ部面積を接地部面積で割った値 (足底面積比) を算出して評価した.
3. 21足については横倉法で右片脚起立時の側面 X 線撮影を行い, N 値を代表値として計測し, arch index および足底面積比との間に相関を認めた.
4. 足底屈筋の筋力とフットプリントの計測値との相関関係において, 母趾外転力と小趾外転力の合計値は arch index および足底面積比との間に相関を認めたが, 趾全体の屈曲力はいずれとも相関がなかった.
5. X 線上の足縦アーチの動的变化の観察において, N 値は母趾と小趾の外転を加える事により有意に増加したが, 趾全体の屈曲を加えても N 値は有意に増加しなかった.
6. 足底屈筋の筋力と足縦アーチの関連性において, 母趾外転力と小趾外転力は, 趾全体の屈曲力よりも足縦アーチへの関与が優位であることが示唆された.

緒 言

足アーチは, 骨関節, 靱帯, 筋肉などすべての足部要素がひとつのシステムとして統一化されたもので, 体重の支持や運動時には不可欠な緩衝器としての働きがある. 一般に縦アーチ (内側アーチと外側アーチ) と横アーチから成る⁶⁾.

足縦アーチの支持機構は, 従来よりさまざまな報告があり, 靱帯や骨関節などの構築学的因子と, 体重, 下腿足部筋群, 足関節や趾の肢位などの機能的な因子が複雑かつ相互に関与しているとされている²⁰⁾が, 未だその詳細は不明である. 足縦アーチに対する下腿足部筋群の関与については, 今まで諸家により筋電図学的に検討されたのみであり, 筋力の定量的測定値から論じた報告はない. 本研究では, 足縦アーチに関する下腿足部筋群のうち足底屈筋の筋力に着目し, 趾全体の屈曲力, 母趾外転力および小趾外転力を定量的に測定する筋力計を考案作製し, 筋力測定を行った.

本研究の目的は, この筋力計を用いて測定した足底屈筋の筋力と足縦アーチとの関連性を明らかにすることである.

足底屈筋筋力計

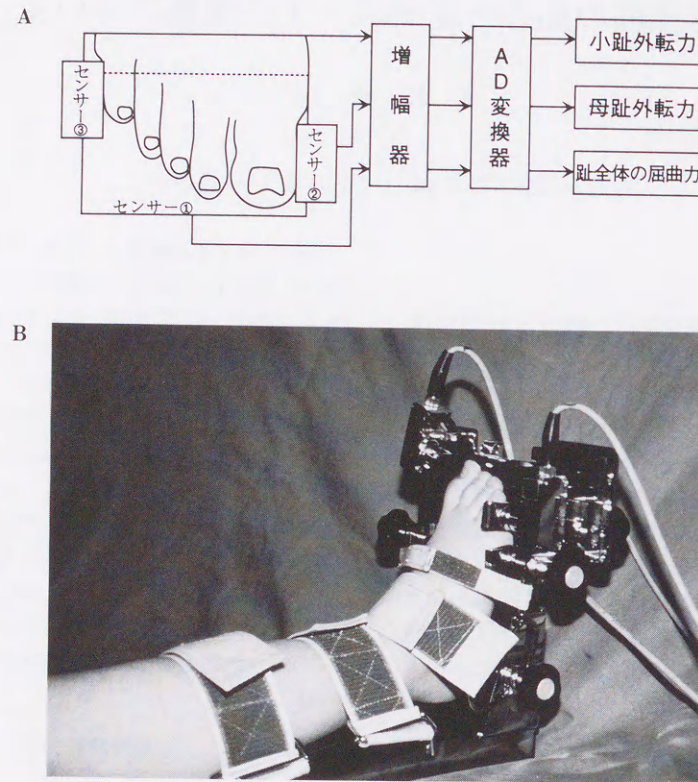
1. 測定器械

足底屈筋筋力計 (図1) は, 趾全体の屈曲力, 母趾外転力および小趾外転力をそれぞれのセンサーでストレンゲージを用いて測定し, 増幅器, AD 変換器を経て, 別々の数値としてデジタル出力するものである. 足の形態に応じて適切な肢位で固定できるように, センサーや固定ベルト, ストッパーの位置は自由に変える事が出来る. 筋力計本体は, 縦 30cm, 幅 20cm, 高さ 25cm, 重量 6.2kg で持ち運び可能であり, 本体とは別にデジタル表示計がある. 趾全体の屈曲力は 0.1kg 単位で 50kg まで, 母趾外転力および小趾外転力は 0.1kg 単位で 10kg まで測定可能であり, 実負荷試験による測定誤差率は $\pm 3\%$ である. なお, この筋力計は OG 技研 (株) の協力で作製した.

A study on relationship between strength of plantar muscles and foot longitudinal arch : Kazushi YAMAMOTO (Department of Orthopaedic Surgery, Okayama University Medical School)

1) 岡山大学医学部整形外科科学教室

Key words : Foot, Muscles / strength, Structure-activity relationship, Biomechanics



A. 模 式 図
B. 実際の測定肢位
図1 足底屈筋筋力計

2. 測定手技

測定は被検者を仰臥位として、膝関節は伸展0度、足関節は底背屈0度の肢位で、下腿、足関節部および足部のベルトと踵部、足MTP関節部のストッパーにて強固に固定して行った(図1B)。図1Aのごとくセンサーは①を趾全体の底側、②を母趾の内側、③を小趾の外側に、それぞれの方向、位置を変えて趾の運動方向と垂直になるようにセットした。測定値は3回測定の中の最大値を採用した。

3. 再現性調査

まず、趾筋力計の信頼性を調べる目的で再現性調査を行った。対象は健康成人男性3名、平均年齢は32.3歳であり、1個人に日を変えて7回の反復測定を行った。この結果、変動係数(標準偏差×100/平均値)は、趾全体の屈曲力では2.6%から11.9%(平均7.5%)で

あり、母趾外転力と小趾外転力の合計値では8.7%から15.9%(平均13.2%)であった。母趾外転力と小趾外転力に関しては、それぞれの測定値では変動が大きく再現性に乏しかったため、合計値を用いた(表1)。

対 象

足底屈筋の筋力と足縦アーチの関係を検討する目的で、看護学生37名の右足37足について、筋力測定とフットプリントの採取を行い、さらに21名についてはX線撮影も施行した。対象は全員21歳の健康な女性で、足についての愁訴、および外傷の既往はなかった。身長は150.0cm～166.0cm(平均158.7cm)、体重41.0kg～68.0kg(平均52.8kg)であった。Kaup係数(体重kg×10⁴/(身長cm)³)は、18.22～25.59(平均20.93)であり、特に肥満ややせはなく、標準体

表1 変動係数*

趾全体の屈曲力	2.6～11.9% (平均7.5%)
母趾外転力+小趾外転力	8.7～15.9% (平均13.2%)

* 変動係数 = $\frac{\text{標準偏差}}{\text{平均値}} \times 100$

表2 対象: 21才健康女性 37名

身長	150.0cm～166.0cm (平均158.7cm)
体重	41.0kg～68.0kg (平均52.8kg)
Kaup係数	18.2～25.59 (平均20.9)

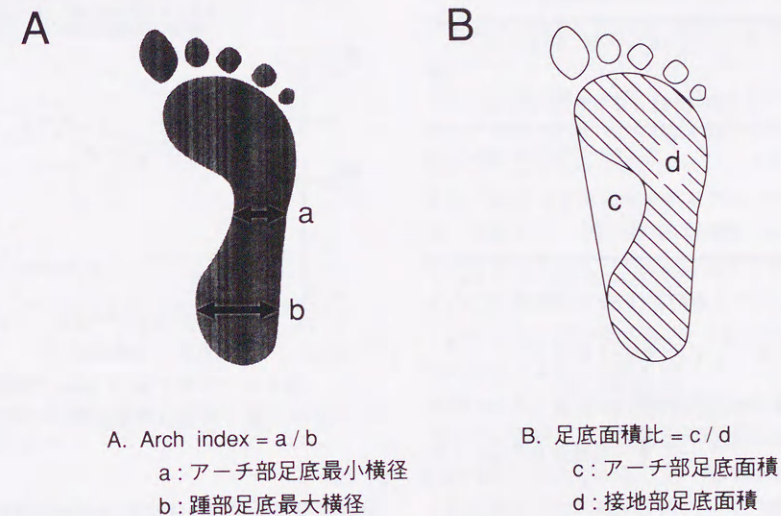


図2 フットプリントの判定基準

格者であった(表2)。

方 法

1. 足底屈筋の筋力測定

足底屈筋の筋力は、筋力計で測定した趾全体の屈曲力、母趾外転力と小趾外転力の合計値の2つをパラメーターとした。足底屈筋の筋力は立ち仕事などの筋肉疲労により日内変化すると考えられるため、測定時間は午後4時～5時と定めた。また、足底屈筋の筋力と他の身体筋力との関係を見るため右手握力も市販の握力計で測定した。

2. フットプリントの計測

足縦アーチの評価は、足底屈筋の筋力測定の直後に採取した右足片脚起立時のフットプリントからStaheliらの方法¹⁷⁾に準じて arch index の計測を用いた。この arch index はアーチ部足底最小横径(a)を踵部足底最大横径(b)で割った値 a/b である(図2A)。また、フットプリントの足底面積をシステムサプライ社製デジタイザーで計測し、足底面積比としてアーチ

部面積(c)を接地部面積(d)で割った値 c/d も算出した(図2B)。

3. X線計測

37名の対象のうち21名については、フットプリントの採取および足底屈筋の筋力測定の直後に横倉法²¹⁾による右足片脚起立時のX線撮影を行い、N値を代表値として計測した。さらに、足縦アーチの動的変化を観察するため、趾全体の屈曲および母趾と小趾の外転を加えた時のN値も計測し、それぞれ片脚起立時のN値と比較した。

結 果

1. 足底屈筋の筋力測定

趾全体の屈曲力は、8.0kg～36.8kg(平均18.33kg、標準偏差6.72kg)、母趾外転力と小趾外転力の合計値は、0.2kg～5.3kg(平均1.86kg、標準偏差1.71kg)であり、両者の間には相関係数0.538、危険率2%で相関を認めた。右握力は23kg～44kg(平均30.7kg、標準偏差4.82kg)であり、趾全体の屈曲力、母趾外

表 3 足底屈筋筋力

趾全体の屈曲力	8.0kg~36.8kg (平均18.3kg±6.72kg)	* —
母趾外転力+小趾外転力	0.2kg~ 5.3kg (平均1.86kg±1.71kg)	
* r=0.538, p<0.02		

表 4 フットプリントの計測

arch index	0.43~1.16 (平均0.68±0.15)	}	*
足底面積比	0.01~0.41 (平均0.26±0.10)		

* r=-0.873, p<0.01

表 5 N 値

片脚起立	21.28~33.85 (平均27.97±3.00)	n. s.	*]
片脚起立 +趾全体の屈曲	21.28~38.76 (平均28.68±4.00)		
片脚起立	21.28~35.88		
+母趾・小趾外転	(平均28.75±3.44)		

* 有意差あり $p<0.05$
($n=21$)

転力と小趾外転力の合計値のどちらとも相関がなかった(表3)。また、趾全体の屈曲力、母趾外転力と小趾外転力の合計値はどちらも体重とは相関は認めなかった。

2. フットプリントの計測

Arch index は、0.43~1.16 (平均0.68, 標準偏差0.15) であった。足底面積比は0.01~0.408 (平均0.259, 標準偏差0.096) で、arch index とは相関係数-0.873, 危険率1%で負の相関を認めた(表4)。また、arch index および足底面積比は体重との相関は認めなかった。

3. X 線計測

21足について横倉法で計測したN値は21.28~33.85 (平均27.97, 標準偏差3.00) であった。このN値は趾全体の屈曲を加えると21.28~38.76 (平均28.68, 標準偏差4.00), 母趾と小趾の外転を加えると、21.28~35.88 (平均28.75, 標準偏差3.44) となり、平均でそれぞれ2.54%, 2.79%増加した。母趾と小趾の外転時におけるN値の増加については5%の危険率で有意差を認めたが、趾全体の屈曲時の増加については有意差がなかった(表5)。

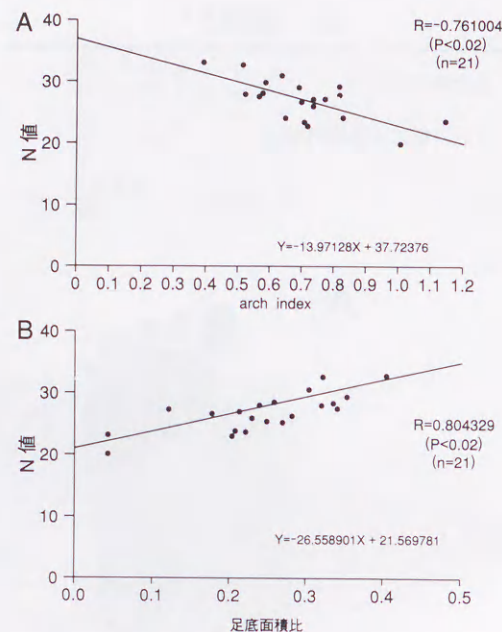


図 3 A N 値と arch index の相関関係

B N 値と足底面積比の相関関係

4. フットプリントの計測値と X 線計測値の相関関係

Arch index と N 値との相関関係は、危険率2%で相関係数-0.761と負の相関を示した(図3A)。足底面積比も N 値と危険率2%で相関を示し、相関係数は0.804であった(図3B)。

5. 足底屈筋の筋力とフットプリントの計測値の相関関係

足底屈筋の筋力とフットプリントの計測値の相関関係をみると、母趾外転力と小趾外転力の合計値は、arch index とは相関係数-0.424, 危険率2%で負の相関があり(図4A)、足底面積比とも相関係数0.375, 危険率5%で相関を認めた(図4B)。一方、趾全体の屈曲力は、arch index, 足底面積比のいずれとも相関が認められなかった。

考 察

身体の筋力を定量的に測定する試みは、歴史的には握力測定に始まり²⁾、背筋力や腓腹筋力の測定が19世紀に行われた¹⁸⁾。1915年 Lovett ら⁹⁾により多用途的筋力測定器具が開発されて以来、筋力計は握力計、背筋力計が現在広く普及しており、近年では Cybex

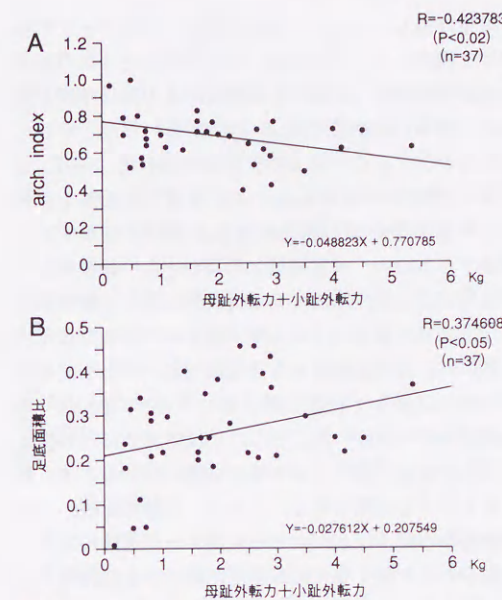


図 4 A 母趾・小趾外転力の合計値と arch index の相関関係

B 母趾・小趾外転力の合計値と足底面積比の相関関係

により等速性筋力測定も可能となった。足底屈筋の筋力測定は、三浦¹¹⁾が第1趾と第2趾の間で物をつかむ力と第1~5趾の1趾ずつの屈曲力を、山林労働者と学研職員について測定している。その方法は、第1趾と第2趾の間に木の板をはさみ、検者がその板につけたバネ秤をひっぱり、被検者がこれに耐えて持ちこたえられる最大張力として第1趾と第2趾で物をつかむ力を測定し、また趾の屈曲力として趾1本ずつでゴム板を押す力をリボンゲージの電気抵抗の変化から測定したものである。しかし、足底屈筋の筋力を筋力計を用いて測定し、筋力と足の形態との関連をみた報告は今までみられない。

今回考案作製した足底屈筋筋力計の筋力測定では、趾の巧緻性に個人差が大きいため、測定前に被検者には十分な練習を行い、休憩時間も約3分とり、3回測定のうちに最大筋力が測定出来るように配慮した。また、下腿の2カ所、足関節部と足部のおのおの1カ所の計4カ所につけたベルトと踵部、足MTP関節部の両側につけたストッパーで足関節を底背屈0度の肢位に強固に固定して測定した。特に足関節部の固定は重要で、これが強固でないと、足関節底屈力が反映してしまうので注意した。さらに母趾外転力、小趾外転力

の筋力測定については、母趾外転と小趾外転の運動方向が外転かつ軽度底屈であるため、センサー②、③のアタッチメント(図1A)は平面ではなく凹面のカーブをつけ、より正確に筋力測定できるように工夫した。しかし、母趾外転力、小趾外転力はそれぞれの測定値にはばらつきが大きく、再現性がみられなかったが、母趾外転力と小趾外転力の合計値では再現性が得られたため、合計値を測定値として用いた。

今回筋力測定した21歳の健康な女性の足底屈筋力は、趾全体の屈曲力が平均18.33kgであり、三浦の報告¹¹⁾の山林労働者平均10.49kg、学研職員13.14kgに比して高値であるが、これは測定方法、対象の年齢の違い等によるものと考えられる。一方、母趾外転力と小趾外転力の合計値は平均1.86kgで、趾全体の屈曲力と比較すると約1/10であり、また極端に低値を示すものが散見された。これは、足底屈筋も含めた足アーチの形成時期¹⁶⁾において靴などの外的因子やその個人の内的因子により、母趾と小趾の外転力の方が趾全体の屈曲力よりも影響を受けやすいためではないかと推測される。また、一般的に筋力は体重と相関するとされているが、足底屈筋の場合は体重との相関がみられなかった。このことから趾の屈曲筋、母趾外転筋、小趾外転筋が他の筋肉、例えば膝伸展筋などとは異なる性質をもつことが考えられる。

フットプリントは、足アーチという3次元的なものを平面上に表すという点に無理があり、X線測定と比較して正確性が不十分であるとする意見¹³⁾もあるが、費用の点やX線被爆がないという点を考慮すると非侵襲的かつ簡便な方法である。フットプリントを用いて足アーチを評価するために大切なのは判定基準であり、従来よりいろいろと検討されてきた¹³⁾が、今回 arch index を判定基準として選択した。この arch index は1987年 Staheli ら¹⁷⁾により報告されたものであり、横倉法が片脚起立時にX線撮影するのと同様に片脚起立時におけるフットプリントから計測している。さらに、arch index は測定値そのものではなく、アーチ部足底最小横径を踵部足底最大横径で除した比の形で算出されるものであり、足底脂肪の厚さなどの身体的要因はある程度相殺される点も判定基準として適当と考えた。Staheli ら¹⁷⁾によると arch index の正常域は、1歳から80歳までの対象441例で、各年齢別に平均±2SD (SD: 標準偏差) で示されている。今回筆者が測定した21歳の正常域は0.3~1.0であり、本研究の対象では1例を除きこの正常域内であった。

また、フットプリントの採取は1日のうち午後4時～5時と一定の時間を定めて測定し、足部の浮腫、筋肉疲労などによる日内変動の影響を少なくするように留意した。この arch index の妥当性をみるため横倉法による X 線計測値と比較検討した結果、N 値と arch index は有意の相関を示し、フットプリントから測定した足底面積比も arch index および N 値の間に相関を認めた。よってフットプリントにおける arch index および足底面積比というパラメーターは片脚起立時における足縦アーチの指標の1つになり得ると考えた。

足アーチの支持機構については従来よりさまざまな報告がある。Keith⁸⁾は、足アーチ支持の主役は筋肉であるとし、Morton¹⁴⁾は骨や足底靱帯などにより足内側アーチの構造上の安定性が保たれているが、わずかな筋肉の調節作用もあると述べている。Hicks³⁾は趾を背屈すると足底腱膜の巻き上げ作用により筋肉の直接作用なしに足アーチが挙上されることから足底腱膜の重要性を示し、Jones⁵⁾も足底腱膜が足アーチ保持の大部分を占めるとしたが、筋力の関与は足内在筋が足外在筋よりも重要であるとも述べている。結局、梅木²⁰⁾が述べたごとく、足アーチは、靱帯、骨関節などの構築学的因子と体重、下腿足部筋群、足関節や趾の肢位などの機能的な因子が複雑かつ相互に関与しているとまとめられる。足アーチに対する筋力の関与については、諸家により筋電図学的に検討されている。Basmajian ら¹⁾は、前脛骨筋、後脛骨筋、長腓骨筋、長母趾屈筋、母趾外転筋、短母趾屈筋を被検筋として、足アーチに膝の上から負荷をかけた時の筋電図を誘導し、100～200ポンドの負荷では足アーチは骨、靱帯で保持されているが、400ポンドの負荷でわずかに筋が働くと述べた。三好¹²⁾は Basmajian らの6筋以外に、長趾屈筋、小趾外転筋、腓腹筋を追加して、膝上からの圧迫、足部の圧迫、立位での体重重心移動の実験から、足アーチ保持に最も重要な役割を演ずる筋は、長趾屈筋と母趾外転筋であり、長母趾屈筋と後脛骨筋も一部関与していると報告した。梅木²⁰⁾は片足立ちの時の筋電図上の筋活動と、electro arch gage⁷⁾による足内側アーチの変化から、前脛骨筋、長腓骨筋、下腿三頭筋、長母趾屈筋、母趾外転筋により足内側アーチが挙上する事を示した。しかし、筋力の定量的測定値から足アーチに対する筋肉の関与を論じた報告はない。本研究では、足アーチに関与する下腿足部筋力のうち、趾全体の屈曲力、母趾外転力および小趾外転力が何らかの関与があるのではないかと考え、足底屈筋筋力計

を考案作製し、これらの足底屈筋力と足縦アーチの関連性を検討した。その結果、母趾外転力と小趾外転力の合計値は arch index、足底面積比との間に相関を認めた。さらに動的变化において N 値が母趾と小趾の外転力を加えることにより有意に増加した。一方、趾全体の屈曲力は arch index、足底面積比と相関を認めず、N 値も趾全体の屈曲を加える事によりわずかに増加するものの、有意に増加しなかった。母趾外転力、小趾外転力は足内在筋である母趾外転筋、小趾外転筋だけの筋力を測定しているが、趾全体の屈曲力は足内在筋以外に足外在筋である長母趾屈筋、長趾屈筋の筋力を主に反映していると考えられるので、Jones⁵⁾や Hollishead⁴⁾が述べたごとく、足縦アーチに対して足内在筋が足外在筋に比して優位に働いているとする報告を支持する結果である。これは、母趾外転筋、小趾外転筋の起始、停止がどちらも足アーチ近傍にあり、筋力があまり強くなくても直接足縦アーチに作用するが、長母趾屈筋、長趾屈筋などの外在筋は停止部しか足アーチ近傍になく、筋力が効果的に足アーチへ作用しないためと考えた。

足内在筋の作用としては、足部のアーチサポートとして働く¹⁾、後足部を含めた足全体の支持機構の一部である¹⁰⁾などの報告があるが、詳細は不明である。島崎ら¹⁵⁾は母趾 MTP 関節周囲の内在筋である母趾外転筋、母趾内転筋、短母趾屈筋、短母趾伸筋の筋電図学的検討から母趾 MTP 関節の支持機構の一部としての作用を報告し、正常足と外反母趾例では異なった筋活動が見られたとした。また、田中ら¹⁹⁾も荷重時と非荷重時の母趾の X 線学的変化から、正常足は荷重時に母趾 MTP 関節は内側に開くが、外反母趾足では母趾外転筋が底面に回り込んでいるため外反母趾角が増大することから母趾外転筋の重要性を報告している。今回の研究では正常足について足底屈筋の筋力測定を行ったが、外反母趾などの疾患足にも足底屈筋の筋力測定を行うことは有用であると思われる。

稿を終えるにあたり、御指導と御高聞を賜りました井上一教授に深く謝意を表します。また、直接御指導いただいた花川志郎講師、千田益生助手に深謝致します。

なお、この論文の要旨は第78回中部日本整形災害外科学会、第16回日本足の外科学会にて発表した。

文 献

- 1) Basmajian, J. V. and Stecko, G.: The role of muscle in arch support of the foot: J. Bone Joint Surg., **45-A**: 1184～1190, 1963.
- 2) Duvall, E. N., Houtz, S. J., Hellebrant, F. A.: Reliability of a single effort muscle test. Arch. Phys. Med., **28**: 213～218, 1947.
- 3) Hicks, J. H.: The mechanics of the foot. II The plantar aponeurosis and the arch. J. Anat., **88**: 25～30, 1954.
- 4) Hollishead, W. H.: Functional anatomy of the limbs and back. 3rd ed., W. B. Saunders Company, Philadelphia, London and Toronto, 329～349, 1969.
- 5) Jones, R. L.: The human foot. An experimental study of its mechanics and role of its muscle and ligaments in the support of the arch. Am. J. Anat., **68**: 1～39, 1941.
- 6) Kapandji, I. A.: The Physiology of the joints. 2nd ed., E & S Livingstone, Edinburgh and London, 196～207, 1970.
- 7) 茅野丈二: 足内側アーチの動的考察. 日整会誌, **60**: 1147～1156, 1986.
- 8) Keith, A.: The history of the human foot and its bearing on orthopedic practise. J. Bone Joint Surg., **11**: 10～32, 1926.
- 9) Lovett, R. W.: The treatment of infantile paralysis; Preliminary report, based on a study of Vermont Epidemic of 1914. JAMA., **26**: 2118, 1915.
- 10) Mann, R. and Inman, V. T.: Phasic activity of intrinsic muscles of the foot. J. Bone Joint Surg., **46-A**: 469～481, 1964.
- 11) 三浦豊彦: 足とはきもの—その衛生—. 第3版, 労働化学研究所出版部, 19～34, 1968.
- 12) 三好謙次郎: 足弯隆保持機構の検討. 日整会誌, **40**: 977～984, 1966.
- 13) 水野祥太郎: ヒトの足の研究—扁平足問題からの展開. 第1版, 医歯薬出版, 東京, 7～13, 1973.
- 14) Morton, D. J.: The human foot. Columbia University Press, New York, 199～212, 1935.
- 15) 島崎和久, 武部泰一, 広畑和志: 外反母趾における intrinsic muscle の作用. 足の外科研究会誌, **4**: 82～86, 1983.
- 16) 島津晃, 浅田莞爾: 足アーチの障害. 総合リハ, **10**: 807～813, 1982.
- 17) Staheli, L. T., Chew, D. E. and Corbett, M.: The longitudinal arch. J. Bone Joint Surg., **69-A**: 426～428, 1987.
- 18) 体力の診断と評価. 日本体育学会測定評価専門分科会編, 大修館書店, 東京, 60～61, 1977.
- 19) 田中康仁, 田北武彦, 高倉義典, 他: 荷重時における前足部の X 線学的変化について. 足の外科研究会誌, **11**: 94～97, 1990.
- 20) 梅木義臣: 足内側アーチの静力学的研究. 日整会誌, **65**: 891～901, 1991.
- 21) 横倉誠次郎: 本邦成人内外両長軸足の基準を定め扁平足の分類に及ぶ. 日整会誌, **3**: 331～360, 1928.

