

扁平足が運動能力に及ぼす影響に関する実験的研究
—足部内側縦アーチの評価と足部筋力および機能的運動能力との関係—

尾田 敦

キーワード：扁平足，foot print，アーチ高率，足部筋力，機能的運動能力テスト

An experimental study on the effects of a flatfoot on physical motor performances
—the relations of conditions evaluated from medial longitudinal arch
to foot strength and physically functional motor capacities—

Atsushi Oda

Abstract

The purposes of this study were to quantify the qualitative evaluation method of foot prints, to examine the relationships of the qualitative values obtained with the rate of arch height (RAH), and to assess the effects of the levels of flatfoot on foot strength and functional motor performances.

Subjects were 62 healthy women, whose photographed digital images of both feet soles in standing position were taken with the Pedoscope, and were classified into 4 levels according to Noda's classification method. The rate of sole-area (RSA) was calculated by dividing floor contact area of a foot with a rectangular area of a foot length \times a foot width. The RAH was obtained by dividing the navicular height with the foot length. Also, toe grip strength in standing position, strength of ankle dorsiflexion in supine position, and plantarflexion in prone position on the bed were measured. The Functional Ability Test (FAT) was administered to 26 subjects, in which included one-legged long hopping, one-legged figure eight hopping, one-legged side hopping, and one-legged up and down hopping.

It was clarified that Noda's classification method could be quantified by using RSA. The RSA revealed a significant relationship with body mass index (BMI) and was greatly affected by soft tissue. However, the RAH showed little relationship with the BMI and there was no significant correlation between the RAH and the RSA. The RSA showed significant negative correlations with all foot strengths measured, and also the RAH had a significant negative correlation between the toe grip strength; therefore, it was suggested that, provided the arch height was low, intrinsic muscles of foot were over-activated to compensate first ray stabilizing action by the simultaneous contraction of adductor hallucis and abductor hallucis. In the FAT, only the one-legged side hopping test related to the RAH, and all of the four tests related to body weight; however, it was shown that the greater in the RSA (i.e. a flat type of foot prints) the inferior in the motor abilities. It might be suggested that, in the assessment of flatfoot, the toe grip strength should be included as well as the foot print image and the RAH.

Key words : flatfoot, foot print, the rate of arch height (RAH), foot strength, Functional Ability Test (FAT)

1. 研究目的

扁平足とは、一般に「足アーチの低下した状態を呼ぶ」と定義され、通常は縦アーチの低下した扁平足 (pes planus) 変形に外反足 (pes valgus) 変形が加わって、外反扁平足 (pes plano-valgus) の形態をとることが多く、単に扁平足と称されるもののほとんどはこの外反扁平足であるとされている¹⁾。また、扁平足は臨床的に拘縮や症状がないかあっても少なく、原因疾患が明確ではない扁平足 (flexible flatfoot : FFF) と、拘縮・関節可動域制限が明らかであったり、原疾患を有し二次的に症状を呈する扁平足 (pathological flatfoot : PFF) に分類²⁾され、前者が90%以上を占めるとされている³⁾。

一般に子どもの足は処女歩行開始時に扁平足を呈し、縦アーチの形成は3~5歳までに著しく、12歳頃まで継続する³⁾と考えられている。小児期では荷重時だけに扁平となる柔らかく可逆的な静力学的扁平足であるが、扁平が持続し固定化した不可逆的で強固な扁平を呈するようになると、拘縮・関節可動域制限が明らかとなり、PFFのうちでも rigid flatfoot (RFF) とよばれる。

扁平足では運動能力が劣ることが一般常識とされているが、Lin⁴⁾らは2~6歳の就学前児童を対象として運動能力を調査し、扁平足 (FFF) の子どもでは全身弛緩性が高く、連続しゃがみ立ち回数などの6種類の運動課題において有意に成績が劣ることを報告している。また、野田⁵⁾は小学生 (10~12歳) を対象とした運動能力の調査において、立ち幅跳びなどの跳躍能力、50m走などの走能力において“土踏まず” (内側縦アーチ) 未形成者では形成者に比べて運動能力が劣ることを報告している。しかし、これらの報告では対象者がいずれも成長過程の子どもであり、発達途中の児童に対する横断的研究にすぎない。アーチの形成程度が運動能力に影響する重要な因子の一つであることは確かであるが、上述したように成長に関する多くの変数が介在しているため、本質は明らかでない。アーチ形成率からみても、身体形態的な発達過程を終えた成人を対象とすることが、年齢的因子による形態学的なパラメータの影響を制御できる可能性が最も高い。ところが、18歳になっても20%で土踏まずの形成がみられない⁶⁾といわれているにも関わらず、成人における運動能力の調査は少なく、運動能力にアーチ形成の程度がどれだけ影響を及ぼしているのかは不明である。さらに、扁平足ではショック吸収能が劣るため疲れやすく、長時間または長距離の歩行や走行などで疼痛が発生しやすいなどという事実も一般的であり、種々のスポーツ障害の一因とされている。しかし、現実には病的な状態 (例えば、扁平足症候群、シンスプリント、疲労骨折など) になってはじめて病院を受診するため、これらのいわゆる“一般常識”を真に裏づける証拠は意外に少ないように思われる。

扁平足の判定方法として、足跡形状 (foot print) による評価は古くは墨塗り法として行われてきた非常に簡便な方法である。しかし、本来は骨格の配列をみて評価すべきで、正確にはレントゲン計測が必要である⁶⁾ことが指摘されている。ところが、レントゲン計測は安易に健常者に対して使用できないため、臨床的で簡便な評価法を用いる必要があるが、冒頭で述べたように「扁平足」の定義はあるものの、その基準 (標準値) も明らかでなく曖昧なままであるというのが現状である。

本研究の目的は、①簡易な評価方法である foot print による非 X 線学的評価指標を定量化し、X 線計測と相関の高いとされるアーチ高率⁷⁾との関連性を検討すること、②扁平足の程度が種々の運動能力 (足趾及び足関節の筋力と全身的で総合的かつ機能的な運動能力) にどの程度影響を及ぼしているのかを検討することである。

II. 研究方法

1. 研究対象

健常女性62名 (平均年齢 20.8 ± 1.46 歳, 平均身長 159.0 ± 5.76 cm, 平均体重 53.2 ± 7.23 kg) の両足124足を対象とした。日常履いている靴のサイズは $22.0 \sim 25.5$ cm (平均 24.0 ± 0.70 cm), Body Mass Index (BMI) は 21.0 ± 2.7 , leg-heel angle は $8.86 \pm 4.26^\circ$ であった。

女性を対象に選択した理由は、柔軟性が高いほどアーチの降下が起こりやすく、一般に男性よりも身体柔軟性が高いとされる女性の方が扁平足の割合が高いと予想されたためである。今回の対象者には、日常生活に支障をきたすような疼痛を有するものは含まれていなかった。

2. 接地足底面の観察 (図1)

被験者に前方約2mの視標を注視して、Pedoscope (接地足底投影器) の平面ガラス板上に裸足にて両後足部間に10cmの間隔をあげ、両膝蓋骨を正面に向けて自然な静止立位をとるようにし、体重を両足に均等にかけるように指示した。したがって被検者ごとに足位は任意とし

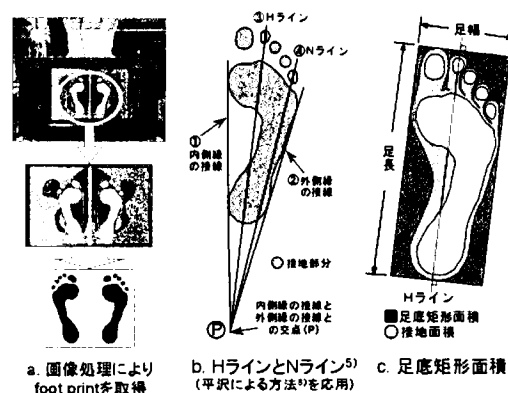


図1 foot printの採取と処理方法

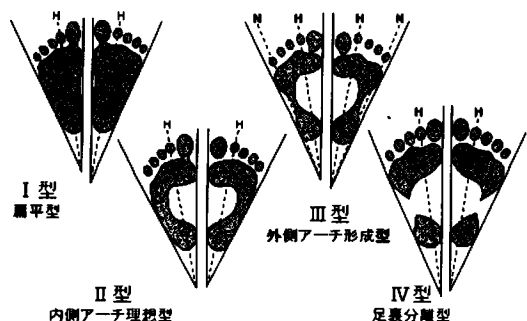


図2 野田式分類法によるfoot printの処理方法⁵⁾

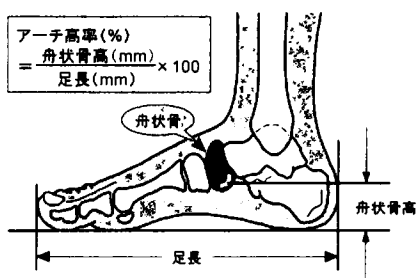


図3 骨格構造上のアーチ評価

た。立位をとってから姿勢が安定するまでのおよそ 15 秒程度経過した後で、足の裏の状態を FUJI FILM 社製デジタルカメラ FinePix4500 にて撮影した (1280×960dot, 24bit ; 解像度 72.0×72.0dpi ; file size 265KB)。

3. 足底面の評価方法

1) 画像処理と接地足底面の分析 (野田式分類法)⁵⁾

得られた画像は、Adobe 社製画像編集ソフトウェア Photoshop Elements で読み込み、足底の接地面のみを範囲指定して取り出し、グレースケールに変換後モノクロ 2 階調処理を施して、接地面が黒色、背景が白色になるように処理した (モノクロ画像)。このモノクロ画像を、Deneba 社製統合グラフィックスソフト Canvas8 にて読み込み、平沢⁸⁾ による接地足底面の分析方法を応用した (図 1)。すなわち、足型の内側縁・外側縁に対する接線を求め、両者の交点を P とする。H ラインは P と第 2 趾中央部を結ぶ線であり、N ラインは P と第 5 趾中央部を結ぶ線である。H ラインと N ラインを基準とした野田⁵⁾ によるアーチ形成の 4 段階分類法 (図 2) を用いて被験者の左右 124 足を I~IV 型に分類した。

2) 接地足底面の面積の計測と標準化

それぞれのモノクロ画像を、画像解析ソフト I.IA32 for Windows95 ver.0.376 β 1 に読み込み、接地足底面の面積を推定した (以下、接地面積)。

一方、加工されていない原画像を用いて、Canvas8 にて第 2 趾先端と踵骨の後端を結ぶ足の機能的長軸 (H ライン) に平行で足の外周の内側縁および外側縁に接する

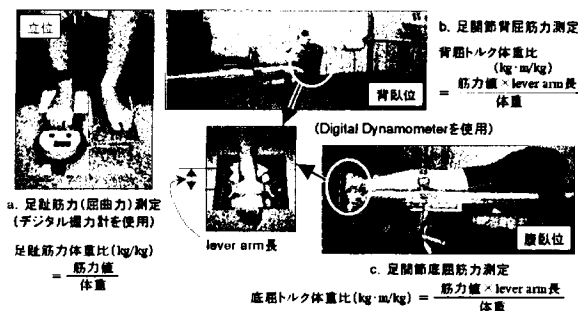


図4 足部筋力の測定法

接線を引き、さらに、H ラインに垂直な足趾 (第 1 趾または第 2 趾) 先端および踵部の後端の足底外周に接する接線を引いて、得られた長方形の面積を求めた (足底矩形面積) (図 1)。このときの長辺の長さが足長となる。接地面積は、足の大きさによるばらつきを補正するために、足底矩形面積で除して、足底面積比率とした。

4. アーチ高率の測定 (図 3)

被験者に Pedoscope による足底面の観察時と同様の姿勢をとらせ、舟状骨粗面の位置を触診にて決定し、下端にマーキングをして、両足に均等に体重が負荷されていることに十分注意しながら荷重時の床面からの高さをキャリパーを用いて測定した (舟状骨高の測定)。アーチ高率は、足長 (mm) に対する舟状骨高 (mm) の割合 (%) によって算出した⁷⁾。なお、足長は Pedoscope で得られた原画像から求められた図 1-c における足長を用いた。

5. 足部筋力の測定法 (図 4)⁹⁾

1) 足趾屈筋群筋力の測定

既製の手指把握力計 (竹井機器工業社製デジタル握力計 GRIP-D 5101) を足趾用に改良して使用し、裸足にて下腿部と足関節部を支柱にバンドで固定して立位で測定を行った。左右それぞれ 3 回ずつ測定し、その最高値を採用した (以下、足趾筋力)。必要に応じ、測定値 (kg) を体重 (kg) で除した足趾筋力体重比を算出した。

2) 足関節底背屈筋力の測定

竹井機器工業社製 Digital Dynamometer を改良し、背屈筋力はベッド上背臥位で、底屈筋力はベッド上腹臥位で測定した。測定にあたり、骨盤、下腿部をベルトでベッドに固定した状態で、測定中は両上肢でベッド端を握らせ、身体を引き上げたり押し下げたりしないよう指示した。測定は 3 秒間の最大等尺性収縮とし、足関節中間位とした。いずれも測定部位から内果までの距離を lever arm の長さとして測定し記録した。左右それぞれ 3 回ずつの測定値のうち最大値を採用し、出力 (kg) × lever arm 長 (m) によりトルク値を求めた (以下、背屈トルクおよび

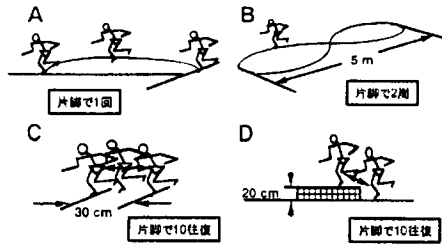


図5 Functional Ability Test: FAT(文献10より改変して引用)

底屈トルク)。必要に応じ、トルク値(kg・m)/体重(kg)により補正した背屈(底屈)トルク体重比を算出した。

6. 機能的運動能力テスト

全身的な運動能力を評価するにあたり、一般的な行動体力のテストで用いられる瞬発力の指標としての立ち幅跳びや垂直跳び、敏捷性の指標としての反復横跳び等は、両脚での運動課題であるため、左右個々の足部の機能に関連した運動能力をみるにはふさわしくないと考え、片脚での運動課題を用いることとした。

そこで、本研究では全身的な運動能力テストとして、伊藤ら^{10,11)}が考案した下肢の機能的運動能力テスト(Functional Ability Test: 以下, FAT)を用い、動的な運動能力を評価した(図5)。すべてのテストは裸足で行った。課題の施行順序は無作為とした。テスト施行における概略は伊藤ら^{10,11)}にしたがったが、細かいルールについては条件を一定にするため、筆者が設定した。詳細は別稿¹²⁾に譲る。

なお、FATの対象は、被検者62名のなかから同意の得られた26名(52足)のみとした。平均年齢 20.9 ± 2.14 歳、平均身長 158.9 ± 3.91 cm、平均体重 53.8 ± 7.47 kgで、BMIは 21.3 ± 2.8 、leg-heel angleは $8.63 \pm 4.05^\circ$ で、日常履いている靴のサイズは23.0~25.0cm(平均 23.9 ± 0.58 cm)であった。

7. 統計解析

統計解析には、SPSS 11.0J for Windowsを用い、以下の1)~4)のすべての処理において、 $p < 0.05$ および $p < 0.01$ を有意とした。

1) foot print 評価の定量化とアーチ高率との関係

野田式分類の型による足底面積比率の比較およびアーチ高率の比較にはTukeyのHSD法(以下、Tukey検定)を用い、足底面積比率とアーチ高率との関連性の検討にはPearsonの積率相関係数を用いた。

2) foot print 評価・アーチ高率と体格要因との関係

体格要因として被検者のBMIを取り上げ、foot print 評価である野田式分類法の型と足底面積比率、アーチ高

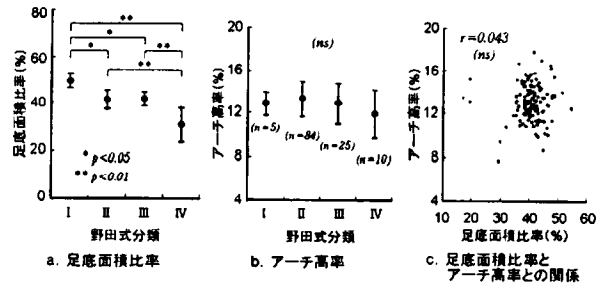


図6 foot print評価の定量化とアーチ高率との関係

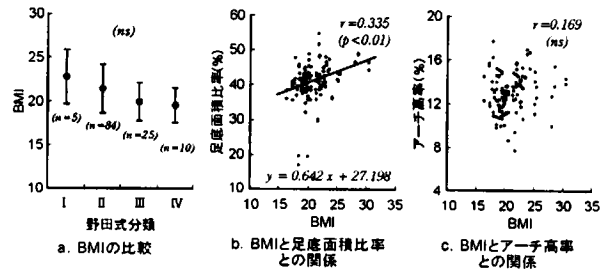


図7 foot print評価・アーチ高率と体格要因との関係

率が体格要因とどのような関連性があるかをTukey検定およびPearsonの積率相関係数を用いて検討した。

3) foot print 評価・アーチ高率と足部筋力との関係

同様にこれら2種類の足アーチ評価が足部筋力とどのような関係があるかをPearsonの積率相関係数を用いて検討した。

4) FATの成績に及ぼす因子の検討

FATの各課題の成績を目的変数とし、体格要因(身長、体重)、筋力要素(足趾筋力、背屈トルク、底屈トルク)、足アーチ(足底面積比率、アーチ高率)を説明変数として、変数間の多重共線性、偏相関係数を考慮の上で、変数減少法(基準除去のF値確率 $p \geq 0.10$)を用いた重回帰分析を行い、各変数のFATの成績に及ぼす影響を各課題ごとに検討した。

III. 結果

1. 野田式分類法によるタイプの分類

対象となった62名124足のうち、野田式アーチ形成分類は、I型5足(4.0%)、II型84足(67.7%)、III型25足(20.2%)、IV型10足(8.1%)で、II型が圧倒的に多かった。また、左右でタイプが異なる被検者もみられた。

2. 足底面積比率とアーチ高率との関係

foot printを定量化するために足底面の接地面積を求めたところ、124足の接地足底面積は平均 85.10 ± 13.33 cm²で、足底矩形面積は平均 209.1 ± 17.32 cm²であった。足底面積比率では、I型 $49.8 \pm 3.35\%$ 、II型 41.2

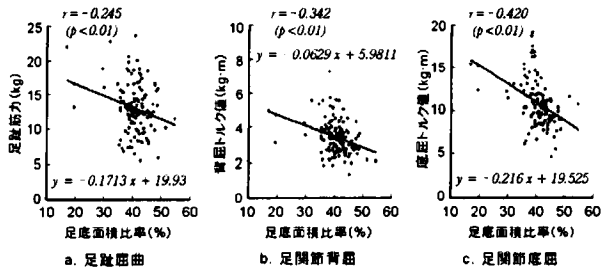


図8 foot print評価と筋力要因との関係

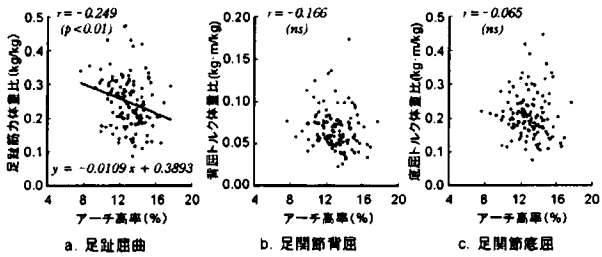


図9 アーチ高率と筋力要因との関係

±3.91%, III型 41.4±2.99%, IV型 30.7±7.02%で、全体では 40.7±5.27%であり、II型とIII型で有意差がなかった以外はすべての組み合わせで有意差が認められ (p<0.05 または p<0.01), I型で最大, IV型で最小であった (図 6-a). これにより, foot print の評価は足底面積比率によって定量化が可能であることが確認できた.

一方, 124 足のアーチ高率の平均は 13.0±1.76%であった. 野田式分類のタイプごとでは, I型 12.8±1.08%, II型 13.2±1.66%, III型 12.8±1.89%, IV型 11.9±2.19%で, すべての組み合わせで統計的な有意差はなく, むしろIV型が最も小さい値であった (図 6-b). また, 足底面積比率とアーチ高率との関係では, r=0.043 (ns) で有意な相関ではなかった (図 6-c). このことから, foot print の評価はアーチ高率と性質が異なることが示唆された.

そこで, 体格要因としてBMIを取り上げて関係性をみると, 野田式分類の型による比較では, I型がIV型に比べて大きい傾向はあったものの, 統計的に有意な差ではなかった (図 7-a). しかし, BMIと足底面積比率との相関はr=0.335で有意 (p<0.01) であった (図 7-b) が, BMIとアーチ高率との相関はr=0.169で有意な相関ではなかった (図 7-c). このことから, foot print の評価結果は軟部組織量に影響を受けていることが示唆されたのに対して, アーチ高率は軟部組織量による影響は非常に低いことが明らかになった.

3. 足アーチの高さと足部筋力との関係

前項において foot print の評価に関しては, 足底面積比率で定量化できることが確認できたので, 以下, 足底面積比率を foot print 評価の変数として用いることとする.

表1 FATの平均値と標準偏差

■ 片脚幅跳び (n=52)	118.9±18.6cm (79.0~154.5cm)
■ 片脚8の字跳躍 (n=52)	14.00±2.20秒 (9.13~21.14秒)
■ 片脚横跳び (n=52)	8.60±0.93秒 (6.77~10.68秒)
■ 片脚段差昇降 (n=48)	13.14±5.83秒 (8.09~37.37秒)

表2 変数間の相関行列

	身長(cm)	体重(kg)	足趾筋力 (kg)	足関節底背屈トルク (kg·m)	足関節底底屈トルク (kg·m)	アーチ高率 (%)	片脚幅跳び (cm)	片脚8の字跳躍 (秒)	片脚横跳び (秒)	片脚段差昇降 (秒)	
身長(cm)	1.000	0.214	-0.102	-0.167	-0.196	0.206	0.157	-0.063	0.185	-0.126	0.101
体重(kg)		1.000	-0.108	-0.144	0.100	0.236	0.059	-0.597**	0.645**	0.351*	0.489**
足趾筋力 (kg)			1.000	0.164	0.095	-0.039	-0.166	0.204	-0.167	-0.103	-0.120
足関節底背屈トルク (kg·m)				1.000	0.713**	-0.250	-0.351*	0.047	-0.382	-0.011	0.034
足関節底底屈トルク (kg·m)					1.000	-0.329*	-0.472**	-0.274*	0.011	0.322*	0.132
アーチ高率 (%)						1.000	-0.058	0.010	0.170	0.079	0.092
片脚幅跳び (cm)							1.000	0.058	0.096	-0.358**	-0.158
片脚8の字跳躍 (秒)								1.000	-0.641**	-0.517**	-0.646**
片脚横跳び (秒)									1.000	0.500**	0.678**
片脚段差昇降 (秒)										1.000	0.446**
片脚幅跳び (cm)											1.000

*筋力およびトルク値は実測値で処理した。また, 片脚段差昇降はn=48, それ以外はn=52である。

表3 重回帰分析(変数減少法)の結果

変数	重回帰分析(変数減少法)の結果				
	変数	片脚幅跳び (cm)	片脚8の字跳躍 (秒)	片脚横跳び (秒)	片脚段差昇降 (秒)
モデル分析	重相関係数R	0.634	0.734	0.588	0.469
	決定係数R ²	0.402	0.538	0.346	0.220
	自由度調整済みR ²	0.378	0.509	0.291	0.203
	分散比F値	16.486	18.652	6.224	12.982
	有意確率p	0.000**	0.000**	0.000**	0.001**
標準重回帰係数 (β)	身長	—	—	—	—
	体重	-0.575**	0.539**	0.273*	0.469**
	足趾筋力	—	—	—	—
	足関節底背屈トルク	—	-0.517**	-0.380*	—
	足関節底底屈トルク	-0.216	0.325*	0.420*	—
アーチ	足底面積比率	—	—	—	—
	アーチ高率	—	—	-0.310*	—

*片脚段差昇降を目的変数とした分析においてはn=48, それ以外はn=52である。*p<0.05 **p<0.01

足アーチの評価尺度 (足底面積比率およびアーチ高率) と足部筋力との関係をみてみると, 足底面積比率においては, 足趾筋力および足関節底背屈トルク (実測値) のいずれとも有意な負の相関 (それぞれ, r=-0.245, -0.342, -0.420, いずれも p<0.01) を示し, 接地面積が大きいほど足部筋力が有意に低下していた (図 8). 一方, アーチ高率においては, 足趾筋力 (体重比) との間に r=-0.249 (p<0.01) と有意な負の相関を示したが, 足関節底背屈トルク (体重比) との間には有意な相関が認められず, 足趾筋力以外はアーチの高さとの関連性が低いこと, 骨格のアーチが低いほど足趾筋力が大きかった (図 9).

4. FATの成績に及ぼす因子の検討

FATに参加した26名のうち, 2名は片脚段差昇降の課題を遂行できなかったため, この課題のみに限り2名分の成績は欠損値として処理し24名 (48足) で統計的処理を行うこととした (表1).

これらの変数間の相関行列を表2に示した. FATの成

績は各課題間で互いに有意な相関であった（すべて $p < 0.01$ ）。体格要因との関係では、すべての課題で体重との間に有意な相関が認められた。筋力要因との関係では、底屈トルクが片脚幅跳びとの間に弱い負の相関 ($r = -0.274, p < 0.05$)、片脚横跳びとの間に弱い正の相関 ($r = 0.322, p < 0.05$) を認めたのみであった。アーチの評価と有意な相関のあったものは片脚横跳びのみであった ($r = -0.358, p < 0.01$)。

そこで、変数減少法による重回帰分析を行った結果（表 3）、すべての課題において有意な相関が得られ、重回帰係数 R （決定係数 R^2 ）は $0.469 \sim 0.734$ ($0.220 \sim 0.538$) であった。各課題ごとに選択された説明変数の標準偏回帰係数 (β) をみても、すべての課題で体重の要因が大きな影響を及ぼしていることが示された。片脚 8 の字跳躍と片脚横跳びでは体重に加えて足関節筋力の影響が強かった。片脚横跳びでは、体格要因の影響は他の 3 課題に比べて少なく、足アーチとの関連性を示した唯一の課題であり、アーチ高率が高いほど成績が良好となる結果を示した。また、すべての課題において身長、足趾筋力、足底面積比率の影響度は非常に低かった。

IV. 考 察

1. 足跡形状 (foot print) とアーチ高率からみる扁平足の判定方法

足アーチの評価は、これまで諸家により様々な方法が考案されてきた。簡便な方法としては足跡 (foot print) の形で評価されることが多いが、扁平足は本来骨格の構造上の低さに問題がある状態であるので、足跡検査では本来のアーチ高を評価できない場合があることも指摘⁶⁾され、骨格構造上の評価が機能的であるとされている¹³⁾。

骨格構造上の評価として我が国では従来より横倉による X 線撮影法（横倉法）が一般的に用いられてきた¹⁾。この方法は足部側方 X 線撮影により、アーチを形成する足根部の各関節の高さを足の大きさから相対的に評価する方法として有用性が示されてはいるが、我々が臨床場面で用いる検査としては実用的ではない。Saltzman ら¹⁴⁾は、足長（アーチ長）に対する舟状骨高の比が内側縦アーチ構造の X 線学的指標と密接な相関関係を示したと報告し、大久保ら⁷⁾による足アーチ高簡易測定法（アーチ高率）も横倉法と相関があると報告されている。しかし、実際にこれを用いて評価してみると、いわゆる正常値の範囲が明らかにされていないため、どこまでを正常とみなせばよいのかといった具体的な基準が曖昧である。

一方、足跡 (foot print) の観察による評価に関しては、平沢⁸⁾による接地足底面の分析方法が利用され、さらに、野田⁵⁾は足底接地面の観察から、この評価尺度を利用して、アーチ形成の程度を I～IV 型の 4 段階に分類する野田式分類法を考案している（図 3）。また、arch index に

よる foot print の評価法も行われている^{15), 16)}。

このようにアーチの高さに関する多くの評価指標は、それぞれアーチ形成に関する同じ視点での評価であるのかどうかは明確ではない。本研究では、健常成人を対象として、Pedoscope により安静立位での足底の接地面を観察し、アーチ高率と野田式分類法との関係を検討するとともに、立位安定性の指標となるとと思われる足底面の接地面積を計測し、これらの指標と関連性があるのかどうかを検討した。しかし、アーチ高率と足底面積比率との間には有意な関連性は認められなかった（図 6）。

足部の構造は、非荷重時と荷重時、筋の緊張状態、各関節の動きによって、全体の外観上自在に形を変えることができ、非荷重時に比べて荷重位では明らかに内側縦アーチ、横アーチが降下し、足長が長くなる¹⁷⁾が、このとき足趾を背屈させると内側縦アーチが引き上げられる。荷重によってアーチが降下する動きはトラス構造とよばれ、荷重時の足底面の面積を広げて安定性を増す働きである。一方で足趾の背屈によってアーチが引き上げられるメカニズムはウィンドラス機構とよばれ、足趾の背屈による足底腱膜や足趾屈筋群の付着部が巻き上げられるように引っ張られるために足底部でのアーチが高く強固となって、活動への準備状態となる^{17), 18)}。このように考えると、接地面積が大きいということは静的な安定性が高い状態であり、接地面積が少ないということは動的な活動性が高まっている状態といえる。ところが、一流スポーツ選手のように、足（足趾）をよく使う人では母趾外転筋などの足底の筋が発達していて、外見的には扁平足にみえても X 線上では骨格アーチが形成されていることがよくある⁶⁾こと、逆に脂肪組織のつき過ぎの場合もあることが指摘されている。すなわち、骨格アーチの構造をより正確に評価している評価尺度はアーチ高率であり、foot print では骨や筋や脂肪組織などの軟部組織を含めた足部全体の外見的な判定であるので、両評価尺度の特性を踏まえて用いなければならない。

2. 足アーチ評価尺度と足部筋力との関係

1) 足趾筋力の評価方法について

足趾筋力が動的姿勢制御に関与していることは、過去の多数の研究^{19)~22)}によりほぼ同一の見解が得られているが、足趾筋力（足趾把持力）の評価方法については研究者により様々である。林ら¹⁹⁾は、被検者を腹臥位とし、膝関節伸展位で足関節最大底屈・内転・回外位での足趾屈曲力を測定し、足部内在屈筋力と定義している。三輪ら²⁰⁾や加辺ら^{21), 22)}は、本研究で用いたものと同様の手指握力計を足趾用に改良して用いているが、いずれも坐位にて膝関節屈曲 90° 、足関節底背屈 0° で固定して用いており、信頼性の高い測定値が得られたとしている。

これらの評価方法において共通していることは、足底

面が床に接しているか否かよりも、荷重位か非荷重位かという問題である。姿勢制御に関わる足趾の機能を論じるのであれば、荷重位での測定を行うべきであると思われる。本研究においては足趾の役割を考慮し、荷重位での測定を行ったが、再現性の検討については行っておらず、また足関節の固定方法なども含めて、課題が残されている。本研究を遂行するにあたって予備実験的に坐位と立位での測定値の比較を試みたところ、明らかに立位での筋出力が大きく、本研究で得られた筋力値は実際の活動場面に近い状態の出力と捉えることができると考えている。

2) 足アーチと足部筋力との関係

アーチ高率は、足趾筋力とのみ有意な弱い負の相関を示し、アーチが低いほど足趾筋力が高かった (図 9-a)。これは、骨格が靭帯性に結合されて形成される足部アーチが低下している場合、外力からの衝撃を吸収しきれないために、足趾筋力を用いて代償しようとする結果ではないかと考えられる⁹⁾。この点については、後述する。

一方、足底面積比率は、足趾筋力のみならず、背屈トルク・底屈トルクとも有意な負の相関を示し、足底面積比率が大きいほど (接地面が大きい、つまり扁平型であるほど)、足趾筋力のみならず背屈および底屈筋力も低かった (図 8)。これは、足底面積比率そのものが肥満度 (BMI) に影響を受ける (図 7) ので、肥満度の高い人ほど、十分な足部筋力を有していないことを支持する結果であり、体重増加により接地面積は増加しやすいといえる。したがって、接地面積が大きい場合には足部の運動に関与する筋の機能レベルを反映しているといえるのかもしれない。

機能解剖学的・運動力学的側面から考えると、接地面積が大きい人は、足部の剛性が低く (柔軟性が高く)、テコとしての働きが低下している可能性がある。おそらく、このようなタイプでは、後足部の回内が生じ、距骨下関節での剛性が低下することにより、前足部でのテコの支点が十分得られていない¹⁰⁾と推測され、非効率な筋出力となっているのかもしれない。この点を明確にするには、leg-heel angle などの下腿を含めたアライメントの詳細な評価・検討のみならず、膝関節を含めた下肢全体のアライメント評価が必要であり、また、アーチの維持に働く前脛骨筋、足趾伸筋群、後脛骨筋などの詳細な機能的評価も必要となる。

3) 足部のメカニズムからみた機能と足趾筋力および疲労について

さて、アーチ (アーチ高率) が低いほど足趾筋力が高いのはなぜかを考えてみると、まず足趾 (特に母趾) の屈曲において重要なことは、特に内側楔状骨と第 1 中

足骨で構成される第 1 列を安定化させる必要があることである (図 10)。これには母趾外転筋と母趾内転筋の同時収縮が必要である。前者は内側縦アーチの下に筋腹を有し、後者は横アーチ部に筋腹を有している^{6),23)}。両者の同時収縮により第 1 列が安定化され、次いで長母趾屈筋と短母趾屈筋による安定した足趾屈曲が行われることになるが、長母趾屈筋は内側縦アーチの下では腱であり、この部分に筋腹は存在していない。また短母趾屈筋の筋腹は第 1 中足骨下にあり筋腹は大きくない²³⁾。

さらに、距骨下関節の肢位により足部の柔軟性あるいは固定性が変化する¹⁰⁾。すなわち、High arch の場合は踵骨が内反して距骨下関節が回外し、前足部の可動性が低下して剛性の高い足部が形成されているため、筋収縮による第 1 列の安定化の必要性は低く、また長母趾屈筋の筋長は短縮して強い張力を発揮できない。一方、Low arch の場合は踵骨が外反して距骨下関節が回内し、前足部の可動性が高まって柔軟な足部が形成されているため、筋収縮による第 1 列の安定化がより必要となる。この場合には、長母趾屈筋の筋長が伸張され張力が高まって高い筋出力につながっているものと考えられる。しかし、High arch ではウィンドラス機構が有効に作用し、効率的な筋出力が発揮されていると考えられるが、Low arch では非効率な筋出力が要求されており、結果的に筋疲労を招くことになるかと推察される。筋電図学的解析においても扁平足では母趾外転筋などの固有筋の活動が増加していることが示されている²⁴⁾。

扁平足における易疲労性に関しては、Otman ら²⁵⁾ がトレッドミル歩行中の酸素消費量を測定した結果を報告している。彼らは、扁平足を有する被検者にアーチサポートを使用させることで有意にエネルギーコストが改善することを報告し、正常なアーチを有する場合に比べて扁平足では床面からの衝撃吸収能が劣るため、歩行時に足部に生じるひずみに対応し、疼痛を回避するためにより多くの筋による努力を必要としているのではないかと考察している。また、健常者における長時間立位保持の研究²⁶⁾ では 2 時間までの間に明らかなアーチ高率の低下を認め、立位における持続的足部回内ストレスによって、

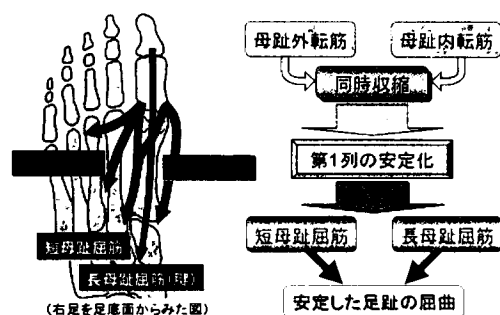


図10 足趾(母趾)屈曲における第1列安定化機構

まず足底の靭帯群、足底腱膜などの static component の伸張、次いで dynamic component としての筋の高い活動が要求されるために筋疲労を招いていると考えられる。さらにトラス構造によってアーチが低下することに対し、足趾屈筋群がこれに対抗していると推測される。

3. 足部アーチ高と下肢の機能的運動能力との関係

FAT の成績は 4 課題とも体重との間に有意な相関を示し、体重が軽いほど成績が良好であったが、筋力との関係では片脚幅跳びと片脚横跳びが底屈トルクと有意な相関を認めたのみで他の筋力との相関は有意ではなかった(表 2)。特に、底屈トルクとの間の関係では片脚幅跳びでは負の相関、片脚横跳びでは正の相関を示した。片脚幅跳びでは上前方への瞬発的な跳躍能力が要求される課題であるので、底屈トルクが大きいことは、身体を上方へ引き上げることに働き、本課題ではむしろ不利な要因となっており、それよりも膝伸筋力などの要因が重要な要素ではないかと考えられた。それに対して、片脚横跳びでは側方へのリズムカルな跳躍が要求される課題であり、多くの被検者では踵を浮かしたまま前足部のみの接地で左右に跳躍する場面がみられたことから、体重による床反力をコントロールするための衝撃吸収能力がタイムに影響すると考えられ、単に底屈トルクが大きいということだけでは前足部への負荷を増大させることになっているのではないかと推察された。このことは、アーチ高率との関連性を認めた課題が片脚横跳びのみであったこととも一致する。野田⁹⁾は、足趾の発達によってアーチ形成が促されることにより、姿勢の保持、歩行時の蹴り出し、左右方向への動きへの敏捷な対応、斜面や不整地への対応、つま先立ちなどにおいて重要な機能を果たすと述べている。本研究では片脚横跳びの成績と足趾筋力とは有意な相関を示さなかったが、これは足趾筋力の測定場面と本課題における足趾の使い方の相違によるものと思われ、アーチ高との関係の重要性に着目すべきである。

重回帰分析の結果においても、体重の影響は 4 課題ともに重要であるが、特に片脚幅跳びと片脚段差昇降は主に体重のみに影響を受けていた。片脚 8 の字跳躍と片脚横跳びは足関節底背屈筋力との関連性が示唆され、片脚横跳びのみアーチとの関連性を示したが、足趾筋力はいずれの課題でも選択されなかった。

足底面積比率は 4 課題ともに有意な変数として選択されなかったが、foot print は体格に影響される(図 7)ことから、FAT の成績が体重に影響を受けるということは、foot print で扁平型を示すほど運動能力が劣っている可能性があることを示唆するものである。すなわち、肥満度が高いほど足底面積比率が大きい傾向にあり、動的活動性が乏しい状態であるといえるのかもしれない。し

かし、FAT を施行できたのは全被検者ではなく 26 名のみに限られていたため、重回帰分析においてはそれが明確にならなかった可能性が考えられる。

いずれの課題とも重回帰モデルとしては統計的に有意であったが、これらの課題では体重による標準化を考慮すべきであるとともに、より足アーチおよび足関節筋力の影響を受ける課題の選択が必要である。

4. 今後の課題について

1) 扁平足の基準とは?

本研究では足部のアーチを評価するために、骨格構造評価としてアーチ高率を、外見的観察評価として foot print による野田式分類法を採用し足底面積比率によって定量化を試みた。しかし、これらの評価尺度は足部筋力と身体運動能力との関係からみて、性質が異なっていることが確認された。一般に扁平足といわれる状態は外見的な観察によって判断されがちである。内側縦アーチ部に存在する軟部組織が、膨隆した筋なのか脂肪組織なのかによって、外見上、同じ扁平型の foot print であっても運動能力が異なるし、アーチ高率のみの評価でも筋力の程度によって運動能力への影響が異なることになる。したがって、安易に扁平足であるから運動能力が劣るとはいえず、運動能力に及ぼす影響を考える際には foot print のみでもアーチ高率のみでも正しい判断はできないことになる。

アーチ形状を維持するには適切な骨形態・強靱な足底面の靭帯・筋の緊張が必要であり、安静立位時にはほとんど関与していない前脛骨筋、長腓骨筋、足底の短筋群(固有筋)が活動時にはきわめて盛んに活動する²³⁾こと、アーチ形成が未発達な場合には母趾外転筋をはじめとする固有筋の活動期間が延長し、歩行中の体重を支持する横足根関節の維持を固有筋群の関節固定作用に頼らなければならない²⁴⁾ことが筋電図解析によって示されている。本研究結果においても、扁平足ほど代償的な足趾筋力の増強現象が生じる可能性が示唆され、長時間の負荷の増加は筋疲労を招き、疼痛発現の原因となりうるということが推測された。

したがって、アーチ評価を行う場合は、両評価尺度の性質を考慮した上で、両者の評価を組み合わせて判定し、かつ足趾筋力の評価が必要であることが本研究結果より示唆された。表 4 に扁平足判定の試案を示したが、そのような評価により、扁平型の foot print でアーチ高率が標準的な値を示す「擬似扁平足」は 2 つのタイプに分類できると推測される。一つは、足趾筋力が強い場合で、内側縦アーチ部の組織は主に筋であると考えられるタイプである。もう一つは、筋力が低い場合で内側縦アーチ部の組織は主に脂肪組織であると考えられるタイプである。当然、運動能力は前者の方が優れていると考えられ

表4 扁平足判定(試案)

foot print	アーチ高率	足趾筋力	運動能力	判定
非扁平 (正常型)	高	中	普通	非扁平足(正常足)
扁平 (扁平型)	高	強	優	擬似扁平足
		弱	劣	
	低	中～弱	劣	真性扁平足

このように、扁平足を判定する場合、foot print・アーチ高率・足趾筋力を評価し、その組み合わせで判定するのが望ましいと考えられる。

る。一方、foot print が扁平型でかつアーチ高率が低い場合には「真性扁平足」であると判断でき、筋力では代償的な増強がみられる可能性が高いが、運動能力は劣り、すでに扁平足障害を生じているかまたは将来生じると予想される予備軍ということになる。

しかし、本研究で用いたアーチ高率と foot print は、いずれもその標準値や基準値を明確にするまでは至らず、今後の課題として残された。また、野田式分類法ではII型が最も多かったが、例えばI型との中間型を再分類するなど、分類法を再考する余地があると思われた。

2) 扁平足と横アーチについて

前述したように、骨格上の内側縦アーチの低下は、多くの場合、後足部の外反を伴う。この状態では、横アーチをつり上げる役割として重要な長・短腓骨筋の筋緊張が低下するために、横アーチの両端の離開を防ぐために作用するつなぎ梁としての靭帯に伸張ストレスが生じると予想される。さらに第1列が十分に安定化されない状態となるため、横アーチ部に存在する母趾内転筋の筋緊張も低下することとなり、前足部は横アーチが低下し、その結果、前足部に加わった荷重は第2～3趾の中足趾節間関節部に集中して有痛性胼胝(タコ)を形成し、疼痛や障害の原因となるものと予想される。この代償として母趾屈筋群が強く活動することは、第1中足骨の外側底部に偏位した母趾外転筋の同時収縮により、母趾は外反変形を惹起する結果となり、外反母趾という病態を招くことになる。このような状態の予防・改善には、少なくとも内側縦アーチの保持が必要であるが、実際は外反母趾を有する患者に対する内側縦アーチの保持を目的とした縦アーチサポーターの装着だけでは効果は不十分で、横アーチに対するアプローチも必要である²⁷⁾。よって、内側縦アーチのみならず、横アーチの評価も併せて行う必要があるが、現段階では横アーチの評価方法についての有効な臨床的手段はなく、今後の課題であろう。

さらなる研究によって扁平足の判定基準の明確化と、横アーチ評価および足趾筋力評価の標準的な方法が確立できれば、その人の持つ筋力や動作能力を足部アーチの

評価からある程度推測できるようになると考えられる。その結果、将来的な足部障害の可能性や関連する骨・関節障害の発生が予測できるようになるとともに、理学療法的な予防的処置が可能となり、障害予防の観点からみても重要な指針が得られるものと思われる。

V. まとめ

扁平足の程度を foot print とアーチ高率を用いて評価し、足趾屈曲力(足趾筋力)、足関節底背屈筋力、機能的運動能力テスト成績との関連性から、扁平足が運動能力に及ぼす影響を検討し、以下の結果を得た。

1. アーチ高率は足趾筋力とのみ有意な関連性が示されたのに対して、foot print は体重増加と足趾および足関節筋力低下に関連し、足部運動に關与する筋の機能レベルを反映している可能性が示唆された。つまり、足部アーチに対する両評価尺度の特異的な点が明確になった。
2. 足部アーチが低下している場合、足部の剛性が低下しており、第1列の安定化が不十分で衝撃吸収が不十分のため、代償的に足部内在筋群の筋活動が増加している可能性が示唆された。
3. FAT の成績は体重の影響が大きいですが、足関節筋力にも影響を受け、また、足アーチ高は側方の敏捷な動きに關与していると考えられた。さらに、足底面積比率が大きいほど運動能力が劣る可能性が示唆された。
4. 扁平足の判定は、foot print・アーチ高率・足趾筋力の評価によって、より明確にできると考えられた。
5. 扁平足の判定基準、評価方法の再現性、横アーチの評価方法など課題は残されたが、個人の筋力や動作能力を足部アーチの評価から推測できるようになれば、将来的な足部障害の可能性や関連する骨・関節障害の発生の予測が可能となり、障害予防の観点からみた重要な指針が得られるものと思われる。

謝 辞

本稿を終えるにあたり、ご協力いただいた被検者の皆様、ならびにご指導を賜りました中川功哉教授、百瀬孝教授、佐藤健教授に深謝致します。

文 献

- 1) 高倉義典, 編: 下腿と足の痛み, pp.129-138, p.11-35, 南江堂, 東京, 1996.
- 2) 北 純, 他: 少年期扁平足の病態と治療. 関節外科, 20: 167-175, 2001.
- 3) 藤井博昭: 小児における歩行時の足内側アーチの変化. 日整会誌, 63: 721-727, 1989.
- 4) Lin C-J, et al.: Correlating factors and clinical significance of flexible flatfoot in preschool

- children. *J Pediatr Orthop*, 21 : 378- 382, 2001.
- 5) 野田雄二：足の裏からみた体。講談社。東京，1998.
 - 6) 近藤四郎：足のはたらきと子どもの成長。改訂増補版。pp.97-104。築地書館。東京，1995.
 - 7) 大久保衛，他：メディカルチェックにおける足アーチ高測定方法の検討。臨床スポーツ医学，6 : 336-339, 1989.
 - 8) 平沢彌一郎，他：保健体育—スタシオロジー—。pp.115-125。放送大学教育振興会。東京，1993.
 - 9) 鳴海陽子，尾田 敦：足部形態が足関節筋力に及ぼす影響。東北理学療法学，14 : 1-7, 2002.
 - 10) 伊藤浩充，他：前十字靭帯再建術後患者における膝関節安定性評価と膝屈伸筋力評価および片脚跳躍評価の臨床的意義について。理学療法学，23 (2) : 59-65, 1996.
 - 11) 伊藤浩充，他：膝前十字靭帯損傷の膝関節機能を反映する下肢の機能的運動能力評価—健常者における検討。理学療法学，18 (5) : 549-553, 1991.
 - 12) 成田大一，尾田 敦：靴の違いが静的および動的運動課題の成績に及ぼす影響。東北理学療法学，16 : 7-13, 2004.
 - 13) 山本利春：測定と評価—現場に活かすコンディショニングの科学。pp.87-90。ブックハウス HD。東京，2001.
 - 14) Saltzman CL, *et al.* : Measurement of the longitudinal arch. *Arch Phys Med Rehabil*, 76 : 45-49, 1995.
 - 15) Staheli LT, *et al.* : The longitudinal arch. *J Bone Joint Surg Am*, 69 : 111-123, 1987.
 - 16) Cavanagh PR, *et al.* : The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomechanics*, 20 : 547-551, 1987.
 - 17) 川野哲英：足趾の使い方とアライメントの変化 1. *Training Journal*, 22 (3) : 51-55, 2000.
 - 18) 入谷 誠：足部・足関節。整形外科理学療法理論と技術。山寄勉・編。pp.36-61。メジカルビュー社。東京，1997.
 - 19) 林 典雄，他：足底挿板が足部内在屈筋力に及ぼす影響について。義装会誌，16 (4) : 287-290, 2000.
 - 20) 三輪 恵，他：足指・足底握力測定器。関節外科，14 (10) : 143, 1995.
 - 21) 加辺憲人，他：足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究。理学療法科学，17 (3) : 199-204, 2002.
 - 22) 加辺憲人：足趾を忘れないでね：姿勢制御に果たす足趾の役割—転倒防止への可能性—。理学療法のとらえ方 Clinical Reasoning PART2。奈良勲・編。pp.209-220。文光堂。東京，2003.
 - 23) Snell RS (山内昭雄，訳)：スネル臨床解剖学，第3版。pp.636-648。メディカル・サイエンス・インターナショナル。東京，2002.
 - 24) 佐藤方彦：人間工学概論。pp.141-148。光生館。東京，1971.
 - 25) Otman S, *et al.* : Energy cost of walking with flat feet. *Prosthetics and Orthotics International*, 12 : 73-76, 1988.
 - 26) 武田さおり，長谷川至，尾田 敦：長時間立位による足部アライメントの変化に関する検討—アーチ高率と足底圧から—。東北理学療法学，11 : 36-41, 1999.
 - 27) 竹村智美，尾田 敦，近江洋一：外反母趾患者に縦アーチサポーターは有効か。理学療法研究，19 : 15-19, 2002.