

足アーチ示数は運動機能と関連するか

茨城大学 服部 恒明

Relationship Between Foot Arch Indices and Physical Performance

by

Komei Hattori
Ibaraki University

ABSTRACT

The relationships between foot print indices and physical performances are analysed on 18 male and 17 female students. The plantar area index corresponding to the "arch index" of Cavanagh and Rogers (1987) correlated with the plantar shape index that measures the roundness level of foot print configuration. Since two indices correlated with the plantar size parameters, it was suggested that the plantar shape is not independent from the size factor.

The foot print indices did not correlate with the extent of sway in normal stance but show a slight correlation in one foot stance. The concave level on the sole may contribute the stability under unstable condition. The significant correlation is revealed between plantar indices and the results of the vertical jump, but not between the indices and the results of the side step.

要 旨

19～20歳の大学生男子18名、女子17名、合計35名の足部計測値および足圧痕により足アーチ示数を求め、これらと静立位と片足立ちの立位

平衡機能、垂直跳び、反復横跳びの関連について検討した。

足圧痕示数（足圧痕面積示数、足圧痕形状示数）は足圧痕の形状に関する情報であるが同時に足圧痕のサイズと相関する。足圧痕示数は静立位にお

いて足圧中心の動揺距離と相関しないが片足立ち位では相関し、足底部の凹状形態の程度が顕著なものは片足立ちのような不安定な起立位ではより安定すると思われる。足圧痕示数と垂直跳びの間に相関がみられたがサイドステップとの間の相関は有意ではなかった。

18項目の因子分析の結果、足アーチ示数は足圧中心動揺距離と同一の因子を形成し直立維持機能との間の関連性が示唆された。

緒 言

生物学的な観点でヒトの特性は直立二足歩行することにある。直立することでヒトは固有の文化を発展させる条件を獲得したことになる(香原, 1975)。一方ヒトの足は直立することに適合して独特な形態をもっている(水野, 1984)。そこで足の形状にみられる個体差が運動機能(パフォーマンス)と関連するという予測が成立し、足の形状は発育学, 人類学, 体育科学の関心事になってきている(根本, 1966; 木村と高井, 1971; 服部ら, 1984)。

足の形状を解析する方法には三次元的情報を取り込んだもの(服部, 1985; 河内と山崎, 1990)から、足圧痕(foot print)によるものまで様々である。足圧痕法はその簡便さから多くの集団を対象にするフィールド調査に採用でき、今までに多くの研究が試みられてきている(加藤ら, 1957; 加藤ら, 1960; 野田ら, 1981; Stahelli ら, 1987)。しかし足圧痕法の問題点も種々指摘され(水野, 1984)、その情報のもつ意味はかならずしも一義的ではないものと思われる。問題点を包含しているにもかかわらず足圧痕法を手がかりとする足部形状の評価の試みは特に履物等との関連から行なわれている(Cavanagh and Rogers, 1987; 河内, 1989)。

本研究の目的はCavanagh らが提示した足圧痕形状を計量化する示数(足圧痕面積示数)やそ

の他の足アーチ示数が平衡維持機能や単純な全身のパフォーマンス等と関連するかどうかについて実験的検討を加えることにある。

足の形状との関連が予想される身体機能の中で平衡維持機能は基本的なものであり(藤原ら, 1984; Riach と Hayes, 1987; Riach と Starkes, 1989)、両者の関連に言及することが重要であると考えられる。

研究方法と対象

研究対象

被験者は19~20歳の健康な大学生男子18名, 女子17名, 合計35名である。いずれも運動部に所属し、日常的な運動の習慣を持っているが日々過激なトレーニングを実施するいわゆる専門的な運動競技者とは異なる。

研究方法

足圧痕(foot print)の求め方: 被験者に椅座位姿勢を取らせた後一方の足を床面より浮上させる。

つぎに浮かせた足の下に黒インクを貼付したアクリルプレートを差し込む。被験者は静かにアクリルプレート面に足底を接した後、起立位を経て椅座位に戻り、アクリルプレート面から足底を離す。アクリルプレートに変え足下に吸湿性のよい用紙を挿入した後、被験者は起立から椅座位へ戻る動作を反復した。このようにして明瞭な足圧痕が得られた(図1)。なお、足圧痕を求めた足の側は被験者が片足立ちテストを行なう際に支持性が高いと判断した側で左右を限定していない。

足圧痕面積示数(plantar area index)の算出法: Cavanagh と Rogers (1987)の方法に準拠して足趾部を第2指先点(ap)とかかとの最後突出点(pte)を結ぶ線(足長軸線)に直交する線で三等分した。

足圧痕面積示数とは三等分された中央部の面積の足趾部全体の面積に対する割合である。Cav-



図1 Representative footprints
 a : Plantar area index (PAI) = 21.3, Plantar shape index (PSI) = 37.5
 b : PAI= 27.2, PSI= 51.5
 c : PAI= 33.2, PSI= 37.5

anaghらはこの示数を arch index (足アーチ示数) と称しているが本研究では足アーチ示数とはより広義の概念として Cavanagh らの示数は足圧痕面積示数とした。

足圧痕形状示数 (plantar shape index) の算出法: 足圧痕面積示数とは異なり, 足趾部の形状を全体として数値化するため形状示数 (Hattoriら, 1979) をもとめた。これは平面形状を真円を100とし円から遠ざかるにつれ値は小さくなるもので, 円形度示数 (roundness index) と言うべきものである。足圧痕においては値はいわゆる扁平足では大きく, 凹足では小さくなることが予想される。

この示数の算出の方法はまず足圧痕の足趾部の面積と周囲長を求める。つぎに周囲長を円周とする円の面積を算出しその値と実際にもとめた足趾部の面積の百分率が足圧痕形状示数となる。な

お, 足圧痕の面積や周囲長は座標検出装置 (Graphtec DT 1000) にてデータ入力しパーソナルコンピュータで処理し求めた。

足内側高示数 (foot height index) の算出: 足内側面において第1中足骨骨頭部の最内突出点, 舟状骨粗面の最内突出点, 内果点 (脛骨最下点,

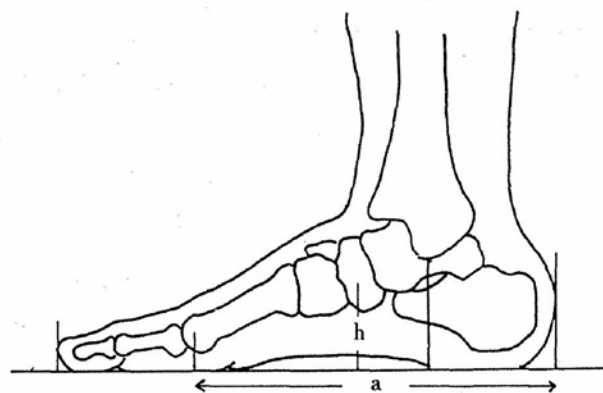


図2 Calculation of foot height index
 (Foot height index = $h \times 100 / a$)

sph), に印をつけたのち, 透明なアクリル板に内側面を接するように起立させた. 図2に示す長径および高径を滑動計で直接計測し, ついで足内側高示数を求めた.

立位平衡維持機能テスト

フォースプレート (Kistler 9281 B) を用いて以下の3種の平衡維持機能テストを実施した. テストはいずれも開眼で実施した.

1) 静立位 (normal stance) テスト: 両足は内接し前方5mの目線の高さの目標点を注視した姿勢をとらせ, 姿勢が安定したとみられる数秒後から30秒間サンプリングを行なった.

2) 片足立ち位 (one foot stance) テスト: 片足立ちの能力には左右差 (きき側差) が見られることが知られているため (渡辺ら, 1984; 月村ら, 1989), 本研究では被験者が自分でより支持性が高いと判断する側の足で静立位と同様30秒間サンプリングを行なった.

3) 最大動揺範囲 (maximum sway range) テスト: 身体を前後左右に傾斜させ, 起立位の保持が可能な限界域を知ろうというものである. 被験者は静立位からスタートし30秒間のテスト時間内に任意のペースで前, 後, 右, 左の順番に身体を最大傾斜させた. その際, 両足の足底は

フォースプレート面から離さないこと, 股関節は伸展位を保つことを条件とした. 動揺範囲率は前後動揺範囲率 (前後動揺範囲 \times 100 / 足長), 左右動揺範囲率 (左右動揺範囲 \times 100 / 両足幅) として求めた.

平衡維持機能テストの解析処理: データは0.1秒間隔で入力され, フォースプレート上への圧力中心点 (CP; center of pressure) の位置情報のみが解析対象とされた. 30秒間の移動距離 (extent of sway) と速度 (sway velocity) を求めた.

結 果

表1に身長, 体重および足部計測項目の平均値および標準偏差が示されている. 身長の平均は男子172.5 cm, 女子160.6 cm, 体重は男子67.0 kg, 女子55.3 kgで運動を行なっていない一般女子学生の平均が157.3 cm, 51.4 kg (服部, 未発表) であるのに比し日常的に運動を実施しているグループであるため体格は良好である.

表2に足圧痕より得られた面積および足圧痕示数の平均値と標準偏差が示してある. 足趾部の総面積は男子103.5 cm², 女子85.7 cm²であるが, そのうち足趾前部が最も大きく, ついで足趾後部で

表1 Means and standard deviations of stature, body weight, foot dimensions and foot indices

	Males		Females	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Stature (cm)	172.5	5.14	160.6	5.14
Body weight (kg)	67.0	6.87	55.3	7.08
Foot length (cm)	25.3	1.01	23.4	1.27
Foot breadth (cm)	10.2	0.41	9.2	0.58
Maximum feet breadth (cm)	19.5	0.70	17.5	1.05
Foot digit span (cm)	8.9	0.58	8.0	0.60
Maximum digit span (cm)	10.2	1.05	9.3	0.98
Medial arch height (cm)	5.5	0.93	4.9	0.72
Height of ankle (cm)	7.8	0.78	7.0	0.72
Foot height index	31.4	5.77	29.2	4.20

表2 Means and standard deviations of the items of the foot print

	Males		Females	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Total plantar area (cm ²)	103.5	11.33	85.7	13.39
Pre-plantar area (cm ²)	42.5	4.36	38.2	4.59
Mid-plantar area (cm ²)	27.9	5.55	21.6	6.27
Post-plantar area (cm ²)	30.4	2.84	25.9	3.06
Plantar contour length (cm)	52.4	1.80	50.0	3.26
Plantar area index	26.8	2.47	24.8	3.37
Plantar shape index	47.4	4.60	43.1	5.94

足蹠中部が最も小さい。足圧痕面積示数は男女それぞれ 26.8, 24.8 であり, この値は Cavanagh と Rogers (1987) のアメリカ人の値, 23.0 (男女合計) と比べやや大きい。足圧痕形状示数は 47.4, 43.1 となっており男の方が足圧痕形状は丸いといえる。

表3はフォースプレート上において測定した足圧中心動揺の測定結果を示したものである。30秒間において総動揺距離は静立位で男 39.5 cm, 女 48.2 cm であるが, 片足立ちでは男 123.4 cm, 女 106.2 cm におよんでいる。この結果は速度(単位時間当たりの動揺距離)に反映され, 静立位の値が男で 1.3 cm/sec, 女で 1.5 cm/sec であるのに対し片足立ちでは男 4.1 cm/sec, 女 3.5 cm/sec となっている。

足圧中心の最大前後動揺範囲および最大左右動揺範囲は静立位についてのみ実施したが足長およ

び両足最大幅との割合である左右動揺範囲率及び前後動揺範囲率は男で 72.2, 66.3%, 女で 66.6 および 66.5% となっている。この値は石井ら (1988) による前後方向の移動範囲が男で 63.2, 女で 67.8% であるという報告と近似している。

表4は全身パフォーマンスとしての垂直跳びおよび反復横跳びの結果が示されている。垂直跳びは男 64.1 cm, 女 48.8 cm であり, 反復横跳びは男 46.1 回, 女 39.9 回となり一般学生にくらべかなりの好成績といえる(服部, 未発表)。

つぎに3つの足アーチ示数間の関係を見るため行なった相関分析の結果を示す(表5)。なお相関分析では2測度間の相対的な関連が着目されているので男女のデータはプールされた。足圧痕面積示数と足圧痕形状示数の相関係数は 0.84 であり有意な相関関係が認められた。足圧痕面積示数および足圧痕形状示数と足部内側高示数との相関係

表3 Means and standard deviations of postural sway

	Males		Females	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Normal stance :				
Extent of sway (cm)	39.5	8.95	48.2	14.60
Sway velocity (cm/sec)	1.3	0.30	1.5	0.50
Lat. range of total base (%)	72.2	7.91	66.6	7.31
Ap range of total base (%)	66.3	7.64	66.5	6.73
One foot stance :				
Extent of sway (cm)	123.4	18.87	106.2	32.11
Sway velocity (cm/sec)	4.1	0.63	3.5	1.07

表4 Means and standard deviations of vertical jump and side step

	Males		Females	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Vertical jump (cm)	64.1	9.23	48.8	7.90
Side step (times)	46.1	3.26	39.9	3.12

表5 Correlation coefficients between foot arch indices (n=35)

	Area index	Shape index
Plantar area index		
Plantar shape index	0.84**	
Foot height index	-0.20	-0.23

** Significant at 0.01 level

数は男-0.23, -0.20となり, いずれも負の相関傾向を示すが有意ではない。

図6は足アーチ示数と体格および足部計測項目間の相関を示したものである。注目すべき点は足アーチ示数が体重, 足のサイズ(足長と足幅)と有意に相関しさらに足蹠部面積のいずれとも明瞭に相関していること($r=0.52-0.93$)である。足内側高示数は足内側高自体と当然相関するが他の項目とは相関がみられない。

表7には足アーチ示数と足圧中心動揺との相関

分析結果が示されている。静立位では相関傾向は認められないが片足立ちの動揺距離および速度で正の相関が認められる($r=0.36-0.40$)。また足内側高示数とはいずれも相関が認められない。最大前後および左右動揺範囲については足圧痕面積, 形状示数と最大前後動揺範囲率との間に $r=0.31, 0.28$ の相関があるが有意ではない。

表8には足アーチ示数と全身パフォーマンス間の相関分析結果が示されている。足圧痕示数は垂直跳びとは正の相関があるが($r=0.35-0.37$)反復横跳びとの相関は有意ではない($r=0.22-0.27$)。

以上速度間の関連性を単純相関分析結果によってみたが, 全体的関連性を概観する目的で男女のデータにより主要な18項目の因子分析(主因子法)を実施した。その結果は表9に示してある。いずれも固有値が1以上の因子として5因子が抽

表6 Correlation coefficients between foot arch indices and body dimensions

	Area index	Shape index	Height index
Stature	0.26	0.34*	0.10
Body weight	0.38*	0.45**	0.09
Foot length	0.43**	0.46**	-0.09
Foot breadth	0.34*	0.36*	-0.10
Medial arch height	-0.07	-0.14	0.94**
Foot digit span	0.32*	0.30	-0.02
Maximum digit span	0.11	0.01	0.09
Total plantar area	0.79**	0.74**	-0.12
Pre-plantar area	0.68**	0.66**	-0.10
Mid-plantar area	0.93**	0.83**	-0.18
Post-plantar area	0.53**	0.52**	-0.04

** (*) Significant at 0.01 (0.05) level

表7 Correlation coefficients between foot arch indices and postural sway

	Area index	Shape index	Height index
Normal stance :			
Extent of sway	-0.07	0.05	-0.02
Sway velocity	-0.16	-0.05	0.02
One foot stance :			
Extent of sway	0.40**	0.36*	-0.01
Sway velocity	0.40**	0.36*	0.01
A-P sway range ratio	0.31	0.28	0.11
Lat. sway range ratio	0.15	0.12	-0.12

** (*) Significant at 0.01 (0.05) level

表8 Correlation coefficients between foot arch indices and physical performances

	Area index	Shape index	Height index
Vertical jump	0.35*	0.37*	0.12
Side step	0.22	0.27	0.12

*Significant at 0.05 level

出された。

まず第1因子は体格と足のサイズ、また足圧痕の面積およびパフォーマンスに関するものである。

この因子にはさらに静立位における足圧中心動揺距離が負の符号をもって関与している。第2因子は足の内側の高さに関するものであり足内側高示数はこの因子に含まれる。第3因子には足指間距離 (span) の成分および足圧中心動揺範囲が含まれている。第4因子は足圧中心動揺距離と足圧痕示数が関与している。第5因子はパフォーマンステストの因子であり最大足指距離もこの因子に属している。

考 察

足アーチ状態を表すための示数や分類法は今までに様々なものが提示されてきているが、それらが持っている意味はかならずしも明瞭なもので

はなかった。殊に定性的な分類法は足圧痕形状の移り変わりが連続的なものであるのに、非連続的にカテゴリー化する点で無理があった (水野, 1984)。Cavanaghらはこの点を改善し足蹠部を3等分したのち面積を算出し、その形状を彼らのいう“arch index”として示数化した。

この示数では足指部の情報が含まれていないことは足指部の形状が足アーチとは独立の因子によって規定されている可能性が大きい点を考慮すると妥当な措置といえよう。この足圧痕面積示数に対し今回新たに提示された足圧痕形状示数は足蹠部の形状を丸みの度合いを基準に全体として捉えようというものである。

足蹠中央部の増大は足蹠部全体に丸みをもたらすものでありこの両示数が高い相関を示すことは十分予想されることである。しかし2つの示数の持つ意味は他の測度との相関関係がかならずしも一致しないことから異なった面も含んでい

表9 Factor loadings from factor analysis.
Results of orthogonal transformation solution-Varimax.
Only the values greater than .4 are listed. Decimal points are omitted

	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5
Stature	80				
Body weight	90				
Foot length	86				
Foot breadth	81				
Height of ankle	43	68			
Medial arch height		94			
Foot digit span	59		50		
Maximum digit span			55		48
Total plantar area	86				
Extent of sway, Normal	-46			58	
Extent of sway, One foot				72	
AP range of total base			78		
LAT range of total base			85		
Foot height index		95			
Plantar area index	67			46	
Plantar shape index	66			47	
Vertical jump	52				64
Side step	49				75
Eigen value	7.02	2.82	1.77	1.52	1.03
Variance proportion	39.0	15.6	9.8	8.4	5.7

る。だが両示数の持つ意味についてはさらに検討を加える必要があるだろう。足内側高示数と足圧痕示数との相関は顕著なものではなくパフォーマンスとの関連も不明瞭である。舟状骨の最突出点は解剖学的に広がりがあり、この示数によってアーチの情報を得ようとするには限界があるかもしれない。

いずれの示数においても足のサイズと強い相関がみられたことは興味深い。すなわち足圧痕示数とは足の形状の情報であると同時に大きさの情報をも含むものであるといえる。この点は両示数とパフォーマンスとの関連を論じようとするとき重要な意味を持ってくる。

まず足圧中心動揺と足圧痕示数の相関で静立位では相関しないが片足立ちでは相関傾向がみられるのは注目に値する。即ち、通常の二足立位では

足圧痕示数の差が平衡維持機能の差となってはあらわれないが、一足による不安定な状態では足圧痕示数が大きく足圧痕が丸みを持つ個体で足圧中心の動揺距離も大きくなり、より不安定となる傾向を示唆している。

先に述べたように足圧痕示数の小さいものは足のサイズも小さい傾向がある点を考慮にいと、足圧痕示数の小さいものが片足立ちの安定性に優れる要因としてそれらのより強い凹状の形態に由来するものと推察される。

因子分析の結果、静立位と片足立ちの平衡維持機能が足圧痕示数と共通の因子として抽出されたことは上述の見解と矛盾しない。

足圧痕示数が全身のパフォーマンス、とくに垂直跳びと相関することは興味深い。発育期で土踏まずの発達パフォーマンスと関連するという報

告もあるが(永田と高橋, 1986), 因子分析の結果から垂直跳びおよびサイドステップは足圧痕示数と同じ因子を構成する。また体重や足のサイズと共通の因子を構成しており足圧痕示数とパフォーマンスとの関連には体格の成分が介在している可能性がある。平沢(1960)は足指が運動機能への重要な意味を持つことを示唆している。

以上足アーチ示数と身体の機能との間にみられる関連性について様々な知見が得られたが, 足部形状の持つ意味は単一ではなくまたパフォーマンスとして示された身体機能の意味するところも多岐であると考えられる。

まとめ

足アーチ示数のなかで足圧痕示数(足圧痕面積示数, 足圧痕形状示数)は足底部形状を示す適切な示数と考えられる。しかし, 若年成人においては足底部形状は足の大きさと独立ではなく足のサイズが大きいものは足圧痕示数も大きい傾向がある。

足圧痕示数の小さいものは片足立ちにおいて足圧中心動揺距離が小さい傾向があるが, 静立位においては足圧痕示数の違いが平衡維持機能に影響を及ぼすことはないものと思われる。全身パフォーマンスの中で, 垂直跳びは足圧痕示数が大きく足圧痕形状がより丸みをもつにつれ, 値は大きくなる。これは身体のサイズが関与した結果と推定されるが, この関与はサイドステップでは明瞭ではない。

文 献

- 1) Cavanagh, P. R., M. M. Rogers ; The arch index : a useful measure from footprints, *J. Biomechanics*, 20, 547-551 (1987)
- 2) 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦 ; 立位姿勢における足圧中心位置およびその規定要因に関する一考察, *姿勢研究*, 4, 9-16 (1984)
- 3) Hattori, K., Y. Shindo, T. Terazawa, S. Morita ; Age change of tibial cross section in fetal period, *Jikei Med. J.*, 26, 195-200

- (1979)
- 4) 服部恒明, 巽 申直, 西尾史子 ; モアレ法による剣道の構え時における足底部形状の観察, *姿勢研究*, 4, 113-118 (1984)
- 5) 服部恒明 ; モアレ法による足底部立体形状の観察, *茨城大学教養部紀要*, 269-277 (1985)
- 6) 平沢弥一郎 ; 接地足跡面積と直立姿勢の安定性についての研究, *三重医学*, 4, 2241-2257 (1960)
- 7) 石井喜八, 伊坂忠夫, 上野裕一 ; 立位姿勢における重心線の前後移動範囲, *姿勢研究*, 8, 65-71 (1988)
- 8) 加藤勝雄, 川上吉昭, 阿部睦男, 針生敏雄, 菅原恒有 ; 都市の一小学校に於ける児童の扁平足について, *体育学研究*, 4, 10-14 (1960)
- 9) 加藤作左エ門 ; 中学生の扁平足と体格, *名古屋医学*, 73, 350-376 (1957)
- 10) 木村邦彦, 高井省三 ; X線による縦足弓の研究, *東京教育大学体育学部紀要*, 10, 95-100 (1971)
- 11) 香原志勢 ; 人類生物学入門, 中央公論社, 20-38 (1975)
- 12) 河内まき子 ; 日本人の足型の個人差の分析, *人類学雑誌*, 97, 373-388 (1989)
- 13) 河内まき子, 山崎信寿 ; ベクトル角度法による足型輪郭形状の変異の分析, *人類学雑誌*, 98, 91-105 (1990)
- 14) 水野祥太郎 ; ヒトの足この謎にみちたもの, 創元社 (1984)
- 15) 永田 晟, 高橋 健 ; 直立姿勢保持とはだし運動教育—足底形態と安定性の関係—, *姿勢研究*, 6, 13-18 (1986)
- 16) 野田雄二, 橋本 道, 山本繁夫, 坂本 央 ; 日本の子どもの土ふまずに関する研究(第3報) —「土ふまず」Nラインによる外側アーチの意義について—, *東京体育学研究*, 8, 73-76 (1981)
- 17) Riach, C. L., K. C. Hayes ; Maturation on postural stability in young children, *Develop. Med. Child Neurol.*, 29, 650-658 (1987)
- 18) Riach, C. L., J. L. Starkes ; Visual fixation and postural sway in children, *J. Motor Behavior*, 21, 265-276 (1989)
- 19) Staheli, L. T., D. E. Chew, M. Corbett ; The longitudinal arch, A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 69-A, 426-428 (1987)
- 20) 月村泰治, 柳田雅明, 崔 文錫, 池田珠江 ; 片足立ちの直立能力—支え足機能の検討—, *姿勢研究*, 9, 61-66 (1989)
- 21) 渡辺 功, 山内公雄, 平沢弥一郎, 晝馬輝夫 ; 成人の直立能力に関する長期的変動(1) —One Foot Testを中心とした—, *姿勢研究*, 4, 97-105 (1984)