

重心及び接地足底からみた児童の 直立能力の発達について

臼井 永男・平沢 彌一郎

An Observation on Standing Ability of the Juveniles

Nagao USUI and Yaichiro HIRASAWA

ABSTRACT

The foundation of the action of every human being is to stand with two soles. And this is one of the most important elements to distinguish human being from other forms of animal life. The ability to stabilize and maintain the standing posture with two soles is said standing ability.

We have experimented with pedoscope to make clear the mechanism of standing posture of the human being. It was proved that the standing ability was deeply related with the neurotic development of the juveniles.

In this study some aspects of postural control in the juveniles, 112 boys and 112 girls, were investigated in terms of measuring the contact surface of the foot sole (CSFS) and the location of the gravity center and its fluctuation in the upright position by the use of pedoscope and stasioanalyzer.

We especially researched whether there was any functional difference between the right hand and left one, and between the right foot and left one.

Results examined were concluded as follows;

1) The formative proportion of the plantar arches has been high since their entrance to school in comparison with that of the other schools.

The plantar arches have been formed in 94% of all the juveniles of the school.

2) It was proved to be difficult to forecast the motion ability by the forms of the plantar arches.

3) Standing ability was higher in the girls than in the boys.

4) Standing ability became high by aging. In the lower grade (especially one grade), it tended to be comparatively high.

5) It was suggested that the right foot was more functionally prominent than the left in the upright standing for each grade of both sexes. The coefficient of variation of CSFS of upper (toe) is larger than one of lower (heel).

These two results are opposite with the one of the normal adults.

6) The position of gravity center was located at about 40% from the heels for each grade of both sexes.

7) Comparing with the establishment of functional difference between the right and left hands, that of the foot was evidenced to be very slow for the age.

I. はじめに

ヒトのあらゆる動作の基本は、2本の足の裏で立つことである。しかもこれは人間を他の動物と区別する最も重要な要素の一つでもある。この2本の足の裏で立つ直立姿勢を安定保持する能力を直立能力と言う。

われわれはこれまで、ヒトの直立姿勢のメカニズムを解明するため重心計ピドスコープを用いて実験を行ってきた。そして直立能力は小児の神経発達と深いかかわりがあることが明らかとなった。

今回は、研究校として「はだし教育」を実施している小学校児童を対象に直立能力を測定し、特に手と足の機能的左右差と直立能力の発達との関係を調べたところ、興味ある結果が得られたので報告する。

II. 方 法

測定方法・1

形態計測として、身長、体重、左右各々の足長、足幅を測定した。

また手足の一侧優位性を調べるため、アンケート方式で以下の調査を行った。発達神経学的に一侧優位性が重要視されており、発達につれて左右差が明確になってくることが知られている。

- (1) あなたはどちらの手で字をかきますか
- (2) どちらの手でボールをなげますか
- (3) どちらの手で絵をかきますか
- (4) ハサミできるのはどちらの手ですか
- (5) どちらの手ではをみがきますか
- (6) どちらの足でボールをけりますか
- (7) かたあしケンケンはどちらがじょうずですか

を調べた。

(1)~(5)の手については

- | | | |
|---------|---------|-----|
| 1) 右手利き | 5/5 | が右手 |
| 2) 右手優位 | 3/5~4/5 | が右手 |
| 3) 左手優位 | 3/5~4/5 | が左手 |
| 4) 左手利き | 5/5 | が左手 |

に分類した。

(6), (7)の足については

- 1) 右足ボール, 左足ケンケン
- 2) 左足ボール, 右足ケンケン
- 3) いずれも右足

4) いずれも左足
に分類した。

測定方法・2

ピドスコープのステージ上で両足をそろえた安楽姿勢をとらせ、このときの接地足底面を 35 m/m カメラで撮影し、実寸大にトレースした像から、図 1 に示す計測を行った。

内側線と外側線の交点と第 2 指の中央を結ぶ線を H Line とし、踵部から第 2 指の先端までの長さを HL 長とした。

HL 長を垂直に 3 等分する線をそれぞれ x 長, y 長とした。

内側線と H Line のなす角を内側足角, 外側線と H Line のなす角を外側足角とし、両者の合計を足角とした。

土踏まず形成状態は、H Line と接地足底の形状との関係から図 2 に示す、ABC の 3 タイプに分類した。

測定方法・3

直立姿勢を安定保持したときの接地足底面積の変化、並びに重心位置、重心動揺を同時測定できるスタシオアナライザ (パテラ KK) を用いた。

スタシオアナライザのステージ上の指定された場所に、素足にて両足をそろえ、眼位と水平な前方約 2 m の視標を注視して 20 秒間、直立姿勢を安定保持させた。

接地足底面は、中央で前後左右に 4 分割され、それらの組み合わせにより各々 9 か所の

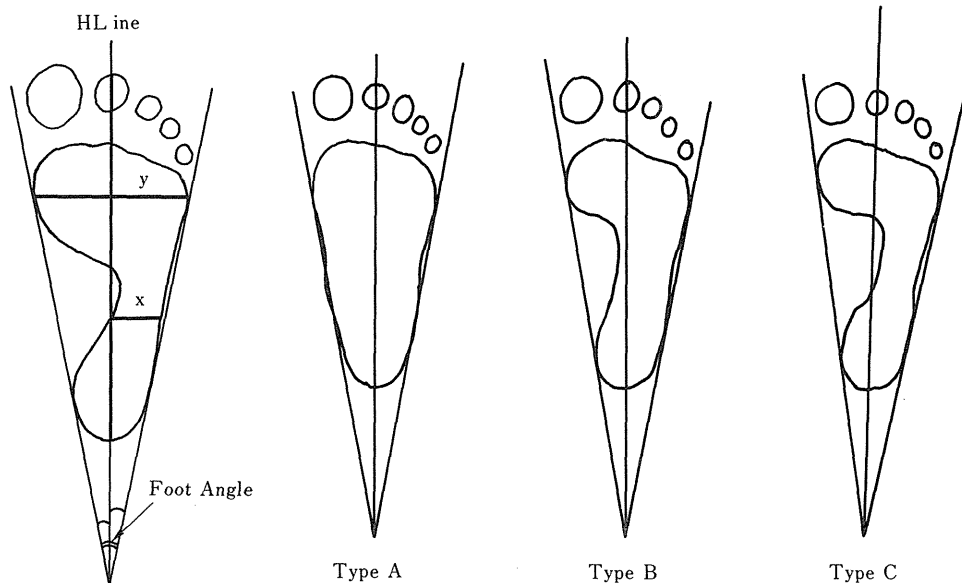


図 1 Method of Analysis

図 2 Pattern of Contact Surface of Foot Sole

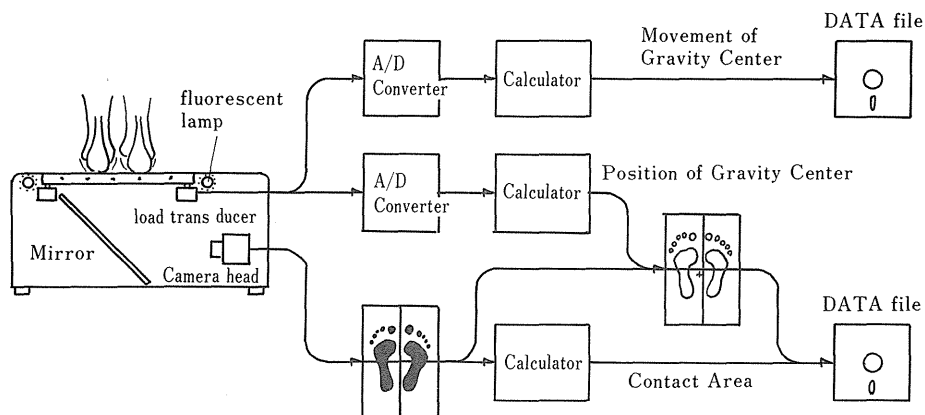


図3 Measuring System (Stasioanalyzer)

面積を1秒間に60回、20秒間に1,200回算出して統計処理し、面積の変動を求めた。この変動が小さいほど直立能力が高いと考える。

なお9種の測定部位は、左足前部UL、右足前部UR、左足後部LL、右足後部LR、左足LEFT、右足RIGHT、前部UPPER、後部LOWER、全体FULLである。

また足長を100としたときの重心位置、並びに20秒間の重心動揺面積と総軌跡長を求めた。

重心位置は、20秒間の測定開始時の値を用いた。重心動揺面積と総軌跡長は、重心動揺のアナログデータをAD変換し、コンピュータによって算出される。面積は、左右方向の動きの最大幅と、前後方向の動きの最大幅の積によって求めた。総軌跡長Lは

$$L = \int_0^t \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$

によって求めた。サンプリングタイムは20 msecである。

測定システムを図3に、得られたデータの一部を図4に示した。

測定対象は奥野田小学校全児童男子112名、女子112名である。

測定1は昭和63年5～6月、測定2は同年5月、測定3は同年6月に実施した。

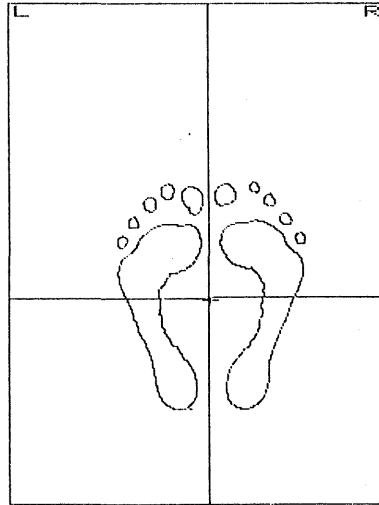
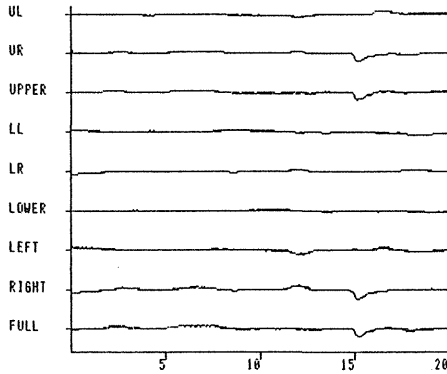
III. 結 果

測定結果・1

身長、体重、足長、足幅は、男女とも学年が進むにつれてその値が大きくなっていく。しかし5年生男子、並びに6年生女子は共に6年生男子よりも大きかった。体格は5年生男子と6年生女子が相対的に大きいことがわかった。

足長は、各学年男女共、左足の方が右足よりも大きかった。足幅は、2年生女子を除いて右足の方が左足よりも大きい値を示した。5年生は男女共、右足が左足より大きい人の

FILE NAME : SATO
 INSPECTION DATA OF AREA FOOT-L : 18.9 TIME : 20 sec
 NO. : 2058 FOOT-W : FIGURE : OUTLINE
 NAME : SATO TIME : GET FIGURE : END
 SEX : DATE : F.S.LENGTH : 130 mm
 YEARS : HEND : 0 X : 10 mm
 HEIGHT : INSPEC. : Y : 92 mm
 WEIGHT : ASSIGN : 50 % G% : 49.0 %



UPPER LEFT AREA		UPPER RIGHT AREA		UPPER AREA	
MAX	30.65 cm"	MAX	29.31 cm"	MAX	58.74 cm"
MIN	27.91 cm"	MIN	25.65 cm"	MIN	54.96 cm"
MEAN	29.18 cm"	MEAN	28.45 cm"	MEAN	57.64 cm"
SD	0.53 cm"	SD	0.63 cm"	SD	0.63 cm"
SD/M	1.84 %	SD/M	2.24 %	SD/M	1.10 %
LOWER LEFT AREA		LOWER RIGHT AREA		LOWER AREA	
MAX	22.04 cm"	MAX	20.59 cm"	MAX	41.76 cm"
MIN	20.00 cm"	MIN	18.43 cm"	MIN	40.07 cm"
MEAN	21.23 cm"	MEAN	19.67 cm"	MEAN	40.91 cm"
SD	0.55 cm"	SD	0.39 cm"	SD	0.36 cm"
SD/M	2.60 %	SD/M	1.99 %	SD/M	0.88 %
LEFT AREA		RIGHT AREA		FULL	
MAX	51.59 cm"	MAX	49.67 cm"	MAX	100.15 cm"
MIN	48.39 cm"	MIN	44.96 cm"	MIN	95.56 cm"
MEAN	50.41 cm"	MEAN	48.14 cm"	MEAN	98.57 cm"
SD	0.56 cm"	SD	0.77 cm"	SD	0.71 cm"
SD/M	1.12 %	SD/M	1.60 %	SD/M	0.72 %
				COUNT	1200

図4 Position of Gravity Center and Change of Contact Area

比率が特に高かった。

手の左右差は、ほとんどが主として右手を使用していた。1年生男子は、全員が右手利きで、6年生女子は全員が右手利きか、右手優位であった。

ボールをける足は、ほとんどが右足であった。6年生女子は全員が右足であった。

ケンケンする足も、右足で行う児童が多かった。しかし男子では、学年が進むにつれて左足ケンケンの比率が高くなっていった。

男女とも4年生は、左足でケンケンする率が高かった。

どちらも同じ足で行う人数の比率は、3年生女子が94%と高く、次いで3年生男子の86%であった。4年生男子が最も低く38%、6年生は男女それぞれ75%及び、71%であった。

測定結果・2

HL長は、身長及び足長との相関が高く、本校児童も同様の傾向を示した。

各学年男女共、左足の方が右足よりも大きな値を示した。男子では、高学年の80%が左足の方が右足より大きかった。

y長は、男子では2年生と4年生が右足の方が大きく、他の学年は逆に左足の方が右足よりも大きかった。特に1年生と5年生の左右差が顕著であった。5年生の右足がやや小さな値を示し、全体として学年進行に伴う一定の傾向は認められなかった。

1年生、3年生、5年生、6年生の60%が左足の方が右足より大きい値を示した。

女子においては、6年生を除いて、左足の方が右足に比べて大きい値を示した。なお男子(10%以下)に比べて、左右同じ値を示す人の比率(約20%)が高かった。

x長は、男子では4年生が最も小さく(2 cm)、3年生が最も大きい値(2.5 cm)を示した。2年生と3年生が左足の方が、他の学年は逆に右足の方が左足よりも大きな値を示した。女子においては、2年生が最も小さく(1.9 cm)、1年生が最も大きかった(2.5 cm)。1年生と2年生が左足の方が、他の学年は逆に右足の方が、左足よりも大き

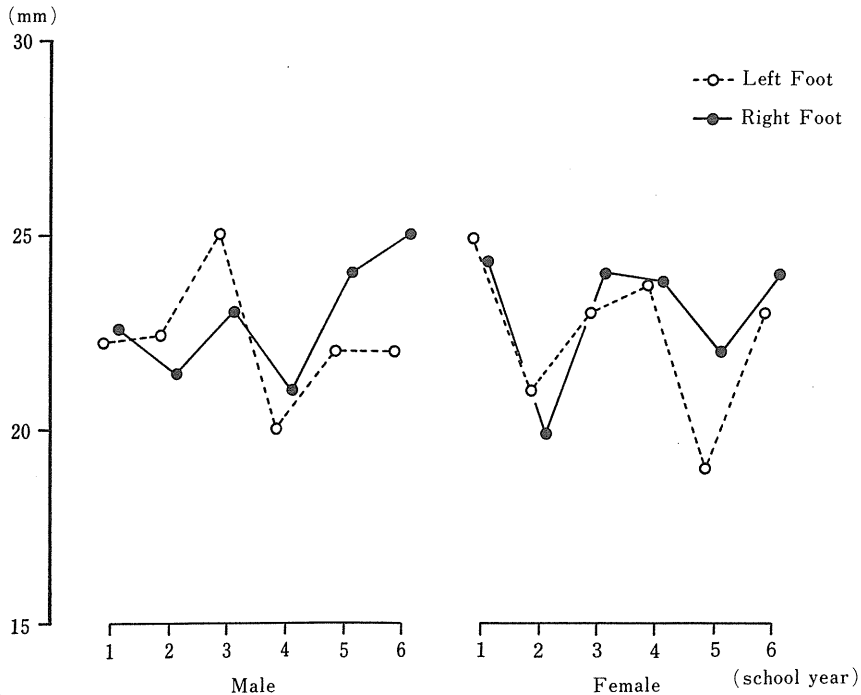


図5 Change of Length of "X"

な値を示した。また学年が進むにつれて、左足の方が右足より大きい人の比率が低下する様相を示した。

男女共、学年進行に伴う一定の傾向は認められなかった(図5)。

足角は、男子では4年生を除いて、左足の方が右足より大きな値を示した。

1年生から4年生までは徐々に大きくなる傾向を示したが、5年生、6年生はむしろ小さな値になった。4年生の右足が最も大きく(約21°)、5年生、6年生の右足が最も小さな値を示した(約18°)。

右足の方が左足よりも大きい人の比率が最も高いのは4年生であり、逆に左足の方が大きい比率が高いのは5年生であった。

女子においては、2年生と6年生が小さい値を示し(17~18°)、3年生が大きな値(約19°)を示した。女子の方が男子に比べて小さな値を示した。4年生を除いて左足の方が右足よりも大きな値を示した。

男子の20~30%、女子の20%が左右同じ値を示していた。

土踏まず形成率は、全校児童の93%がC型で、5%がB型であり、A型は2%であった。4年生と6年生が100% C型、1年生は76%がC型、17%がB型で、A型は7%であった。

男子の右足にA型は1人もおらず、4年生、5年生、6年生は100% C型であった。左足には5年生に1人A型がいるが、これはけがの後遺症によるものである。2年生と6年生が100% C型である。

女子の右足は、4年生と6年生が100% C型であった。左足は、4年生、5年生、6年

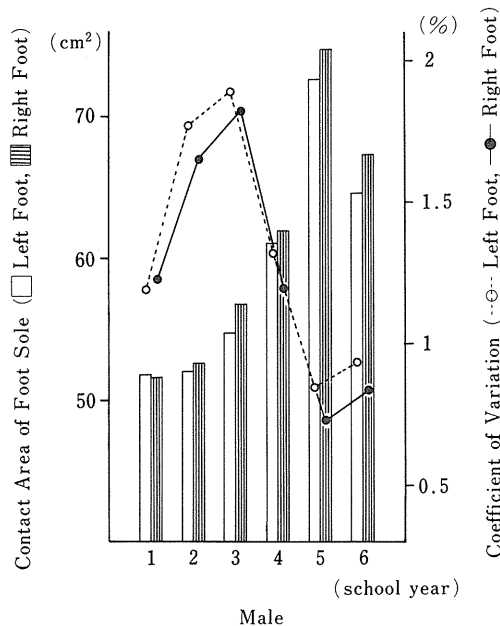


図6 Laterality of Foot Sole

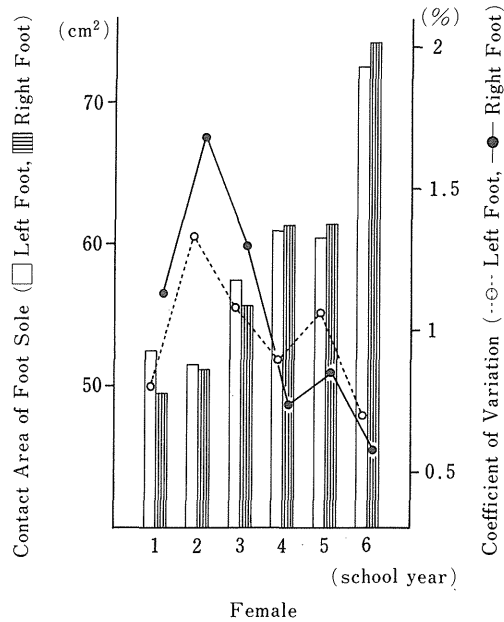


図7 Laterality of Foot Sole

生は100% C型であった。また左右いずれも1年生と3年生にA型が見られた。

測定結果・3

男子では、1年生を除いて右足の方が左足よりも、接地足底面積が大きかった(図6)。学年が進むに従って、この値は大きくなっていき、また左足の方が右足よりも大きい人の比率が低下する様相を示した。

5年生の接地足底面積は、6年生のそれよりも大きかった。

変動係数は接地足底面積の大きい方が小さかった。即ち、1年生を除いていずれも右足の方が左足よりも小さく、安定していた。各学年共、約60%の児童が、右足の方が左足よりも変動係数が小さかった。

2年生、3年生がやや大きく、5年生、6年生が小さな値を示した。また1年生が比較的小さな値を示した。

女子は、1年生、2年生、3年生は左足の方が、4年生、5年生、6年生は右足の接地足底面積が、左足のそれより大きかった(図7)。また学年が進むに従って、右足の方が大きい人の比率が高くなる様相を示した。1年生の比率が約20%、これに対して6年生は約70%であった。

変動係数は、1年生、2年生、3年生は左足の方が右足より小さく、4年生、5年生、6年生は逆に右足の値の方が小さかった。また学年が進むに従って左足の方が大きい人の比率が高くなる様相を示した。1年生は40%、2年生は30%、6年生が80%であった。

1年生が比較的小さな値を示したが、学年が進むに従って変動係数は小さくなる様相を

示した。

各学年男女共、足底前部の変動係数の方が足底後部のそれよりも大きな値を示した。男子は、60～90%の比率で、女子は50～100%の比率で足底後部の方が足底前部よりもその値が小さかった。

3年生女子は、全員が足底後部の方が足底前部よりも変動係数が小さかった。低学年では足底前部の値が幾分大きく、足底後部は各学年ほぼ同じ値であった。

足底全体の変動係数は、1年生が比較的小さな値を示しているが、学年が進むに従って男女共徐々に小さくなる様相を示した。

5年生を除いて、女子の方が男子よりも小さな値を示した。6年生女子が最も小さく(約0.4%)、3年生男子が最も大きかった(約1.1%)。

20秒間の重心動揺の、前後方向の最大幅と、左右方向の最大幅の積によって重心動揺面積を求めた。学年が進むに従って値が小さくなる傾向を示した。2年生と6年生を除いて、いずれも女子の方が男子に比べて小さな値を示した(図8)。

重心動揺の総軌跡長は、6年生を除いていずれも女子の方が男子よりも小さな値を示した。4年生男子がやや大きな値(約300mm)を示したが、学年が進むに従ってその値が小さくなる様相を示した。

5年生、6年生の男女と、4年生の女子が比較的小さな値を示した。ちなみに6年生男子は約200mmであった。

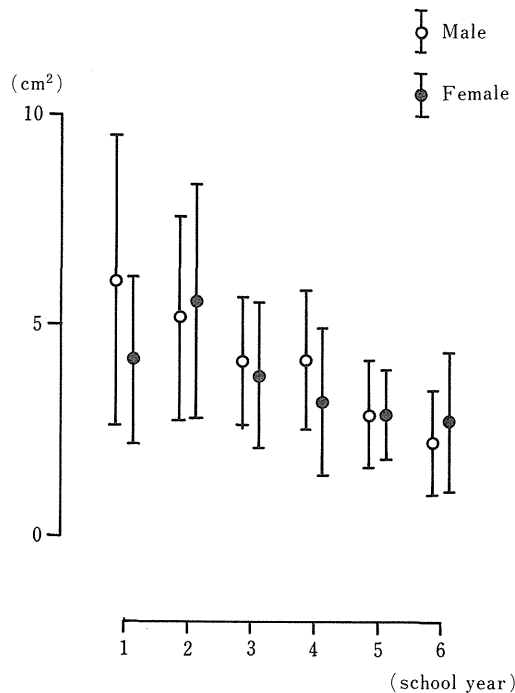


図8 Fluctuation Area of Gravity Center

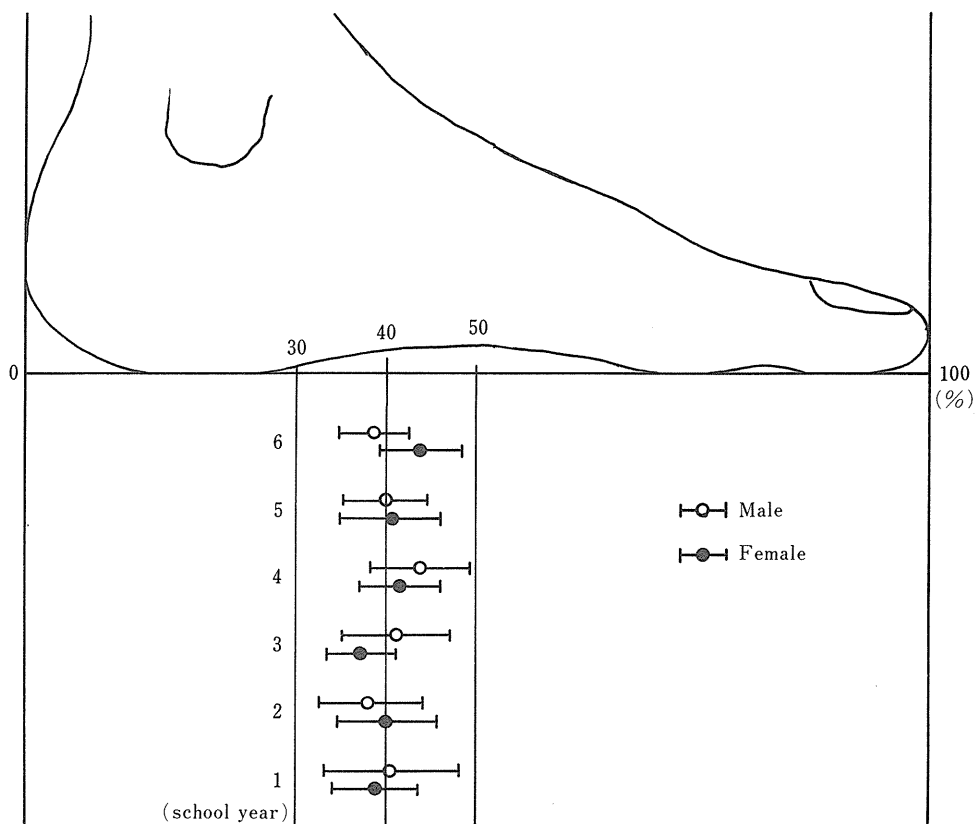


図9 Position of Gravity Center

足長を100としたときの踵からの重心位置に、学年進行に伴う一定の傾向は、認められなかった。4年生男子と、6年生女子の値が大きく（約44%）、3年生女子の値が小さかった（約37%）。1年生、3年生、4年生は男子の方が、2年生、5年生、6年生は女子の方が男子よりも大きな値を示した（図9）。

本校児童の重心位置は、踵から30~50%、ほぼ40%のあたりにあった。それは、学年、性別に左右されなかった。

IV. 考 察

1. 身体計測値並びに接地足底の形状

身長、体重、足長、足幅は、5年生男子と6年生女子が相対的に大きな値を示した。この体格の大きさは、接地足底面積の値を左右し、5年生男子と6年生女子の接地足底面積が大きいという結果を得た。しかし足長、足幅が大きいにもかかわらず、HL長、x長、y長は必ずしもそれらと同様の傾向を示さなかった。

それは、接地足底の形状が、体格あるいは体形に左右されないことを意味する。しかし

HL 長と足長、身長間の相関関係は非常に高いことは知られており、本校児童においてもそれを裏づける結果が得られた。

足長、HL 長は、いずれも左足の方が右足より大きな値を示し、このことは学年、性別に左右されなかった。この傾向を示す人数の比率では、男子の方が女子よりも高い値を示した。

また足幅は、右足の方が左足よりも大きく、これらのことは左足は細長く、右足は短くて幅が広い形状であることがうかがえる。

足角は、男女共 4 年生を除いて、左足の方が右足より大きな値を示した。一般健常成人のデータからは、右足の足角が大きいという結果を得ており、これとは逆の傾向にあることが判明した。

しかし全児童の 20% 以上が左右同じ値を得ており、足角の左右差を論じるには、その差が小さすぎるようにも思える。

なお全体的に足角は大きく、力強い足の形状であった。

y 長、x 長は共に、学年進行に伴う一定傾向は認められなかった。

y 長は一般に左足の方が右足よりも大きい値を示した。足幅は、右の方が大きいという結果が得られているので、逆の傾向である。

x 長は各学年男女共、ほとんど同じ値を示した。女子では 1 年生が最も大きかった。足長及び足幅が大きくなるのに対して、x 長は相対的に小さくなる様相を示している。

このことは、これまで実施されてきた土踏まず形成率 ABC の 3 タイプでの判定では把握できなかった変化を見出す可能性があることを示唆している。

2. 土踏まず形成率

土踏まずの形状は、全校児童の 2% が A 型、5% が B 型で、残りの 93% が C 型であった。C 型が、理想型だとするこれまでの考え方からすると、AB の型に属する 7% の児童の変化を問題にしなければならなくなる。

1 年生の 76% が C 型、17% が B 型、7% が A 型であった。C 型の比率は、他の学校に比べてかなり高率である。これは地域差の問題も無視できず、今後の問題点であろう。

またハイアーチと呼ばれ、足底前部と踵部が分離された形状の接地足底を有する児童が 1 年生 2 名、2 年生 4 名、3 年生 1 名、4 年生 2 名、5 年生 6 名、6 年生 2 名の合計 17 名 (7.6%) あった。彼らはいわゆるベタ足の反対の足で、運動能力その他に優れていると考える研究者もいるが、本校の調査では、必ずしもそうではなかった。

足の土踏まずの形状 ABC の区別によって、運動能力の予測をたてることは、不可能であると考えられた。

3. 接地足底面積と変動係数

接地足底面積は、体格の大きな 5 年生男子と 6 年生女子が、大きな値を示した。

左右を比較すると、男女共右足の方が左足よりも大きく、変動係数は右足の方が小さいという傾向を示した。このことは、右足での支持能力が優位であることを意味しており、一般健常成人とは逆の結果となった。

足角の結果とも相まって、本校児童は、右足支持能力優位の傾向が強いことが示唆された。このことが、本校の体育指導の結果によるものか否かはいまだ結論が出ず、今後の問題である。

なお1年生男女、2年生、3年生の女子は左足の接地足底面積が右足より大きく、左足の変動係数が右足より小さいという、左足支持能力優位の傾向を示した。

足底前部と足底後部の変動係数を比較した。左足と右足の関係と同様に、一般に力が加えられた方の接地足底面積が大きく、変動係数は小さくなることが確認されている。即ち左足に重心が移動すると、左足の接地足底面積が大きくなり、変動係数が小さくなる。

今回の測定では、各学年男女共、足底前部の変動係数が足底後部に比べて大きいことがわかった。足先のセッティングが弱く、絶えず接地面の形状が変化していることによるものと考えられる。

両足の変動係数は、学年が進むに従って徐々に小さくなり、直立能力が向上する様相がうかがえた。なお1年生が男女共、比較的小さく安定していた。

性差においては、女子の方が男子よりも小さな値を示し、この時期、女子の方が神経発達などが早いことを裏付けるものである。

4. 重 心

重心動揺面積及び総軌跡長も、両足全体の変動係数と同様の傾向を示した。これらは直立能力の発達を明確に把握する指標として有効であると考えられる。

6年生女子の成績が比較的良好であった。

重心位置は30～50%で、小学校児童としてはほぼ平均的な値であった。各学年ほぼ同じ値であったことから逆に低学年が平均より足先（前方）に位置しているとも考えられる。

今回得られた前後方向の重心位置からすれば、前述の前後に二分した接地足底面積の変動係数は、足底前部の方が小さくなるように思われる。しかし実際にはかなり足先が動いており、身体の安定保持に、足先の小さな調節が高頻度に行われたことがうかがえる。

5. 手足の一側優位性

児童のほとんどが右手を使用しており、これは学年による差がなかった。全国平均よりも高い比率であった。

足に関しては、支持脚と自由脚（今回は前者をケンケンする足、後者をボールをける足として調査した）が、機能的に分離されていないように思われた。即ち、全児童の約80%がケンケンする足とボールをける足が同じであった。そしてそのほとんどが右足を使っていた。それでも男子において、わずかに学年が進むにつれて、使い分ける人の数が増加する傾向がみられた。

右足でボールをけるためには、左足でしっかり体を支える必要があり、スムーズな動きをするためには、支持脚と自由脚が分離していることが望ましい。

本校児童の90%以上が右手利き、及び右手優位を示しながらも、接地足底の測定からは、右足支持機能優位の結果が得られた。

小学校児童という発達期において、左右の使い分けを決定することが妥当であるかどうかは、難しい問題である。ただ、左右いずれも使いこなせることと、体を支える（ふみきり足と共通であることが多い）のもボールをけるのも同じ足であるというのは別な問題である。今後の指導方針の大きな検討事項であると考えられる。

V. ま と め

ピドスコープ及びスタシオアナライザによって得られた接地足底面積並びに重心動揺から、山梨県塩山市立奥野田小学校児童の直立能力を測定した。

その結果、本校児童は以下の特徴を有することが判明した。

- 1) 土踏まず形成率は、1年入学時から他校に比べて高い値を示した。なお全校児童の94%に土踏まずが形成されていた。
- 2) 土踏まずの形状による運動能力の予測は困難であることが明らかとなった。
- 3) 女子の方が男子に比べて直立能力が高かった。
- 4) 学年が進むに従って、直立能力は高くなっていった。なお低学年（特に1年生）において比較的直立能力が高い傾向を示した。
- 5) 各学年男女共、右足支持機能優位の傾向が認められた。また足底前部の変動係数が・足底後部に比べて大きく、これら2つの結果は一般健常成人とは、逆の傾向である。
- 6) 重心点は、各学年男女共、踵から約40%に位置していた。
- 7) 手の機能的左右差の確立に比べて足のそれは、年齢的に非常に遅れることが明確となった。

以上の結果から、「はだし教育」が直接児童の直立能力の発達に有効であるか否かという結論を出すことは不可能であるが、今後さらに調査検討を加えていく予定である。

稿を終るにあたり、測定調査に快く御協力いただいた山梨県塩山市立奥野田小学校校長山本岩男先生を始め諸先生方、児童の皆さんに心より御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 平沢弼一郎：日本人の直立能力について、人類学雑誌，87(2)：81-92 (1979)
- 2) 平沢弼一郎：Stasiology からみた左足と右足，神経進歩，24(3)：623-633 (1980)
- 3) 小山吉明，藤原勝夫，池上晴夫：幼児の立位姿勢における身体動揺，姿勢研究，2(2)：79-85 (1982)
- 4) 白井永男，平沢弼一郎，川上賢爾：長作小学校児童の直立能力について，姿勢研究，3(2)：65-71 (1983)
- 5) 白井永男，福田恵祥，大橋義春，北村国広，袴田祐治，大村弘司，鈴木陽市，倉沢一男，晝馬輝夫，平沢弼一郎：プランターアナライザによる直立能力の解析，姿勢研究，5(1)：17-22 (1985)

(昭和63年12月23日受理)