

## 裸足運動群と靴着用運動群の荷重点移動範囲の比較

青山敏彦<sup>1)</sup>・園田高一<sup>1)</sup>・阿部茂明<sup>2)</sup>

上野裕一<sup>3)</sup>・具志堅幸司<sup>4)</sup>・河合由貴<sup>5)</sup>

(昭和 61 年 11 月 4 日受付, 昭和 61 年 11 月 22 日受理)

### A Comparison of the Gravity Line Between the Barefeet Practice Group and the Shoes Practice Group

Toshihiko AOYAMA, Koichi SONODA, Shigeaki ABE, Yuichi UENO,  
Koji GUSHIKEN and Yuki KAWAI

The purpose of this study was to examine the function of barefeet and the effects of wearing shoes on the maintenance of posture. The range of travelling of the center of gravity line on the feet was measured with the posture 1) keeping upright, 2) inclining forward and 3) inclining backward on the instrument of Akita (1929). The obtained data were compared among various sports clubs (male; American Football, Rugby Football, Basketball, Kendo, Karate, Callisthenics, Gymnastics, female; Handball, Dance, Gymnastics, Badminton, Softball, Ski). As a result, it was obtained that the range of travelling of gravity line was greater in the barefeet practice group (Kendo, Karate, Callisthenics, Gymnastics and Dance) than in the practice with shoes on group (American Football, Rugby Football, Basketball, Badminton, Softball and Ski) significantly. Also, the male maximum was observed in callisthenics (72.2+9.5%), secondary in Gymnastics (63.8+7.6) and that of female was in dance (73.2+9.7%), secondary in callisthenics (73.0+8.9%) and Gymnastics (66.2+7.2%). The male minimum was observed in American football (47.3+8.5%) and the female minimum was in ski (60.3+6.2%). When we compare male and female data, the range of travelling was greater in female than in male. In both sexes, the range of travelling was greater in the barefeet practice group than in the shoes-on group. It is important to notice that wearing shoes in the daily practice influenced largely to the range of travelling of the gravity line on the feet.

#### はじめに

姿勢についての用語集では<sup>14), 15)</sup>, 「姿勢」を次のように定義している。「姿」は外見的な型で静的な面を, 「勢」は内面的な力で動的な面をあらわし, この両者を組合せて, 内に力をこめた型を意味するとしている。人間の姿勢については, 人類学者が種属の特性の指針として, 整形外科医が骨格・筋系の指針として位置づけるように, それぞれの専門領域における姿勢の概念は千差万別であるともいう<sup>15)</sup>。

運動姿勢を姿勢反射という観点から調べた研究<sup>5)</sup>がある。これはからだの平衡性の反射生理を基盤においてい

る。一方, 直立姿勢を足うらから研究している人<sup>2), 7)</sup>たちがいる。安定性という側面からの接近ということができる。物体の安定は支持面の広さ, 重心の高さ, 物体の重量によるとは物理学が示すところである。支持面としての足うらの形・面積が調べられる一方, 足うらに落ちる重心位置を調べて<sup>1), 2), 3), 6), 7)</sup>いるものがある。しかし, これらは測定値だけが述べられたり<sup>1)</sup>, その値を運動の専門種目の特定のフォームに結びつけて解釈をしている<sup>2)</sup>にすぎない。このように, 直立姿勢の研究にはからだの平衡性の反射生理的研究が多いが, 筋力や関節からの研究はきわめて少ない。この方面の研究は biom-

<sup>1)</sup> 体操運動学研究室, <sup>2)</sup> 健康学 1 研究室, 体育研究所, <sup>3)</sup> 体育研究所, <sup>4)</sup> 一般・教職研究室, <sup>5)</sup> キネシオロジー研究室 (研究員)

echanics の分野では、関節間力 (bone on bone force) や関節に作用するモーメントが算出されて<sup>12), 18), 17), 19)</sup>いるが、姿勢の関係では観ていない。

著者らは徒手体操や体操競技中にみられる立位姿勢の努力的維持のフォームに興味を持ってきた。本研究では、立位姿勢の努力的維持をするときの荷重線 (the line of gravity) が矢状面内を移動する範囲を求め、それらを裸足で運動を行うスポーツ群と、靴をはいて運動するスポーツ群に分けて比較してみることにした。

## 方 法

分析の対象となった測定姿勢は、直立姿勢を自然の状態に保ったとき、立位前傾、または後傾姿勢を臨界点まで維持させたときの3種類である。足うらに垂下する荷重線の位置 (荷重点) は、秋田式重心測定法を用いて測定した。2つの金属製の角アングル棒が100 cmの間隔で平行に置いてある。一方の角アングルの下に体重計を設置し、他方のアングルの下には、両アングルが水平面をつくる台を置いた。両アングルの上には長さ120 cmの平板を置き、水準器によって水平面であることを確かめた。このとき、体重計の目盛りは零目盛に合わせ調節した。平板の表面には体重計のないアングルの頂点に合わせた直線と、それから40 cm離れた平行な直線 (基準線) が、引かれている。

各被検者の身長、体重を計測した後、測定台の上に乗る、基準線に両踵を合わせて立った。その両踵の幅は10 cmで、両足の内側を平行に保った。ここで、マルチン人体計測定器の触角計により足長を計測した。自然立位姿勢 (upright position)、努力前傾姿勢 (lean forward position) そして、努力後傾姿勢 (lean backward position) のそれぞれの姿勢が維持されたときの体重計の目盛りを読みとり、コンピューターに入力した。

自然立位姿勢とは、日常習慣的にとられている直立姿勢である。努力前傾姿勢とは、矢状面内をできるだけ前傾させたときの立位姿勢であり、努力後傾姿勢とは、矢状面内をできるだけ後傾させたときの立位姿勢をいう。

踵から荷重点までの距離 ( $X_i$ ) は次式によって求めた。

$$X_i = (100 I_i \cdot W_i^{-1}) - 40 \text{ (cm)}$$

ここで、 $I_i$  はそれぞれの姿勢における体重計の目盛り、 $W_i$  は各自の体重である。また、100 は両支点間の距離 (cm) であり、40 は支点から踵までの直線距離 (cm) である。

この研究に参加した被検者は運動クラブ活動におい

U : Upright  
F : Lean forward  
B : Lean backward

$$X_i = (100 \cdot I_i \cdot W_i^{-1}) - 40 \text{ (cm)}$$

$X_i$  : distance between heel and loading point on feet from C.G.

$I_i$  : the scale

$W_i$  : body weight

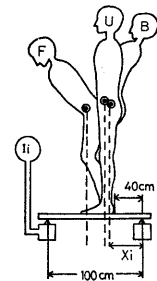


Fig. 1. Measuring method of gravity line during selected standing posture.

て、平常、裸足で行っている剣道 (男)、空手 (男)、体操競技 (男・女)、体操 (男・女)、ダンス (女) と、靴を着用して運動を行っているアメリカン・フットボール、ラグビー、バスケットボール (以上いずれも男子) とハンドボール、バドミントン、ソフトボール、スキー (以上いずれも女子) のクラブ員であった。人数は男子が186名、女子が95名の合計281名であった。Table 1には各クラブごとの被検者数と、体重と足長が平均値と標準偏差で示してある。

## 統計的検索

Student の  $t$  テストにより、有意差の検定を行い、 $P < 0.01$  をもって有意水準とした。

## 結 果

各競技種目別にそれぞれ3種類の求められた姿勢のときの踵から荷重点までの直線距離を平均値と標準偏差で、それと、足長に対するそれぞれの距離の百分率で示した。また、荷重点の移動範囲 (Range of travelling; R.T.) を努力前傾姿勢時の荷重点 (point of gravity line at the lean forward; L.F.) と、努力後傾姿勢時の荷重点 (point of gravity line at the lean backward; L.B.) の差とし、足長 (foot length; F.L.) に対するその割合を  $(L.F. - L.B.) \cdot F.L.^{-1}(\%)$  としてあらわした。

自然立位姿勢 (U.P.R.) における F.L. に対する踵から荷重点までの距離の比は、男子競技者群の平均値と標準偏差は  $46.3 \pm 1.1\%$  であり、群の最大値は KARATE 群の  $51.1\%$ 、最小値は、GYMNASTIC 群の  $41.7\%$  であった。女子競技者群の全体は  $42.6 \pm 0.9\%$  であり、最大値は、HANDBALL 群の  $44.8\%$ 、最小値は、DANCE 群の  $39.8\%$  であった。L.F. 姿勢における踵からの荷

Table 1. Body weight and Foot length of each sports club.

SUBJECTS	N	BODY WEIGHT (kg)	FOOT LENGTH (cm)
(MALE)	(186)	(68.5± 3.8)	(25.3±0.6)
AMERICAN FOOTBALL	33	71.6± 4.5	25.6±0.9
RUGBY FOOTBALL	20	73.3±10.4	25.9±1.0
BASKETBALL	12	62.0± 4.2	24.9±1.5
KENDO	39	68.8± 6.7	25.1±1.1
KARATE	19	66.1± 4.5	25.3±0.3
CALLISTHENICS	30	63.4± 8.5	23.2±0.8
GYMNASTICS	15	59.9± 5.4	28.9±1.0
(FEMALE)	( 95)	(56.2± 4.0)	(23.3±1.0)
HANDBALL	9	59.6± 6.1	24.2±0.8
DANCE	17	54.9± 5.3	23.1±0.7
CALLISTHENICS	17	52.3± 8.3	23.2±0.5
GYMNASTICS	13	49.5± 4.2	22.8±0.8
BADMINTON	15	58.8± 6.5	22.9±0.7
SOFTBALL	15	60.3± 7.2	23.9±0.8
SKI	9	60.7± 6.5	23.1±1.0
TOTAL	281	63.8± 7.0	24.8±0.8

mean±S.D.

Table 2. The distance from the heel to the gravity line (cm) and the relative distance from the heel to the gravity line after converting the feet length into 100 (%). U.P.R.: upright posture, L.F.: lean forward, L.B.: lean backward, R.T. (%): range of traveling of the center of gravity line relative to the feet length.

SUBJECTS	U.P.R. (cm)	L.F. (cm)	L.B. (cm)	U.P.R. (%)	L.F. (%)	L.B. (%)	R.T. (%)
AMERICAN FOOTBALL	11.9±0.3	23.5±1.3	8.5±2.1	46.5±1.1	80.5± 3.7	33.2± 7.9	47.3± 8.5
RUGBY FOOTBALL	11.9±2.0	21.2±1.6	6.0±2.1	46.0±7.7	81.9± 5.4	23.1± 7.3	58.8± 9.2
BASKETBALL	11.3±1.4	19.9±1.3	5.8±1.0	43.5±4.0	79.1± 6.0	23.0± 3.6	56.0± 7.7
KENDO	11.1±1.5	20.0±2.9	5.6±2.9	44.1±6.0	79.7±11.3	22.3±11.6	57.4±11.9
KARATE	12.7±1.2	21.1±1.2	6.0±1.3	51.1±4.2	84.1± 4.6	24.1± 4.8	60.0± 6.5
CALLISTHENICS	11.4±1.9	21.3±1.5	3.4±1.7	46.2±7.0	86.5± 4.6	13.4± 7.3	72.2± 9.5
GYMNASTICS	10.4±2.3	20.2±1.6	4.4±0.6	41.7±9.1	81.4± 6.8	17.6± 2.4	63.8± 7.6
MALE	11.7±0.5	21.2±0.8	5.9±1.3	46.3±1.1	82.0± 3.3	23.1± 9.8	56.9± 6.2
HANDBALL	10.8±1.1	19.9±1.6	5.0±1.7	44.8±4.7	81.9± 5.0	20.8± 7.3	61.1± 8.0
DANCE	9.2±0.9	20.4±2.1	3.5±2.1	39.8±3.7	88.1± 9.5	14.9± 5.0	73.2± 9.7
CALLISTHENICS	10.4±1.5	20.1±1.3	3.7±1.5	44.7±5.6	86.5± 5.4	15.7± 3.2	70.8± 8.9
GYMNASTICS	9.4±1.1	19.3±1.4	4.5±0.9	42.0±3.8	86.2± 5.3	19.9± 3.9	66.2± 7.2
BADMINTON	9.5±1.9	18.7±1.2	4.8±1.7	41.5±7.9	81.6± 4.7	20.7± 6.9	60.9±10.2
SOFTBALL	10.4±1.3	19.1±1.1	4.8±1.1	43.5±5.7	80.2± 4.6	19.9± 4.4	60.3± 5.7
SKI	9.9±1.7	19.4±0.9	5.5±1.4	42.9±6.6	84.0± 3.2	23.7± 5.8	60.3± 6.2
FEMALE	9.9±0.7	19.6±0.5	4.4±0.8	42.6±0.9	84.3± 4.9	18.8± 7.2	65.9± 6.2

mean±S.D.

重点までの距離の F.L. に対する割合は、男子競技者群で  $82.0 \pm 3.3\%$  であり、最大値は CALLISTENICS 群の 86.5%，最小値は BASKET 群の 79.1% である。女子競技者群では、 $84.3 \pm 4.9\%$  と男子競技者群より大きい値を示す。この姿勢での最大値は、DANCE 群の 88.1% であり、最小値は SOFT BALL 群の 80.2% である。L.B. 姿勢における踵から荷重点までの距離の F.L. に対する割合は、男子競技者群の全体で  $23.1 \pm 9.8\%$  であり、最大値は、AME・FOOT 群の 33.2%，最小値は CALLISTENICS 群の 13.4% である。この数値は小さい方がより踵側に荷重点が移動していることになる。一方、女子競技者群では全体が  $18.8 \pm 7.2\%$  であり、最大値は SKI 群の 23.7%，最小値は DANCE 群の 14.9% である。そこで、荷重点の移動範囲 (R.T.) は、男子競技者が  $56.9 \pm 6.2\%$  であり、最大値は CALLISTENICS 群の 72.2%，最小値は AME・FOOT 群の 47.3% を示した。女子競技者群は全体の平均値が  $65.9 \pm 6.2\%$  であり、最大値は DANCE 群の 73.2%，最小値は HAND-BALL 群の 61.1% であった。

## 論 議

この研究の結果は U.P.R. 姿勢の荷重点を踵からの距離と足長の割合で示すと、男子競技者で 46.3% であり、女子競技者では 42.6% であった。平沢<sup>7)</sup>は PEDOSCOPE を用いてこれを調べたところ、正常人で 47% あたり (原文のママ)、プロ野球選手が 57%，Sports 選手は一般的に 50%~60% にあるという。しかし、この論文でのそれぞれの被検者数、およびそれらの測定値が見あたらない。そこで、彼の実験の解説文をみた。そこには、PEDSCOPE 上に両足を約 2 cm 平行にはなした位置で足関節以外をまげないで、最前傾および最後傾させたとき、この間を 10 等分して各位置における重心位置と接地足蹠面積を測定した。このとき、重心位置と前部および後部の平均圧力をモーメントから算出し、両者の圧力が等値を示す位置を「等圧力点」と呼び、このときの重心の位置を求めた。その結果は、男子大学生 5 名、女子学生 3 名、中学生男女各 1 名および体育教官男子 1 名の平均値は 52.6% (range 56.6~49.5%) を示す。浅見<sup>2)</sup>は、柔道、剣道、弓道の選手について、今回の筆者らと同様の U.P.R. 姿勢における荷重線が足長に対する踵からの位置を調べている。その結果、柔道選手 ( $N=26$ ) では  $46.5 \pm 7.6\%$ 、剣道選手 ( $N=30$ ) では  $51.4 \pm 7.2\%$ 、弓道選手 ( $N=6$ ) では  $46.5 \pm 6.0\%$  であったという。これらの選手の性別は明らかではない。また、浅

見らは同様に、各種スポーツ選手 476 名について測定した結果、44.3% の平均値を示すが、最大値を示す BASEBALL 群 ( $N=36$ ) の平均値でもこの割合は 50% に達していない。

姿勢研究で注意しなければならないことは、各被検者に個人的特徴 (固癖) があることであり、少数例による断定は避けなければならないだろう。

F.L. の約 50% 近くにあるとする考え方の根拠は“物体は重力の線が支持基底面に落ちているかぎり平衡を保っているのであるから、当然重力の線が支持基底面の中心に近ければ近いだけ安定性が大きい”としている<sup>7)</sup>ことである。その後、平沢<sup>7)</sup>は、加齢に伴う矢状面内の U.P.R. 姿勢時の荷重点を、足長に対する踵からの距離の比でみたところ 20~50 歳で  $47.3 \pm 4.9\%$  と報告した。他の年齢群ではこの数値よりも小さい。

著者らも足底部に加わる力のモーメントは、自然直立

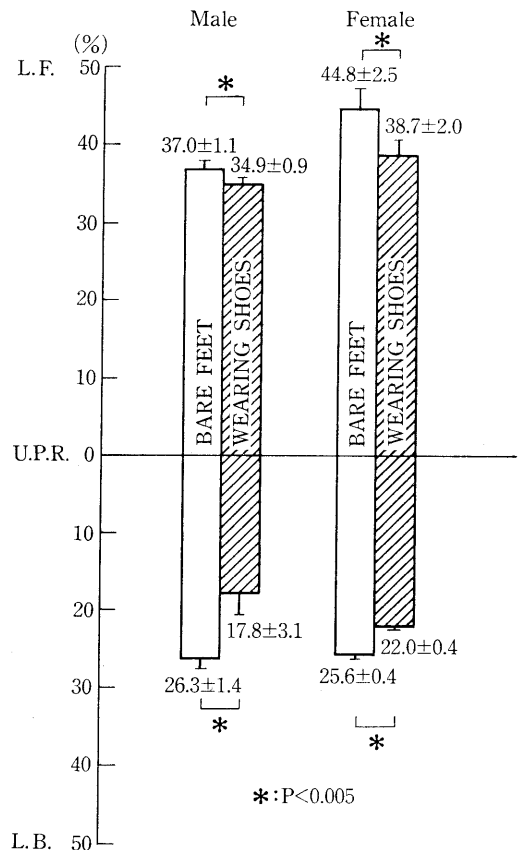


Fig. 2. Comparison of travelling range between training groups with and without shoes.

姿勢を保っているときには重心まわりに働くと考えている。Dempster<sup>4)</sup>によれば、足の分節の重心は、矢状面内では踵点から爪先までの距離の 50% としている。一方、足関節には足の分節の重量を除いた体重が加わっている。L.F. 姿勢では、爪先側に支点が移動するので、足の分節の回転モーメントは、その支点を軸とした遠位端まわりのモーメントが働くことになる。一方、L.B. 姿勢では荷重線が足関節を通過して踵にかかり、爪先をあげるという近位端まわりのモーメントになってしまうのだろう。したがって、U.P.R. 姿勢における荷重点は、必ずしも足長の 50% にはならない。

そこで、踵側および爪先側への荷重臨界点を調べた。L.F. 姿勢での男子群および女子群の平均値は足長の  $82.0 \pm 3.3\%$  と  $84.3 \pm 4.9\%$  であった。一方、L.B. 姿勢では男子が  $23.1 \pm 9.8\%$ 、女子では  $18.8 \pm 7.2\%$  と両側とも女子が大きな値を示した。このことは、これまで人体を剛体とみなし、荷重線が支持面内にあるうちは安定であるとはいきれないことになる。人体の構造、特に下腿と足の部分が剛体としてとらえられないからである。今回の測定の結果によると、荷重線の移動範囲は男子が足長の  $56.9 \pm 6.2\%$ 、女子では  $65.9 \pm 6.2\%$  であった。両者には、統計的に明らかな差が認められる。L.F. 姿勢および L.B. 姿勢を維持するときの足関節の前後面

に作用する筋力を単に“足首の強さ”といってもよいであろうが、平沢<sup>7)</sup>がいうように“足くびの強い陸上・サッカー選手が特に荷重の移動範囲が広い”という報告とは一致しなかった。

もう一つの問題は、直立姿勢における平衡維持能力の問題である。著者らは静止姿勢から運動姿勢へ、また、運動姿勢から静止姿勢を考える中で静止姿勢の臨界点を求めている。特に、体操競技では運動から静止姿勢に変るときに、その安定性を点数で段階づけられている。荷重線の移動範囲が大きい値を示すことは、とりもなおさず足が床から離れる可能性が少ないということであり、体操競技の場合高得点が得られる可能性のあるところから、運動選手のタメの平衡能が高いと考えている。しかし、動揺度の少いこともまた異った面で平衡能がすぐれているともいえよう。

平常、裸足で運動している群と靴を着用している群に分類し、各測定値を比較した。L.F. 姿勢での裸足群男子は  $37.0 \pm 1.1\%$ 、女子では  $44.8 \pm 2.5\%$  を示し、靴着用群では男子が  $34.9 \pm 0.9\%$ 、女子が  $38.7 \pm 2.0\%$  であった。L.B. 姿勢では、裸足群男子が  $26.3 \pm 1.4\%$ 、女子は  $25.6 \pm 0.4\%$  であり、靴着用群では  $17.8 \pm 3.1\%$  (男子)、 $22.0 \pm 0.4\%$  (女子) であった。L.F. 姿勢と L.B. 姿勢について男女それぞれの裸足群と靴着用群の間には

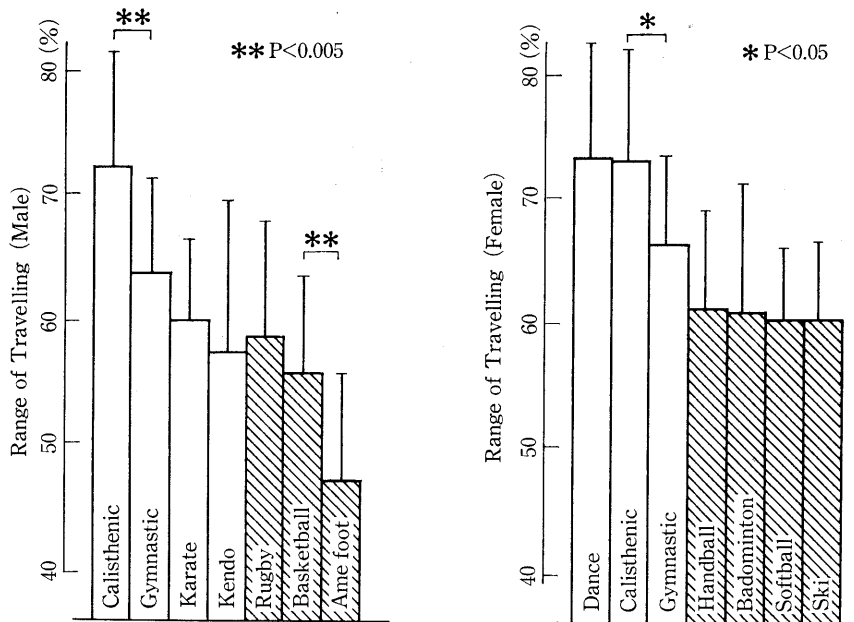


Fig. 3. Results for the range of traveling of the gravity line in various sports clubs. Values are mean  $\pm$  S.D.

統計的に差があった。

荷重線の移動範囲は、男女とも裸足群と靴着用群の間に有意な差を認めた。クラブ別にみると、Fig. 3 のようであり、各裸足で運動している群と靴着用の群とに分かれた。これまでの結果では、裸足での運動が荷重線の移動範囲を大きくしたものといえる。

## ま と め

1. 裸足での運動群と靴着用の運動群とに分けて、矢状面における自然立位姿勢、努力前傾姿勢と努力後傾姿勢それぞれにおける荷重点を測定した。

2. 荷重点の決定は秋田式重心測定法によった。

3. その結果、以下のことがわかった。

a) 自然立位姿勢時では、踵から荷重点までの距離を足長の比で示すと、男子が  $46.3 \pm 1.1\%$ 、女子は  $42.6 \pm 0.9\%$  であった。男子についての値はこれまで報告されたものに近似している。

b) 荷重点の移動範囲を足長と比較した。男子は  $56.9 \pm 6.2\%$ 、女子は  $65.9 \pm 6.2\%$  であり、足長の全範囲に至らなかった。下腿と足の構造からいって生体であり、剛体でないことを指摘した。

c) 平常、裸足で運動している群と靴を着用している群から、荷重点の移動範囲をみた結果、裸足群は有意に大きな範囲を移動した。

## 謝 辞

本研究は昭和 61 年度本学学内奨励研究の援助を受けた。また本学体育研究所長石井喜八教授の助言を得た。記して感謝の意を表する。

## 文 献

- 1) 浅見高明: “自然体” のキネシオロジー的研究, 東京教育大学スポーツ研究所報, No. 11, 39-46 (1973)
- 2) 浅見高明: 川村禎三, 多田 繁, 岡田修一, 種谷明美; 大学男子スポーツ選手の立位姿勢に関するキネシオロジー的研究, 筑波大学体育科学紀要, 5, 105-116 (1982)
- 3) Curaton, T. K. and J. S. Wickens: The Center of Gravity of the Human Body in the Antero-posterior Plane and Its Relation to Posture,

*Suppl. to Res. Quart.* 6, 93-105 (1935)

- 4) Dempster, W. T.: Space requirements of the seated operator. Wright Patterson Air force Base, WADC. -TR- 55-159, (1955)
- 5) 福田 精: 運動と平衡の反射の生理, 医学書院, 昭和 32 年
- 6) Hellebrandt, F. A., K. S. Riddle, E. M. Larsen and E. C. Fries: Gravitational Influence on Pastural Alignment. *Physiotera. Rev.*; 22, 149 (1942)
- 7) 平沢弥一郎: スタジオロジー (3) ——立ち方の定量的評価——, 静岡大学教養学部研究報告, No. 7, 31-65 (1971)
- 8) 平沢弥一郎: II 直立姿勢の安定限界, (直立姿勢の神秘), 姿勢と生活, 14, 21-28 (1974)
- 9) 平沢弥一郎, 青木賢一: 日本人の直立能力について, 姿勢——第2回姿勢シンポジウム論文集——, 41-46 (1982)
- 10) 木村邦彦, 浅見高明, 遠藤敏夫, 窪田経男, 土方貞久, 師岡孝次: 第5回姿勢シンポジウム良い姿勢とは, 姿勢研究, 4(1), 33-62 (1984)
- 11) 松井秀治: 運動と身体の重心, 体育の科学社, (1958)
- 12) McLaughlin, T. M., T. J. Lardner and Dillman, C. J: Kinetics of the parallel squat. *Res. Quart.*, 49(2), 175-189 (1978)
- 13) 永田 晟, 高橋 健: 直立姿勢保持とはだし教育。——足底形態と安定性の関係——, 姿勢研究, 6(1), 13-18 (1986)
- 14) 大島正光: 姿勢に関する用語 (1), 姿勢研究, 2(2), 113-129 (1982)
- 15) 大島正光: 姿勢に関する用語 (2), 姿勢研究, 3(1), 37-49 (1983)
- 16) Siegler, S., G. D. Moskowitz and W. Freedman: Passive and active components of the internal moment developed about the ankle joint during human ambulation. *J. Biomechanics*, 71(9), 647-652 (1984)
- 17) Winter, D. A. and W. M. Kuryliak: Dynamic stabilization in human gate, the biomechanical relationships between the triceps surae and the metatarsophalangeal joint. International Series on Biomechanics, Vol. 2A, *Biomechanics*, VI-A, 281-286 (1978)
- 18) Winter, D. A.: Biomechanics of human movement. John Wiley & Sons, Inc., 1979
- 19) Winter, D. A.: Overall principle of lower limbs support during stance phase of gate. *J. Biomechanics*, 13, 923-927 (1980)