

重心動揺計における左右足の位置関係の検討*

大藤 晃義*¹、黒田孝春*¹、金綱 正司*¹、安藤 広行*¹

An investigation on the best foot position on a stabilometer

Teruyoshi DAITOH, Takaharu KURODA,
Masashi KANETSUNA and Hiroyuki ANDOH

Abstract

Investigation and research on the relative position of the feet in erect humans were carried out in order to decide the best foot position on the examining table of a stabilometer.

Repetitive measurement of examinees showed that the distance between the feet and the apical angle of the feet are different every time.

Furthermore, the apical angle was found to increase with age, while the distance between the feet decreases with age. The apical angle of the right foot is greater than that of the left and the apical angle of men is greater than that of women.

A transverse line should be painted showing the center of gravity of the examining table of the stabilometer (that is how far forward or back to stand on the table). It is best that the examinee be stood with his navicular bones centered over the line. Neither the distance between the feet nor the apical angle need be marked.

Key words : Stabilometer, Foot position, Foot apical angle, Foot distance

1. 結 言

1. 1 目 的

ヒトは直立姿勢において健康な人でも、わずかながら前後左右に揺れている。しかし、身体の大きな重心の動揺や重心位置のずれは、耳鼻咽喉科、脳神経、脊髄、平衡機能、小脳機能に障害のあるような場合を除いて、関節、筋肉、腱、靭帯等に不具合、特に、左右前後の筋力にアンバランスが生じた場合が原因の1つに考えられる。これらのアンバランスに起因する大きな重心の動揺や重心位置のずれを測定できる装

置として重心動揺計が上げられる。重心動揺計は、めまいや平衡障害の把握、病巣診断、病態の把握を目的とする医療用の測定装置として既に複数の会社から製品として市販されており、その規格は日本工業規格 (JIS T 1190) に制定されている。しかし、これらは一台数百万円以上の価格であり、非常に高価なものとなっている。したがって、本研究の目的の1つは被験者の筋力等のアンバランスに起因するような重心動揺を手軽に測定でき、しかもカイロプラクター等が購入しやすい安価な重心動揺計を開発することであり、著者らは以前からそのことを試みている^{(1)~(2)}。最終的には開発された重心動揺計を用いて被験者の重心動揺のようすを定量的に求め、カイロプラクター等の治療およびその確立に役立てると共に体重計や体脂肪率計と同様に日常生活に身近なものとするこ

原稿受付 平成14年4月3日

* 日本カイロプラクティック徒手医学会第三回学術大会 (平成13年8月) にて一部講演

* 1 木更津工業高等専門学校 (〒292-0041 千葉県 木更津市 清見台東 2-11-1)

で国民の健康維持、腰痛などの予防にも役立てることを目標としている。

本実験ではそれらのための基礎的データを取得するために、人体の直立姿勢における足の位置関係について調査・研究することを試みた。

人体の直立姿勢における左右足の位置関係を求める目的は、重心動揺計の足を乗せる板、すなわち検査台（以下、検査台と記載）上の足マークの位置を決定したいためである。

直立姿勢と重心動揺の研究は従来多くの研究者によって行われている⁽³⁾。

病院等で行う重心動揺検査は主にめまいや平衡障害診断に用いられている。その検査の基準は日本平衡神経科学会で「重心動揺検査の基準⁽⁴⁾」として制定しており、検査方法の6番目の〈足位〉の項に「両足を接して直立するのを基準とする。直立維持が不安定で閉足が困難な例では開足または踵を接し足尖を開いて直立させて検査し、開足間隔距離あるいは足尖を開いた開足角度を記載する。」と記述されている。

この基準で計測された結果は膨大なデータとして蓄積されており⁽⁵⁾、その検査方法の解説書⁽⁶⁾も出版されている。

ところが、被験者が既に関節、筋肉、腱、靭帯等に不具合が生じている場合（痛みや違和感等が有り、具合が悪いためカイロプラクター等を訪れている訳であるから、殆どの場合が当てはまると考えられるが）、上記の両足を接する足位をカイロプラクティック診断の際に直接適用すると、その検査の段階で既に、いずれかの関節、筋肉、腱、靭帯等に異常で、より大きい緊張を生じさせている可能性がある。

そこで、著者らはカイロプラクター等が重心動揺計を用いて、治療前後の患者の状態を把握するための測定足位はどのような位置が適切なのかを検討することとした。人体の直立姿勢における左右足の位置として、足尖を開いた足角すなわち開足角度（以下開足角度と記載）と左右足の踵の間隔距離（以下左右足の間隔と記載）の2つの値を規定して調査・研究を行った。

1. 2 従来の測定器の足位について

従来、重心動揺計に限らず、直立して計測する機器は多数存在する。そこで、検査台上の足のマーク位置等について数例、調査してみた。

写真1は本校の保健室で学生の身長と同時に

体重も測定している（株）内田洋行製の電気抵抗式はかりにおける検査台部分の写真である。検査台には写真で示されているような足マークが有り、本検査台の開足角度は約40度であり、左右足の間隔は約43mmである。

写真2は江崎器機（株）製の姿勢分析器における検査台の部分の写真である。検査台には写真で示すような足マークがあり、本装置はほとんど平行に近い足の位置を示している。本装置は安定した状態での姿勢を観察するための装置であるためか、左右足の間隔は大分広く約220mmである。



写真1 身長と体重を測定するはかり（株）内田洋行）の検査台部分の写真



写真2 姿勢分析器（江崎器機（株））の検査台部分の写真

写真3はLLOYD社製のPOSTURE STANDARD SPINALYZERの検査台の写真である。本装置では開足角度は特に指定していない。内側の左右足の間隔は約108mmであり、X脚等の理由で膝が接触し立てないような場合は外側の位置に立つようになっており、その場合の左右足の間隔は約243mmである。

写真4はアニマ(株)の重心動揺計ANIMA GRAVICORDER GS-11の検査台の写真である。本装置は日本平衡神経科学会の「重心動揺検査の基準」で計測するため、両足を接して直立する足マークとなっている。

以上4種類のみを示したが、直立姿勢で測定する装置でも種々の足位で計測するものが存在することが分かる。



写真3 POSTURE STANDARD SPINALYZER (LLOYD社)の検査台部分の写真



写真4 重心動揺計 (アニマ(株))の検査台部分の写真

2. 計測(実験)方法

2.1 直立姿勢における足位の描写方法

直立姿勢における足の位置の描写方法としては、正面の壁から約3m離れた床に、A3の大きさの紙を壁側の端が壁に対し平行になるように敷いた。その紙の上に被験者にリラックスして立ちやすい足の位置で自由に素足で直立してもらった。次に、色鉛筆で紙上の足の外周に沿ってなぞることにより足形を描いた。

2.2 開足角度および左右足の間隔

両足底の開足角度と左右足の間隔とを求める方法を図1に示す。

両足の開足角度は、足では踵から第2指(人差し指)に抜ける線を形態上の基準線とする⁽⁷⁾ことから図1のように、両足における踵と第2指を結んだときに生じる角度(θ)とした。右開足角度と左開足角度の測定の方法は図1に示すように、形態上の2本の基準線の交点から壁に平行な紙の端線に対し直角な線を引き、その直線より右側の角度を右開足角度(θ_R)、左側の角度を左開足角度(θ_L)と定義した。

左右足の間隔とは、図1に示すように、踵から第2指に抜ける形態上の基準線と両足の踵との交点間における距離(L)と定義した。

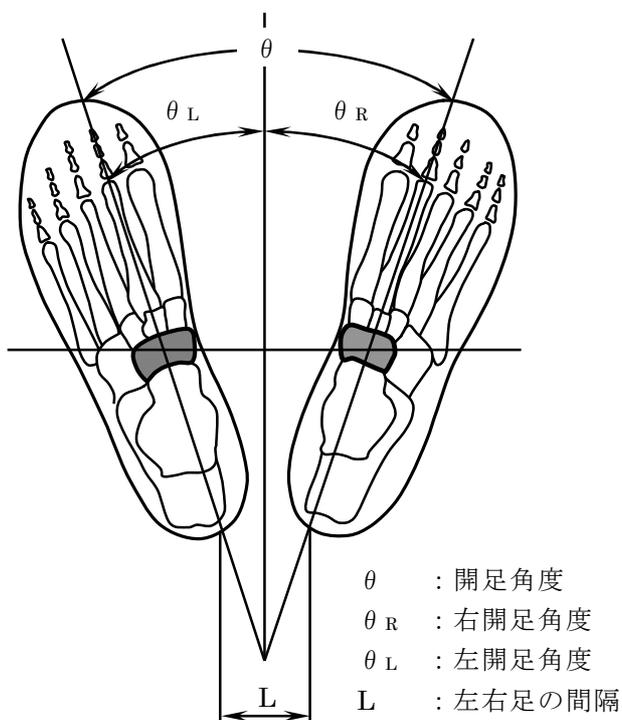


図1 開足角度と左右足の間隔

2. 3 被験者

同一被験者での開足角度と左右足の間隔のバラツキを調べるための、実験として2系統の計測を行った。第1の系統は各被験者に計測後毎に廊下を普段の歩き方で50m歩行してもらい再度計測を行う方法で、これを連続して5回繰り返した。この方法による被験者は男性3名である。第2の系統は、同一被験者プラス1名、計4名(年齢は全員20歳)を毎日ほぼ同じ時刻に計測するやり方で、5日間にわたって計測した。

年齢、性別と開足角度および左右足の間隔の関係を調査するために、計測した被験者数は男性143名(平均年齢37.1歳)、女性329名(平均年齢38.5歳)、合計472名である。年齢・男女別の被験者数を表1に示す。

なお、これらの被験者は計測会場まで自ら徒歩にて来場した者で、一般的には健常者と呼ばれる母集団である。

3. 結果および考察

3. 1 歩行後の繰り返し計測結果について

同一被験者の開足角度および左右足の間隔を計測し、50m歩行後、再度計測するという方法で5回繰り返した場合の結果を表2に示す。表2には開足角度(θ)と左右足の間隔(L)と共にそれらの各被験者の平均値からの誤差の割合を $\theta\%$ とL%として示した。計測前において著者らは、同一被験者における計測値は、連続して計測する訳であるから、それほど大きな変化はないであろうと予想していた。すなわち同一被験者での値は一定に近い値が出るであろうと考えていた。しかし、例えば開足角度でいえばKA君のようにプラスの最大誤差16%、マイナスの最大誤差16%、左右足の間隔でいえばKU君のようにプラスの最大誤差14%、マイナスの最大誤差13%というような大きい誤差の出る結果となった。

3. 2 1日1回の繰り返し計測結果について

同一被験者を連続して計測した結果、予想していた以上に大きなバラツキを示す結果が得られたので、日にちが変わるともっと大きなバラツキが出る可能性があると考えられたので、毎日ほぼ同じ時刻に計測するやり方で、5日間にわたって計測してみた。その結果を表3に示す。表2と同様に開足角度と左右足の間隔の各

平均値からの誤差の割合(%)も示した。

表3から分かるように、連続計測よりも大きい誤差が生じている。例えば開足角度でいえばKA君のようにプラスの最大誤差27%、マイナスの最大誤差33%、左右足の間隔でいえばKU君のようにプラスの最大誤差28%、マイナスの最大誤差15%という値を示した。

以上、2系列の開足角度、左右足の間隔の

表1 年代男女別の被験者数(人)

	男性	女性	合計
10以下	3	4	7
10代	25	34	59
20代	37	88	125
30代	17	38	55
40代	19	69	88
50代	22	69	91
60代	14	21	35
70以上	6	6	12
合計	143	329	472

表2 繰り返し計測による開足角度(θ)と左右足の間隔(L)およびそれらの誤差($\theta\%$ 、L%)

(単位 θ : 度、L: mm)

KA君	θ	$\theta\%$	θ_R	θ_L	L	L%
1回	23	-8	14	9	151	3
2回	21	-16	13	8	150	3
3回	25	0	18	7	145	-1
4回	26	4	18	8	142	-3
5回	29	16	18	11	140	-4
平均	25	5	16	9	146	0

KU君	θ	$\theta\%$	θ_R	θ_L	L	L%
1回	50	0	25	25	83	6
2回	48	-3	24	24	76	-3
3回	53	6	30	23	68	-13
4回	51	2	26	25	89	14
5回	49	-2	26	23	76	-3
平均	50	1	26	24	78	0

KO君	θ	$\theta\%$	θ_R	θ_L	L	L%
1回	42	0	26	16	117	-4
2回	45	7	27	18	105	-14
3回	42	0	27	15	135	11
4回	40	-5	23	17	130	7
5回	41	-2	24	17	123	1
平均	42	0	25	17	122	0

計測から、同一被験者の連続計測であっても計測の度に値が異なり、日にちを違えての計測では、その日の状態によりより大きい変化を示すことが明らかとなった。

表3 同時刻に5日間にわたる開足角度 (θ) と左右足の間隔 (L) の計測結果およびそれらの誤差 ($\theta\%$ 、 $L\%$)
(単位 θ : 度、L : mm)

KA君	θ	$\theta\%$	θ_R	θ_L	L	L%
1日	20	-33	11	9	130	5
2日	29	-3	18	11	136	10
3日	32	7	17	15	115	-6
4日	38	27	25	13	108	-13
5日	27	-10	15	12	133	7
平均	30	-2	17	12	124	1

KU君	θ	$\theta\%$	θ_R	θ_L	L	L%
1日	50	2	25	25	83	-10
2日	53	8	28	25	118	28
3日	51	4	28	23	78	-15
4日	44	-10	21	23	92	0
5日	49	0	26	23	87	-5
平均	49	1	26	24	92	0

KO君	θ	$\theta\%$	θ_R	θ_L	L	L%
1日	40	-15	21	19	99	5
2日	46	-2	29	17	95	1
3日	49	4	28	21	80	-15
4日	57	21	32	25	90	-4
5日	44	-6	27	17	105	12
平均	47	0	27	20	94	0

EN君	θ	$\theta\%$	θ_R	θ_L	L	L%
1日	33	-6	19	14	116	-9
2日	28	-20	15	13	121	3
3日	32	-9	18	14	112	-4
4日	38	9	23	15	114	-3
5日	44	26	24	20	120	3
平均	35	0	20	15	117	-2

ON君	θ	$\theta\%$	θ_R	θ_L	L	L%
1日	26	8	14	12	107	-6
2日	23	-4	11	12	107	-6
3日	18	-25	11	7	130	14
4日	27	13	15	12	118	4
5日	24	0	15	9	110	5
平均	24	-2	13	10	114	2

3.3 開足角度について

図2は性別による年齢と左開足角度との関係を、図3は性別による年齢と右開足角度との関係を示す。これらのグラフより、多少のバラツキが有り、表2、表3の説明で述べたようにその時々で個人差は有るものの、表1に示す被験者数の多さから、年齢と共に左右の開足角度は大きくなり、40~50代でピークを示すような変化をするのではないかと考えられる。図2と図3の左右の開足角度を比較すると、男女共にほとんどの場合、右の開足角度の方が大きくなっている。被験者の92%が、軸足(ボールを蹴る時に軸にして立っている方の足)が左であった。このことと考え合わせると、左に軸を置き、左足に比べると、右足を少し大きく開く立ち方で直立する人が多いことが分かる。

開足角度の平均値を表4に示す。男性は39.6度、女性は33.1度で、全被験者における開足角度の平均値は35.1度であった。

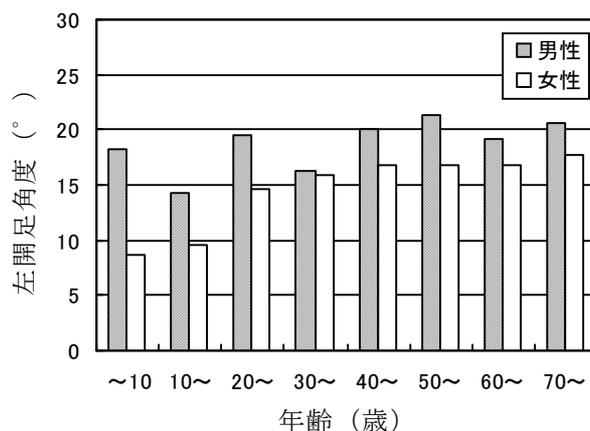


図2 年齢と男女の左開足角度の関係

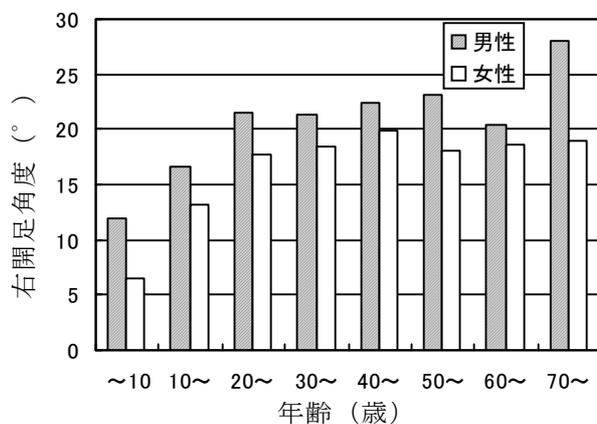


図3 年齢と男女の右開足角度の関係

カリエ (Calliet) ⁽⁸⁾ は、開足角度について、左右側の中心に引いた直線から第1指までの角度で、左右15度ずつ、合計30度が理想的であると述べている。この第1指で求めた30度という値は第2指の本研究で行った方法で計測し直すと約35度となり、本実験で計測した全被験者の開足角度の平均値と非常に近い値である。

3. 4 左右足の間隔について

図4は性別による年齢と左右足の間隔との関係を示す。左右足の間隔は年齢と共に減少する傾向を示している。これは、直立の安定性が増すと間隔は小さくなるためと思われる。図2、図3と考え合わせると、年齢が増すにしたがって間隔を減少させ、開足角度が大きくなるという傾向が見られる。すなわち、低年齢では開足角度は小さく、左右足の間隔を大きく取る立ち方をするのに対し、年齢の増加と共に左右足の間隔を狭くして開足角度を大きく取って直立のバランスを保っているのではないかと考えられる。

左右足の間隔の平均値は表4に示すように男性は79.4mm、女性は83.0mmで、全被験者における左右足の間隔の平均値は81.9mmであった。

これらの開足角度と左右足との関係は、平均値としては、男性は女性に比べ、左右足の間隔は狭いものの開足角度を広く取って直立することを示している。

3. 5 各年代に対する近似式と有意差

図5に10代から60代までの各年代(10歳未満および70代の被験者は表1に示すように、7名および12名と少ないため除いた。以下同様である)に対する開足角度とそれらの変化を2次曲線で近似した結果を示す。2次近似式は次式で表された。

$$y = -0.0087x^2 + 0.878x + 16.1$$

開足角度は年齢の増加と共に増加し、上式によると50.5歳でピーク値(38.3度)に達する変化を示している。この式から求められた寄与率(決定係数)であるR²値⁽⁹⁾は0.912と高い値を示している。

開足角度の場合の、各年代毎の有意差(t検定)⁽¹⁰⁾の結果を、表5に示す。表は年代欄

の左側の年代に対する右側の年代の有意差を示している。10代から20代になる時は開足角度を広くとるようで、10代に対する20代の有意

表4 開足角度と左右足の間隔の平均
(単位 θ:度、L:mm)

	人数	θ	θ _R	θ _L	L
男性	145	39.6	21.0	18.6	79.4
女性	329	33.1	17.8	15.3	83.0
全体	474	35.1	18.8	16.3	81.9

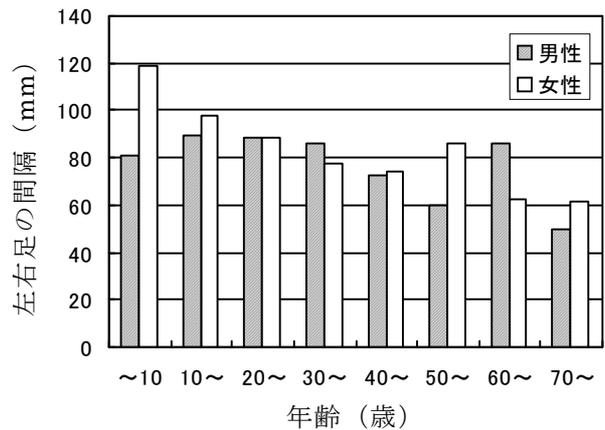


図4 年齢と男女の左右足の間隔の関係

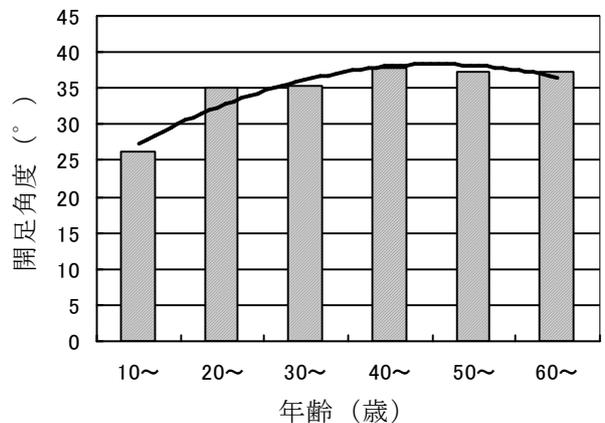


図5 開足角度の近似曲線

表5 開足角度と左右足の間隔の有意差 (t検定)

年代	θ	θ _R	θ _L	L
10-20	@-4.65	@-4.07	@-4.18	1.35
20-30	-0.27	-0.49	0.06	1.64
30-40	-1.27	-0.9	-1.28	1.18
40-50	0.36	1.07	-0.48	-1.22
50-60	0.04	-0.03	0.13	1.29

*:0.05, @:0.01

差は明らかになっている。しかし、他の年代ではこのような明らかな有意差はない。

図6に各年代の左右足の間隔とそれらの変化を2次曲線で近似した結果を示す。2次近似式は次式で表された。

$$y = 0.0087x^2 - 1.11x + 109$$

左右足の間隔は、開足角度とは逆に年齢の増加と共に減少し、減少率も低下し、上式によると63.8歳で極小値(73.6mm)を迎え、ほぼ一定値に落ち着く変化を示している。この式から求められた寄与率R²値は0.889と開足角度と同様に高い値を示している。

左右足の間隔の各年代間における有意差(t検定)はほとんどの年代で無く、50代に対して60代があるものの、これは50代の飛び出した高い値によるものである。

3.6 男女の有意差(t検定)

開足角度と左右足の間隔における男性と女性間の年代毎の有意差(t検定)の結果を表6に示す。

開足角度は図2、図3に示すように全ての年代で男性の方が女性より大きいのであるが、有意差は10代、20代、40代、50代に有り、男性の方が開足角度を大きく取って直立していることが明らかとなった。

一方、左右足の間隔は図4において分かるように年代によって相違が有り、表6の有意差も高年代で表れているものの、男女の有意差が異なっており、男女の差としては必ずしも明らかではない。

3.7 前後の足の位置

平沢⁽¹¹⁾は、「重心位置が20年前(1960)には、足長100に対して踵から47%にあったものが、最近(1980)では40%の位置に後退している。」と記している(括弧内の西暦は著者記入)。

ケンダル(Kendall)ら⁽¹²⁾によると「立位姿勢での前後の重心は第1、または第2の仙椎の少し前にある。」としている。

カリエ(Cailliet)⁽⁸⁾は「立脚での重心は仙骨岬角より垂線をおろすと、両足の舟状骨を結んだ線の間におちる。」と述べている。これらの意見を考え合わせ、また、実際の計測の便利さから考慮して、前後の足の位置のセッティ

ングは次のように行くと良いと思われる。まず、検査台上に重心位置上を通過する横線を引いておく。次に、被験者の舟状骨の内側に験者がマークを付けて、そのマークが横線上にくるように、被験者が直立する。

4. 結言

重心動揺計の検査台の足位を決定するため、人体の直立姿勢における足の位置についての調査・研究を行った。その結果、次のようなことが明らかとなった。

1) 同一被験者で、歩行後、再度計測を行う連続計測の方法と毎日ほぼ同じ時刻に計測する方法の2系統の計測を行い、いずれの系統の計測でもその都度、開足角度と左右足の間隔共に値は異なり、日にちを変えての計測では、より大きい変化をする。

2) 開足角度は年齢の増加と共に大きくなり、2次近似式によると約50歳でピーク値(約38度)を迎え、被験者全員の平均値は約35度である。左右の開足角度を比較すると、男女共にほとんどの場合、右の開足角度の方が大きく

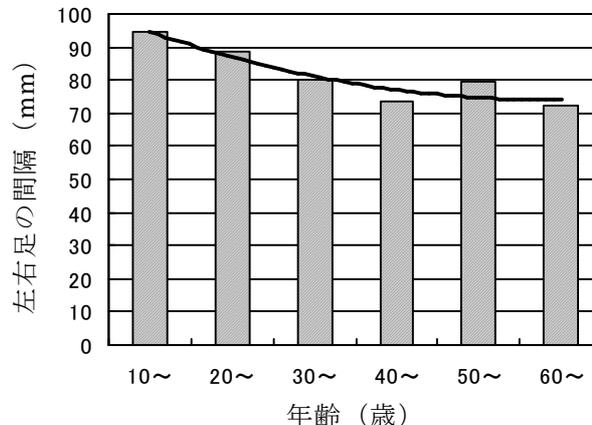


図6 左右足の間隔の近似曲線

表6 開足角度と左右足の間隔の男性と女性の有意差(t検定)

年代	θ	θ_R	θ_L	L
10代	@2.65	*2.15	@2.61	-1.20
20代	@3.88	@3.25	@3.36	0.00
30代	1.00	1.52	0.21	0.88
40代	*1.95	1.44	*1.88	-0.21
50代	@2.90	@2.55	@2.41	@-4.41
60代	1.02	0.61	1.37	@2.54

*:0.05, @:0.01

なっている。また、各年代共に男性の開足角度が女性のそれより大きい。

3) 左右足の間隔は年齢と共に、減少率が低下しながら減少し、約64歳で最小値(約74mm)を取る変化を示す。これは、年齢と共に直立の安定性が増し、間隔が小さくなるものと思われる。人体が直立した場合、開足角度を広く取るか、あるいは左右足の間隔を大きく取ることによってバランスを保っているのではないかと考えられる。

4) 直立姿勢における足の位置は年齢、性別により異なるとの結果が出たことにより、重心動揺計をカイロプラクティック等の施術に用いる場合は、開足角度、左右足の間隔は特に指定せず、足の前後の位置をのみを指定して、特定の筋肉等が緊張していないと被験者が感じている姿勢でリラックスして直立させた方がよい。

5. 謝辞

重心動揺に付いてアドバイスをいただきました元島根医科大学学長 檜學先生、サジェスチョンをいただきました労働福祉事業団長野産業保健推進センター所長(元信州大学医学部耳鼻咽喉科教授) 田口喜一郎先生および多くの資料をご親切にお送りいただきました岐阜大学名誉教授、岐阜市民病院名誉院長 鵜田喬先生に感謝申し上げます。

写真2は江崎器機(株)東京営業所ショールームにて、写真3はパシフィックアジアカイロプラクティック協会(PAAC)本部教室にて、写真4は(学)君津あすなろ学園千葉医療福祉専門学校にて、各々写真を撮らせていただいた。ご好意に対しお礼申し上げます。

本研究を卒業研究としてデータ収集に協力してくれた石塚司君(現(株)ニコン)、田邊泰彦君(現(株)オリエンタルランド)、榎本政敏君(現本校専攻科生)へ感謝します。

参考文献

- (1) 大藤、黒田、金綱、長谷川、三宅：重心動揺計の試作とその応用、日本福祉工学会第2回学術講演論文集、(1999)、pp.37-38
- (2) 大藤、黒田、金綱：人体の筋力および重心動揺へ及ぼす筋紡錘刺激の影響、日本カイロプラクティック徒手医学会誌、第2巻、(2001)、pp.12-16
- (3) 平沢：保健体育 新しい人体論、(財)放送大学教育振興会、(1989)
- (4) 日本平衡神経科学会：重心動揺検査の基準 Equilibrium Res 42、(1983)、pp.367-369
- (5) 田口：Equilibrium Research Supplement 12、日本平衡神経科学会、(1997)
- (6) 時田：重心動揺検査 その実際と解釈、アニマ(株)、(1998)
- (7) 中村、斎藤：基礎運動学 第5版、医歯薬出版、(2000)、p.232
- (8) 荻島訳：足と足関節の痛み(第2版)、(Cailliet R: Foot and Ankle Pain, 2nd)、医歯薬出版、(1996)、p.19(第3版ではp.28)
- (9) 例えば 小林：<新訂版> 相関・回帰分析法入門、日科技連、(1982)、p.59
久米、飯塚：回帰分析、岩波書店、(1997)、p.37
- (10) 解説として、例えば 黒田：表計算ソフトによるデータ整理と統計処理、日本カイロプラクティック徒手医学会医学会誌、第2巻、(2001)、pp.41-46
- (11) 前出(3)の p.333
- (12) 寺沢、明石 訳：筋力テストー筋の機能と検査ー 第2版、(Kendall, et al: MUSCLES Testing and Function, 2nd)(社)日本肢体不自由児協会、(1993)、p.18