

# 立位時における身体周囲長の変動と 足圧中心動揺との関係

Relationship between Oscillation of Body's Circumferences  
and Sway of Foot Pressure Center  
during Upright Standing in Man

稲村欣作, 青木賢一, 間野忠明\*, 岩瀬 敏\*\*  
Kinsaku INAMURA, Ken-ichi AOKI, Tadaaki MANO\*, Satoshi IWASE\*\*

(Received Oct 7, 1987)

## I はじめに

ヒトは進化の過程の中で持続的な直立二足歩行を獲得し、今日の文明を築いたと考えられている。その反面、生命維持にとり幾つかの不利益が生じた。そのひとつとして、静止立位時に上体の体液が下降することがあげられる。この現象は起立性低血圧の誘因のひとつであり、地球の重力負荷によるものである。その機構の解明は、重力負荷によりおこる腰痛などと共に、生理学をはじめ体育学や医学における重要な研究課題である。

ヒトが静止立位をとる時におこる身体のわずかな揺れを体動揺という。体動揺については、それが立位時における姿勢制御の様相を反映することから、様々な解析が行われている<sup>(1)~(3)</sup>。しかしながら、体動揺と体液循環との関連性は、まだほとんど不明といわざるを得ない。

著者らは、体動揺の指標として立位時の足圧中心動揺（静止立位では身体の重心動揺とみなせる）を測定し、その低周波成分の成因と役割を検索してきた<sup>(4)~(8)</sup>。その中でも、約1分前後の周期をもつ成分については、それが足底の機械受容感覚に係わりをもち、さらに体液の循環にも関連することが予測できた<sup>(5)(7)</sup>。

そこで本研究では、最も簡便な体液移動の測定法として、身体各部位での身体周囲長の変動を取りあげ、足圧中心動揺との関連性を検討した。

## II 方 法

### 1. 被験者

年齢18歳から23歳の健康な男子10名、および年齢18歳と19歳の健康な女子2名。

### 2. 測定項目と測定機器および方法

#### 1) 足圧中心 (CFP)

3点式フォース・プレートをもつ床反力計 (Gravicorder; ANIMA-G1804s)

\* 名古屋大学環境医学研究所教授

\*\* 名古屋大学環境医学研究所助手

2) 身体周囲長 (BC)

ラバー・ストレーンゲージ・プレストモグラム法<sup>(9)</sup> (内径0.5mmのゴムチューブに水銀をいれたセンサーを作成し, その電気抵抗の変化(長さの変動に比例する)をホイートストン・ブリッジ回路により検出した)。

3. 身体周囲長測定部位

- a 下 腿
- b 大 腿
- c 下 腹 (腸骨棘高)
- d 腹 (臍高)
- e みぞおち
- f 胸(乳頭高, 女子は乳房上)

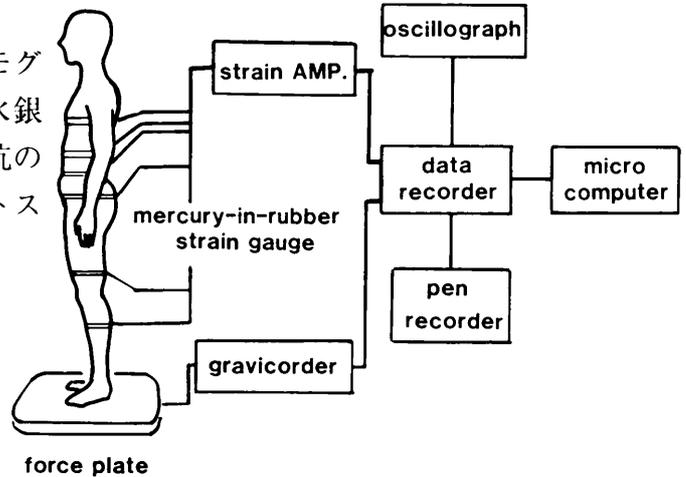


図1 実験のブロック・ダイアグラム

4. 実験方法

図1に実験のブロック・ダイアグラムを示す。被験者にラバー・ストレーンゲージを装着した後, フォース・プレイトの上で, 約20分から40分間の立位保持をさせた。ラバー・ストレーンゲージは身体各レベルにおいて, 立位にて水平になるよう装着した。足位はフリー・スタンスまたは50°開き<sup>(10)</sup>とし, 前方に固視標を置いた。

5. 分析方法

得られた記録のうち男子2名 (S 1 ; 23歳, S 2 ; 18歳) のデータについては, 約1分前後の周期をもつ成分 (以下1分波とする) と約5分前後の周期をもつ成分 (以下5分波とする) に着目して, スペクトル分析 (CFPについては前後動揺) を行った。他の記録については, ペン・オシログラフの観察にとどめた。スペクトル分析では, まず, データ・レコーダの再生信号を, サンプリング間隔100msでA/D変換し, マイクロ・コンピュータに取り込んだ。その後, 0.5Hz以上の成分を除去してから, 1sec間隔で解析用データをサンプルした。これらの前処理の後, デジタル・フィルターと高速フーリエ変換 (FFT) を使用して, 各データのパワー・スペクトル (振幅の自乗に比例した量) およびCFPとBCの間の相互相関 (コヒーレンス; 無相関=0, 完全相関=1.0) を求めた。

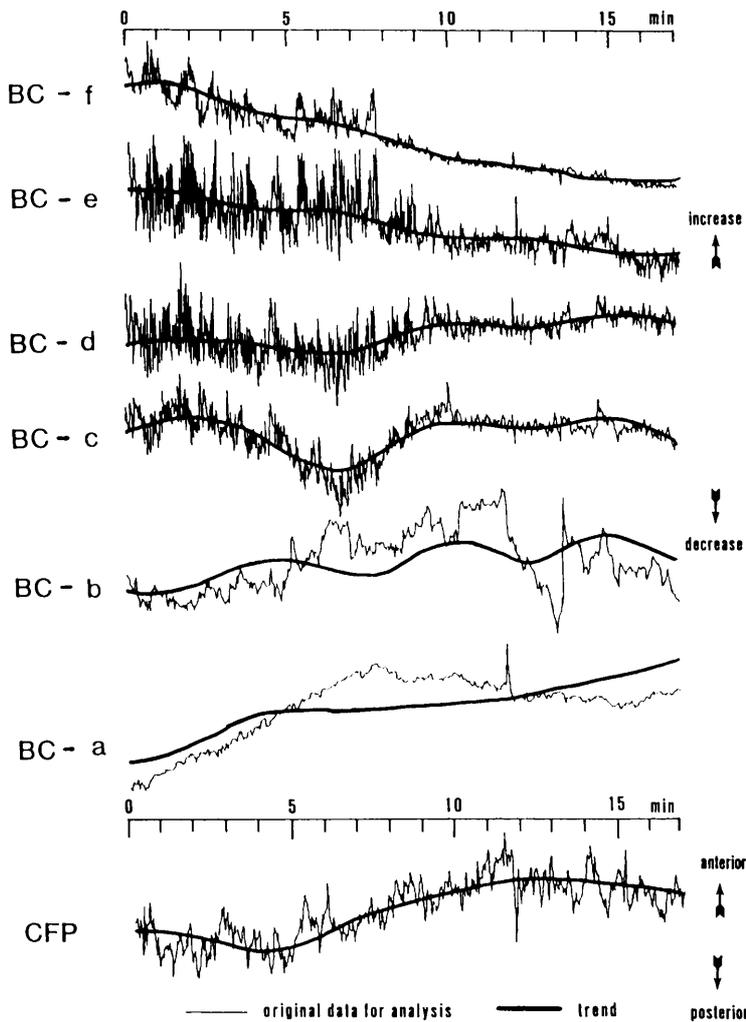


図2 S1の解析用データと傾向線(測定開始から約17分間)

III 結 果

各被験者のCFPとBCの動揺をペン・オシログラフで観察した結果, は

とんどのデータにおいて1分波と5分波の確認ができた。

S 1 および S 2 の解析用データとローパス・フィルターにより求めた傾向線(0.005Hz 以下)を図2と図3に示す。この傾向線により上昇下降の傾向を示すDC成分と、5分波を観察することができた。それらの傾向線のうち、S 1 の胸部とみぞおちは、時間経過により減少の傾向を示し、大腿と下腿のそれは増加の傾向を示した。S 2 における胸部の傾向線は減少を示さず、下腹が減少し、大腿と下腿のそれが増加を示した。

解析用データからこの傾向線の成分を除去してほぼ定常性を確保し、パワー・スペクトルを求めた。その結果を図4と図5に示す。S 1, S 2 の双方について、パワーの大小および多小のピークのずれはあるが、全ての項目について1分波を示す共通したピークを検出できた。その周波数帯域は0.014~0.019 Hz (周期;

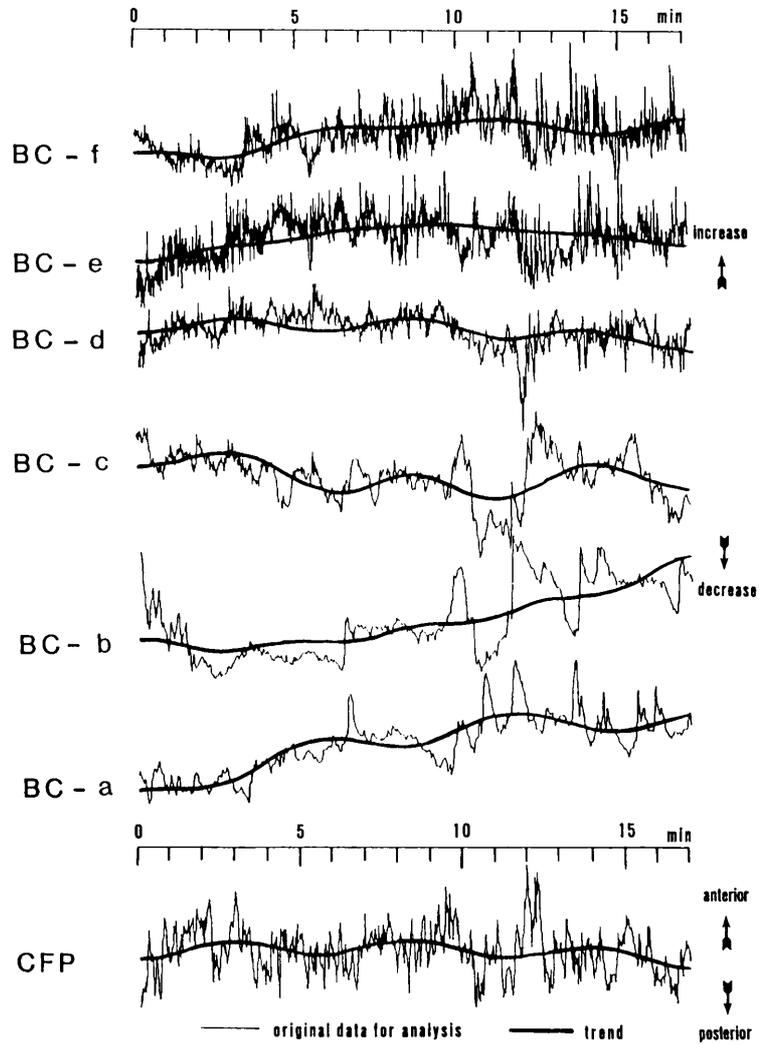


図3 S 2 の解析用データと傾向線(測定開始から約17分間)

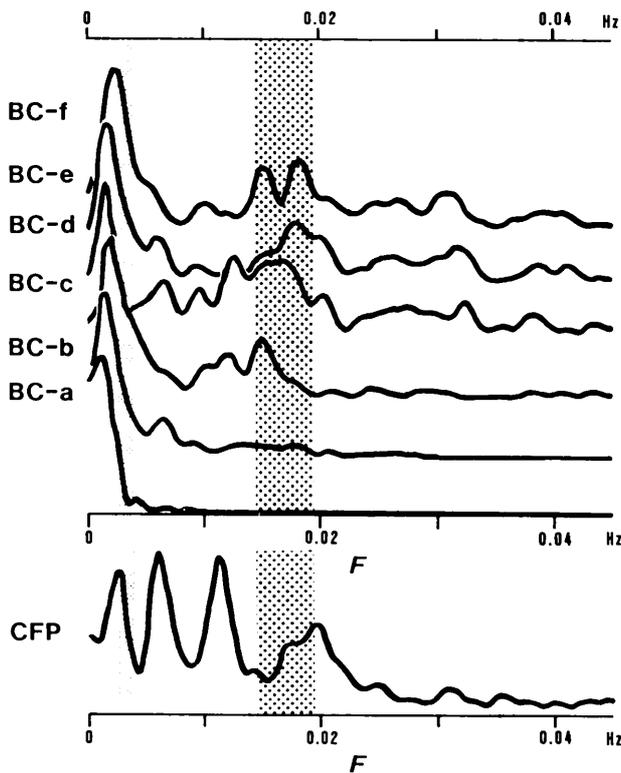


図4 S 1 のパワー・スペクトル

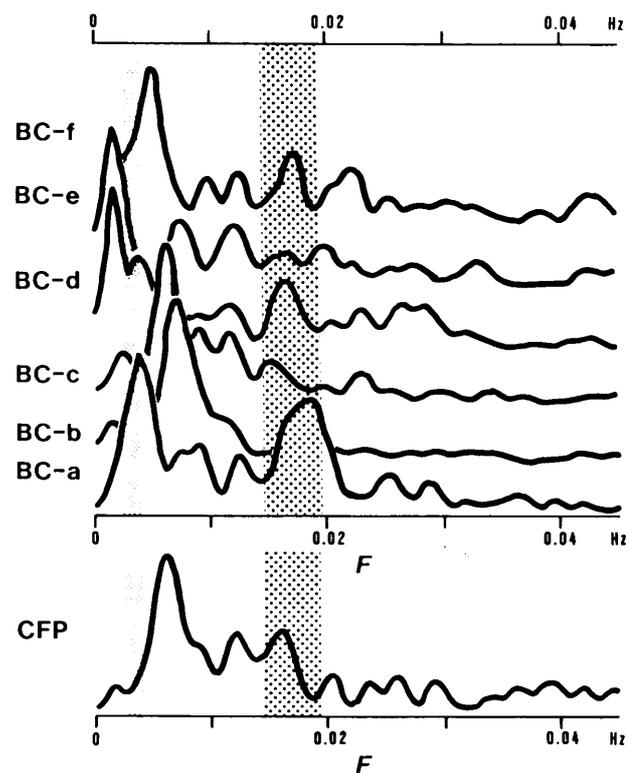


図5 S 2 のパワー・スペクトル

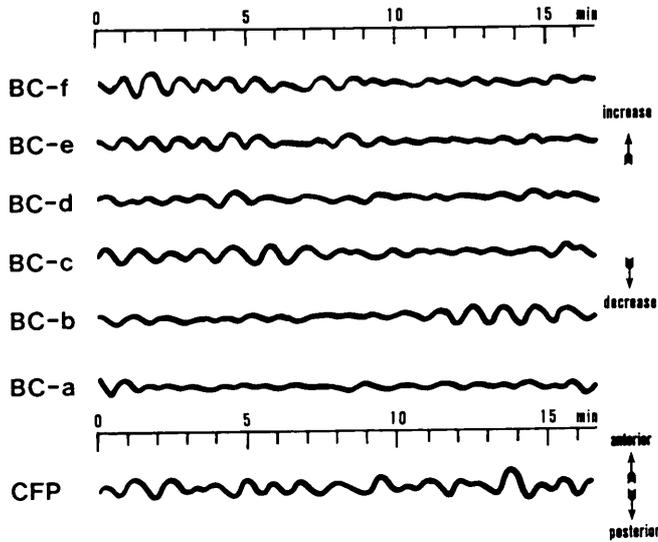


図6 S1の1分波(測定開始から約17分間)

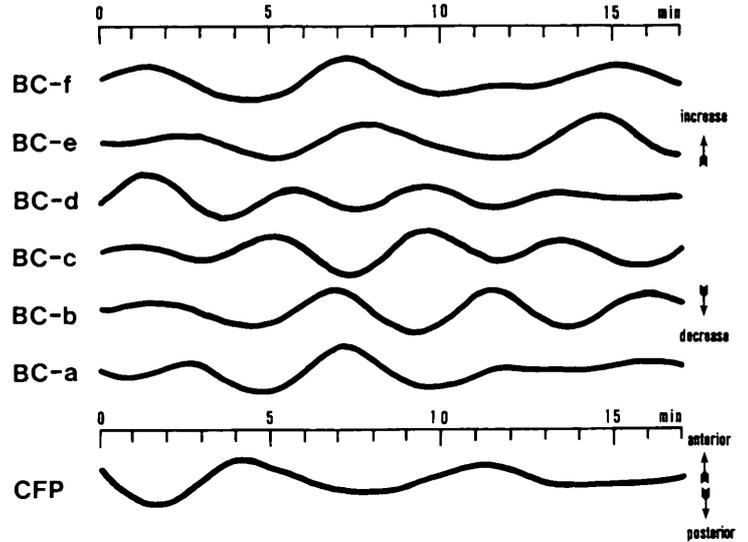


図7 S1の5分波(測定開始から約17分間)

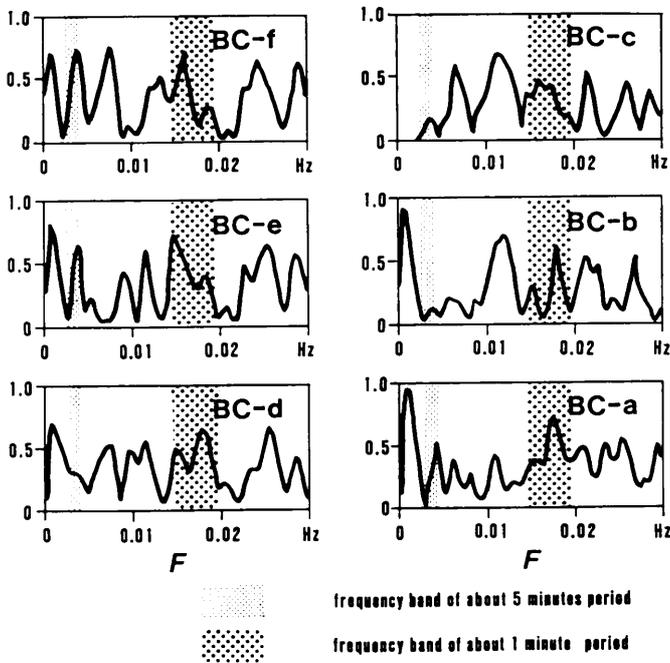


図8 S1のコヒーレンス

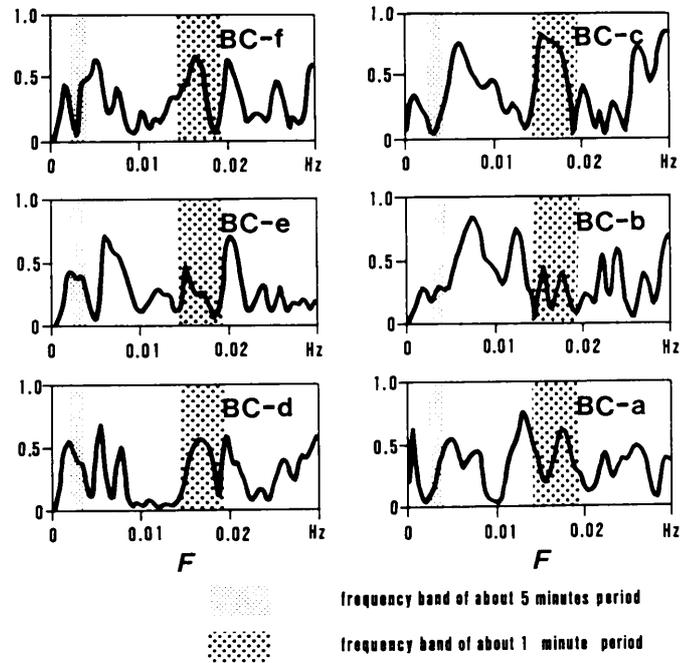


図9 S2のコヒーレンス

71~53 sec)であった。5分波のスペクトルは低周波側の成分に埋もれ、ピークを検出できたのはS1のCFPと胸部および下腿、S2の腹と下腹および下腿だけであった。

バンドパス・フィルターによって求めたS1の1分波と5分波を図6と図7に示す。S2についても同様の図を得ることができた。フィルターを使用した結果、パワー・スペクトルにピークを示さなかった項目についても、1分波と5分波を抽出することができた。

CFPとBCとの間で、それらの相互関係を示すコヒーレンスを求めた。その結果を図8と図9に示す。1分波についてはS1の下腹とS2の大腿を除き、0.5から0.8の相関を得た。5分波についてはS1の胸部と下腿に0.5以上の相関を得たが、その他についてはパワー・スペクトルのピークが不明確なため判定することができなかった。しかし、5分波の周波数帯域には、S2の下腹と下腿を除き、コヒーレンスの共通したピークを観察することができた。

#### IV 考 察

C F P 動揺における低周波成分のうち主要なものは、約15分前後の周期をもつ成分と、約5分前後および約1分前後の周期をもつ成分である<sup>(4)</sup>。その中でもこの1分波は、足底の機械受容感覚に関連性をもつ。しかし、感覚刺激の種類や部位には特異性を示さない。また、身体各部位の位置を変化させても消失しない。座位の体動揺にも含まれている<sup>(7)</sup>。さらには、呼吸運動のベース・ライン、足背の静脈圧、下腿の血管運動を支配する筋交感神経活動の動揺にも、この成分が含まれている<sup>(6)~(8)</sup>。これまでの検索からみれば、この成分の成因は体幹の機能にあり、特に体液の循環に深く係わりをもつものと予測できた。本研究で測定したBCの変動は、身体各部における容積変動の指標とみなすことができる。それには心拍や呼吸の成分も含まれるが、通常、それらより遅い低周波成分が含まれている。その変動要因は主として身体各部における体液貯留量の変動と考えることができる。したがって、上体におけるBCが減少し下肢のそれが増加する傾向(図2と図3)は、立位での重力負荷により、体液が次第に下降していく様子を示していると思われる。

本研究では、1分波のみならず、5分波までもBCの変動に含まれていることを明らかにできた(図4と図5)。そこで、1分波と5分波について、C F PとBCとの関連性をコヒーレンスにより検討したところ、相関度はそれほど高くはないが、相互相関を得ることができた(図8と図9)。

この相互相関は、C F PおよびBCにおける1分波と5分波の成分がそれぞれ同様の周波数をもつことを示している。フィルターを使用して抽出した1分波と5分波をみると(図6と図7)、位相のずれがあり、これらの波がいずれかの方向に伝播していることを示唆している。ひとつの可能性としては、体内における何等かの受容器が体液の移動を感知して下肢筋を収縮し、それにより体動揺をおこすことが考えられる。あるいは、体動揺により身体各部の位置関係が変わり、それによって物理的に体液移動が出現すると推定される。いずれにせよ、下肢筋の収縮が引きおこす筋ポンプに関連していると思われる。

以上の結果からみて、C F P動揺における約1分前後の周期をもつ低周波成分と5分前後の周期をもつそれは、地球の重力に対する体液循環の調節機構に関連していると思われる。

#### V 結 論

立位時における身体周囲長の変動と足圧中心動揺との関係を明らかにするため、それらを同時測定し、健康な男子2名のデータについてスペクトル分析を行った。

その結果、立位保持によって上体の周囲長が減少し、下肢のそれが増加する傾向がみられた。この現象は、立位での重力負荷により、体液が次第に下降する様子を示すものと思われる。これらの周囲長の変動には、約1分前後の周期をもつ低周波成分と約5分前後の周期をもつ低周波成分が含まれていた。それらの成分は足圧中心動揺と相互相関をもっていた。

したがって、足圧中心動揺における約1分前後の周期をもつ低周波成分と約5分前後の周期をもつ低周波成分は、地球の重力に対する体液循環の調節機構に関連していると思われる。

擲筆にあたり、ラバー・ストレインゲージ作製とデータ分析に御指導をいただいた、本学教養部物理学教室 天岸祥光教授に深謝の意を表します。

## 文 献

- (1) Kapteyn T.S., Bles W., Njiokiktjien Ch.J., Kodde L., Massen C.H. & Mol J.M.F. (1983) Standardization in platforme stabilometry being a part of posturography. *Agressologie*, 24 (7): 321-326.
- (2) Igarashi M., & Black F.O. (1985) Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium. Karger, Basel.
- (3) Bles W. & Brandt Th. (1986) Disorders of posture and gait. Elsevier, Amsterdam.
- (4) 稲村欣作, 青木賢一, 間野忠明 (1985) Stabilogram の低周波成分について. 第6回姿勢シンポジウム予稿集: 74
- (5) 稲村欣作, 河合 学, 青木賢一, 天岸祥光, 間野忠明, 大原孝吉 (1985) スタビログラムの低周波成分について —約1分前後の周期をもつ低周波成分と機械受容感覚情報との係わり—. 姿勢研究, 6(1): 1-11.
- (6) 間野忠明, 稲村欣作, 岩瀬 敏 (1987) 体性感覚入力および自律神経系活動と直立制御. *Equilibrium research*, 46(1): 24-25.
- (7) 稲村欣作, 間野忠明, 青木賢一 (1987) 立位時足圧中心における約1分前後の周期をもつ動揺. 名古屋大学環境医学研究所年報, 38: 262-267.
- (8) Inamura K., Mano T. & Iwase S. (1987) Cross spectral analysis of low frequency body sway during upright standing in man. *Journal of the Physiological Society of Japan* 49 (8, 9): 592.
- (9) Whitney R.J. (1953) The measurement of volume changes in human limbs. *Journal of physiology*, 121: 1-27.
- (10) Inamura K., Tanaka H. (1984) Fundamental foot position of stance for measuring human equilibrium in the case of upright standing. *Japanese Journal of Human Posture*, 4(2): 119-125.