

# ヒトの静止立位時における体動揺の1分波と 下肢血液貯留との関係

Relationship between 1 Minute Wave of Body Sway  
and Blood Pooling in The Lower Extremities  
during Static Standing in Humans

稲村欣作・間野忠明\*・岩瀬 敏\*\*・天岸祥光・青木賢一\*\*\*  
Kinsaku INAMURA・Tadaaki MANO・Satoshi IWASE・  
Yoshimitsu AMAGISHI・Ken-ichi AOKI

(Received Oct. 11, 1989)

## I はじめに

ヒトの静止立位姿勢では、その意思にかかわらず不随意的な身体の動揺が常に生起される。それは、ヒトの立位姿勢が可動性の大きい足関節の上に成り立ち、身体を後側の筋群により牽引して平衡を保つ構造になっているからである。また、上体の高さと大きさに比べて、身体が極めて小さい支持基底面にて支えられているからでもある<sup>1)</sup>。この身体の僅かな動揺を体動揺という。

静止立位姿勢における体動揺は、前庭系や固有感覚系、視覚系などによって調節される動揺であり、これまで平衡機能の指標とされてきた。しかしながら、足圧中心動揺（静止立位では、身体の重心動揺とみなされる）など、体動揺の計測データには、これらの系が働いて生ずる種々の動揺のみならず、心拍および呼吸によって生ずる動揺やその他の低周波成分が含まれている。

静止立位時の足圧中心動揺において、平衡感覚系の働きを示す周波数成分は0.1-1.5Hzと考えられる<sup>2)-6)</sup>。著者らはさらに、足圧中心動揺には数種の低周波が含まれ、そのうちの1分波が、体液循環に係わりをもつことを報告した<sup>7)-9)</sup>。ヒトが臥位から立位に姿勢変換をすると、重力による静水圧のため身体の下部に、静脈血の貯蓄が起こる<sup>10)11)</sup>。この血液貯蓄に対する補償作用は、静止立位姿勢を保持し、継続するための基本的な機能のひとつである<sup>12)</sup>。もしそれが不十分な時には、起立性低血圧のため立位保持が不可能になり、ヒトは失神に至ることになりかねない<sup>13)14)</sup>。

本研究では、静止立位時における足圧中心動揺と体液量変動、およびその他のパラメータを同時測定し、それらの1分波における位相差をスペクトル分析により検討した。本研究の目的は、体動揺の1分波が体液循環、特に静脈還流に働く作動機序を明らかにすることとした。

## II 方 法

### 1. 被験者

- 
- \* 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
  - \*\*\* 常葉学園大学外国語学部 教授

年齢21歳～32歳の健康男子4名。

## 2. 測定項目と方法

- 1) 足圧中心前後動揺 (FPC); 体動揺の指標として、重心計 (Patella K105s) により測定した。(フリー・スタンス, 開眼固視条件)
- 2) 身体各部位における周囲長の変動 (BC); 体液量変動の指標として、ラバー・ストレインゲージ・プレチスモグラム法<sup>15)</sup>により測定した。測定部位は、下腿下部から心臓の位置までの間で9箇所を設定した。
- 3) 下腿筋放電 (EMG); 筋収縮度の指標として、表面誘導による筋放電を測定し、時定数0.1秒で全波整流平均積分をした。測定部位は前脛骨筋 (EMG-t) とヒラメ筋 (EMG-s) とした。
- 4) 胸腔内体液量 (IFV); インピーダンス・プレチスモグラム法により測定した。測定部位は首から胸骨レベルの間とした。
- 5) 下腿体液量 (CFV); 下腿のBCから推定した。

## 3. 実験方法

被験者に各センサーを装着の後、重心計のフォース・プレート上で約40分間の直立姿勢をとらせた。

## 4. 分析方法

本研究では、高速フーリエ変換 (FFT) を利用してオート・パワー・スペクトル分析とクロス・パワー・スペクトル分析<sup>16)17)</sup>を実施した。生体のデータにスペクトル分析を適用する時には、データ分析の上で生体特有の問題点が幾つか存在する。本研究ではそれらの問題を解決するため、分析方法に若干の工夫を加えた。

- 1) 定常性の確保とノイズの除去を容易にするため、デジタル・フィルターを、FFTと逆FFTを利用 (convolution integral technique) して作成し、成分分離を行った。
- 2) 低周波の分析を可能にするため、データの前後にゼロ・データをつなげて分析した。
- 3) スペクトルのランダム誤差を減少させ、また位相差の不安定性をおさえるために、データの重複を許し、平均加算回数を増加した。

データ分析は次の手順で行った。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EMGについては1秒毎の平均積分値を求め、他の項目については21項移動平均を行ってから1秒間のデータをサンプルした。これらエラーリング防止のための前処理をした後、2048秒間 (34分8秒間) のデータについてスペクトル分析を行った。

## III 結 果

図1にFPCとBCの解析用データ例 (S1; 23歳) を示す。時間経過とともに、上体のBCは減少し、下肢のそれは増加した。オート・パワー・スペクトル分析により、FPC、

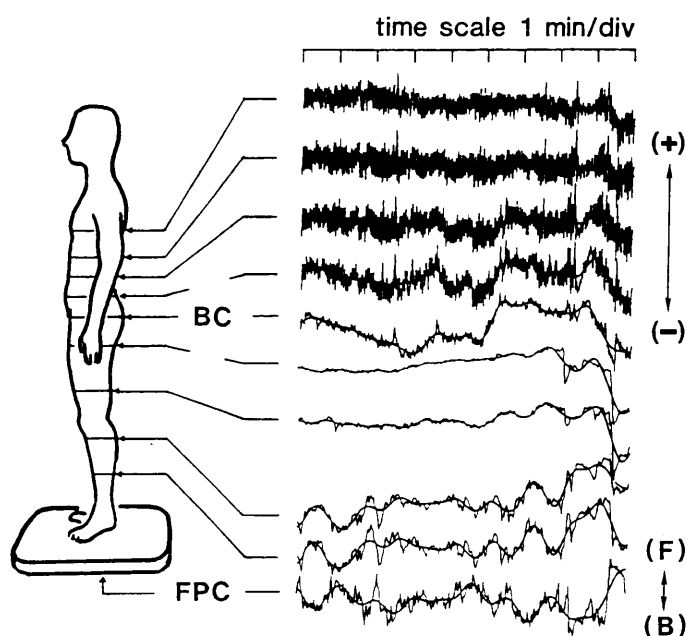


図1

足圧中心動揺と体液量変動のデータ例 (S1; 23歳): 平滑化されたあてはめ曲線は、ローパス・フィルターで1分波よりはやい高周波成分を除去したものである。各データの振幅は最大値と最小値で規格化した。

BC, IFV, EMGすべての測定項目において、複数の周波数成分を持つ1分波をみいだした。その周波数は0.012-0.022Hz（周期；82-46sec）であった。クロス・スペクトル分析により、BCの1分波はほぼ1周期をかけて次第に下腿から胸部へ伝播することが推定できた。FPCの1分波は下腿BCの1分波と逆の位相を示し、FPCの後方転位と下腿BCの増加がほぼ一致する位相を示した。この1分波にはふたつの主となる成分をみいだした。もちろん、それらはすべての測定項目に含まれていた。その内のやや遅い成分の周波数は、0.013-0.016Hz（周期；77-63 sec）であった。また、やや速い成分の周波数は0.018-0.020Hz（周期；56-50 sec）であった。図2に、図1のデータから求めたその1分波（0.012-0.022Hz）を示す。クロス・パワー・スペクトル分析により得た、やや遅い成分の位相差とその成分波の例（S1;23歳）を図3に示す。その位相順は①IFV減少、②EMG-s増加とFPC後方転位、③EMG-t増加、④CFV減少の順であった。やや速い成分の位相順もほぼ同様の結果であったが、IFVの位相差が一定にはならなかった。

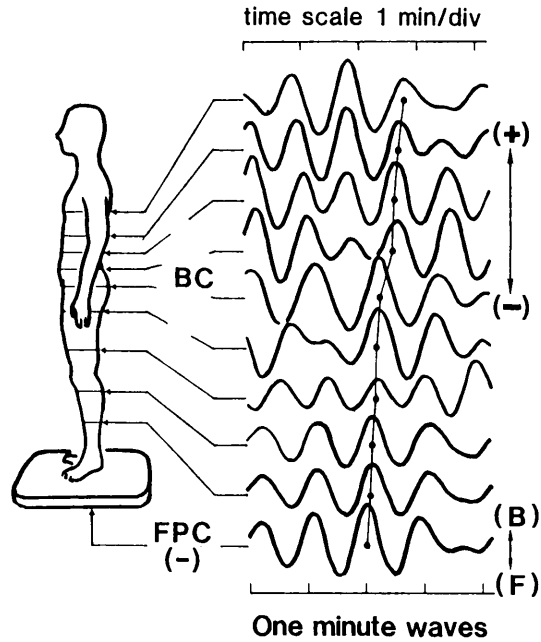


図2

下腿体液量変動1分波の伝播例（S1；23歳）：各データの振幅は最大値と最小値で規格化した。この1分波の周波数帯域は、0.012-0.022Hzであった。

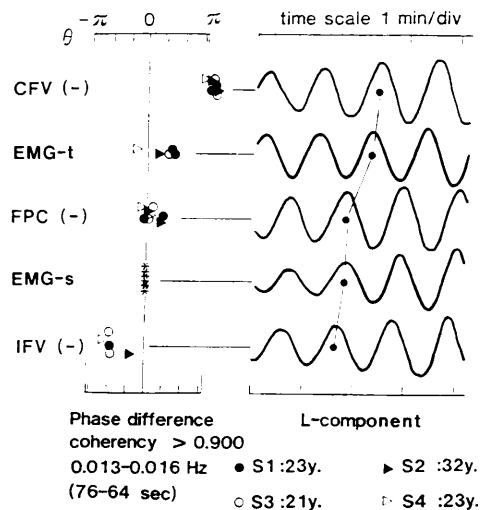


図3

全測定項目におけるやや遅い成分の位相差（全被験者）とその伝播の一例（S1；23歳）：左側に示した位相差の1周期は $-\pi \sim +\pi$ で示される。その値は約70sec前後である。右側に示したやや遅い成分の伝播例では、その振幅を最大値と最小値で規格化した。

#### IV 考 察

体内における脈管内の体液分布は、閉じた液体の系であるから、重力負荷による静水圧の影響を受ける。その影響の受け方は姿勢によって異なるが、継続的な静止立位保持の場合には、身体の下部に体液の貯留を引き起こす<sup>10)11)</sup>。ヒトの起立時には、体重1kgあたり7-10mlの下肢血液貯留が起こり<sup>14)</sup>、両脚で満配になると約500mlの血液貯留が起こるといわれている<sup>10)</sup>。また、この貯留量は主として胸腔内血管床における血液量の減少に由来するといわれている<sup>10)18)</sup>。本研究における身体下部BCの増加と胸部の減少は、この静水圧による影響を示し、下肢に体液貯留が生じたことを示唆している。

プレチスモグラム法は、血液量とリンパ液量とを分離して測定することはできない。しかし、リンパ管における弁などの構造とその自動収縮により、リンパ液の貯留が補償されている<sup>19)20)</sup>ならば、多くの研究者が述べたとおり<sup>10)11)14)18)</sup>、本研究における体液貯留も静脈血によるものと思われる。

下腿体液量変動の1分波は約1周期をかけ、下腿から胸部への伝播を示した。下肢の静脈管には血液の逆流を防ぐための弁構造がある。したがって、下肢の一部位におけるBCの減少は静脈血の

上行を促進する。下腿体液量変動の1分波は、その伝播方向からして静脈還流に重畳し、下腿血液貯留の補償に参与するものと思われる。

ヒトの直立姿勢における身体の重心線は、足関節より前に落ちている<sup>21)</sup>。したがって、足関節を支点として重力のモーメントが生ずる。ヒトは下腿のヒラメ筋をはじめとする身体後側の抗重力筋により、身体を後方へ引き続けながらバランスをとり立位を保持している。この構造のため、体液が下降して重心位置が下がればそのモーメントが減少し、身体は後方に移動する。重心線が床面にかかる点、すなわち足圧中心点も同時に後方へ移動する。また、体液の上昇により重心位置が上がれば、そのモーメントが大きくなって身体が前傾する。足圧中心動揺と体液量変動の1分波は、動作などによる抗重力筋活動への影響がなければ、同期するものと思われる。

本研究で得たやや遅い成分の位相差から、重心の上下動による筋ポンプ作用を推定することができる。すなわち、起立による胸腔内の体液量の減少と下腿体液量の貯留が重心位置の下降を起こす。同時に前方への重力モーメントが減少し、足圧中心点が後方に移動する。それと前後してヒラメ筋の収縮が強まり、次に前脛骨筋のそれが強まる。その結果、両者の筋収縮による筋ポンプ作用が下腿体液量を減少させるとと思われる。

運動時には、静脈還流に対して四肢の筋ポンプ作用が重要な働きをする<sup>22)23)</sup>。ところが筋ポンプは、筋の律動的な収縮と弛緩により働くものである。これまで静止立位における抗重力筋の持続収縮については動作が伴わないためか、筋ポンプ作用について論じられなかった。ヒトの起立時には、圧受容器反射などの交感神経性反応による血管収縮が、静脈血の下降を防ぐとされている<sup>10)11)</sup>が、それだけでは、下肢の血液貯留を補償できないともいわれている<sup>14)</sup>。それならば静止立位時に、他の補償作用が働いているはずであり、本研究で推定された1分波の筋ポンプ作用は、そのひとつと思われる。

## V 結 論

ヒトの静止立位時において、足圧中心動揺とプレチスモグラム法による身体各部位の体液量変動、および下腿抗重力筋の筋放電を同時測定し、その1分波をスペクトル分析した結果、以下の結論を得た。

- 1) ヒトの静止立位時における下腿体液量変動の1分波は、静脈還流に重畳して下腿から胸部に伝播する。
- 2) 身体重心の上下動によってもたらされる、足圧中心前後動揺の1分波は、下腿体液量変動の1分波に反転して同期する。
- 3) 足圧中心動揺と体液量変動との間における1分波の作動機序には、下腿筋収縮強度の変動による筋ポンプ作用が働くと思われる。
- 4) この1分波の筋ポンプ作用は、ヒトの静止立位時における下腿血液貯留に対する補償作用のひとつと思われる。

## 文 献

- (1) K. Inamura, and H. Tanaka: Fundamental foot position of stance for measuring human equilibrium in the case of upright standing, *Jpn. J. Hum. Posture*, 4, 191-125 (1984).
- (2) A.M. Elner and G.V. Mamasakhlisov: Joint action of different afferations in regulation of human postural reactions, *Sci. Geologiques SSR*, 61, 171-188 (1971) (bulletin).

- (3) R.V. Aggashyan, V.S. Gurfinkel, G.V. Mamasakhlisov and A.M. Elner: Changes in spectral and correlation characteristics of human stabilograms at muscle afferentation disturbance, *Agressologie*, 14 (D), 5-9 (1973).
- (4) J. Cernacek, J. Jagr, B. Harman and S. Vyskocil: Stabilographic findings in central vestibular disturbances, *Agressologie*, 14 (D), 21-26 (1973).
- (5) G. Wit: The stabilometry as an auxiliary in investigations of patients with vestibular disturbance, *Agressologie*, 14 (D), 27-31 (1973).
- (6) 藤原勝夫・池上晴夫: 立位姿勢における身体動揺の周波数成分の加齢変化, *姿勢研究*, 4, 81-88 (1984).
- (7) 稲村欣作・青木賢一・間野忠明・岩瀬敏: 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、静岡大学教養部研究報告(自然科学篇), 25, 33-38 (1988).
- (8) K. Inamura, T. Mano and S. Iwase: Cross spectral analysis of low frequency body sway during upright standing in man, *J. Physiol. Soc. Japan*, 49, 592 (1987) (abst.).
- (9) K. Inamura, T. Mano and S. Iwase: Relationship between low frequency sway of foot pressure center and body fluid circulation during standing in man, *J. Physiol. Soc. Japan*, 50, 638 (1988) (abst.).
- (10) O.H. Gauer and H.L. Thron: Postural changes in the circulation. In: *Handbook of Physiology*, W.H. Hamilton (Ed.), sect. 2, vol. III, chapt. 67, 2409-2439, Am. Physiol. Soc., Washington (1965).
- (11) C.G. Blomqvist and H.L. Stone: Cardiovascular adjustments to gravitational stress. In: *Handbook of Physiology*, J.T. Shepherd, F.M. Abboud and S.R. Geiger (Eds.), sect. 2, vol. III, chapt. 28, 1025-1063, Am. Physiol. Soc., Maryland (1983).
- (12) F.A. Hellebrandt and E.B. Franseen: Physiological study of the vertical stance of man, *Physiol. Rev.*, 23, 220-225 (1943).
- (13) 岩瀬敏・齋藤満・間野忠明・稲村欣作・三輪武次・山崎良比古: 起立性失神の交感神経性機序について、名古屋大学環境医学研究所年報 37, 42-47 (1986).
- (14) C.F. Rothe: Reflex control of veins and vascular capacitance, *Physiol. Rev.*, 63, 1281-1342 (1983).
- (15) R.J. Whitney: The measurement of volume changes in human limbs, *J. Physiol.*, 121, 1-27 (1953).
- (16) 日野幹雄: スペクトル分析(第8刷), 朝倉書店, 東京(1982)
- (17) 臼井支朗・伊藤宏司・三田勝巳: 生体信号処理の基礎(伊藤正美監修) オーム社, 東京(1982)
- (18) T. Sjöstrand: Volume and distribution of blood and their significance in regulating the circulation. *Rhysiol. Rev.*, 33, 202-228 (1953).
- (19) K. Seki, Yabuki and K. Ishida: Investigations with radio-labelled molecules in various edemas, *Ergeb. d. Angiol.*, 12, 113-119 (1976).
- (20) K. Seki: Lymph flow in human leg, *Lymphology*, 12, 2-3 (1979).
- (21) F.A. Hellebrandt, R.H. Tepper, G.L. Braun and M.G. Elliott: The location of the cardinal anatomical orientation planes passing through the center of weight in young adult women, *Am. J. Physiol.*, 121, 465-470 (1938).

- (22) F.H. Stegall: Muscle pumping in the dependent leg, *Circulation Res.*, 19, 180-190 (1966).
- (23) B. Folkow, P. Gaskell and B.A. Waaler: Blood flow through limb muscles during heavy rhythmic exercise, *Acta. Physiol. Scand.*, 80, 61-72., 1970.

#### Abstract

The purpose of this study was to clarify how the one minute wave (1-MW) of body sway was related to the mechanism of compensation for the venous blood pooling in the legs during static standing in humans. The 1-MWs of foot pressure center, oscillations of body circumferences and other parameters were analyzed with auto-power and cross power spectral analysis. The 1-MW of the calf's blood volume propagated to the chest via the venous system. This was inversely synchronized with the 1-MW of the foot pressure center. It was speculated that muscular pumping of the calf related to the 1-MW of the body's center of gravity might be compensating for the venous blood pooling in the legs.