

継続的静止立位における起立性低血圧防止法
— 下腿の随意的筋収縮が体液量変動 1 分波に及ぼす効果 —

A Method for Preventing Orthostatic
Hypotension in Prolonged Static Standing
— Effect of voluntary muscle contraction in
the lower legs on 1 minute wave in body
fluid volume change —

稲村欣作、間野忠明*、岩瀬 敏**、天岸祥光

Kinsaku INAMURA, Tadaaki MANO, Satoshi IWASE,
Yoshimitu AMAGISHI

(Received Oct. 9, 1990)

I はじめに

約 10 年程前から、子供達が朝礼などで長時間の直立保持ができないなど、起立耐性をはじめとする、子供たちの動物の原始反射機能の低下が問題にされてきた¹⁾。その問題は義務教育段階、および高等学校教育段階の努力により解決されたかのようにみえたが、さきごろの報道（1990 年 7 月 6 日、朝日新聞、静岡新聞）によればさらに悪化しているようである。本学でも、データの採取はしなかったが、1987 年度体育実技授業にて新入生の意外な事故の急増を経験した。文明による環境変化のもたらしたこの問題の根本的解決策には、社会全体の教育システムと教育内容の再検討が係わってくると思われる。しかしながら、個々の問題に対する対策も当然必要であり、これからの若者には、自己の動物の原始反射機能の低下を認識し、背筋力の低下や起立耐性の低下などに対する対応策を持つことも重要なことと思われる。

著者らは、人間が動物と区別される歴史的原点であり、運動や動作の基礎とされる直立姿勢について、長年にわたり探求してきた^{2,3,4)}。その中で、起立耐性の低下に対する対応策となり得る知見を得たので、その実用化を検討することにした。

ヒトの静止立位では、重力による静水圧のため下肢と腹部に静脈血の貯留が起こる。当然のことながら、体内の恒常性を維持するために、この血液下降に対する補償作用が発現する。先に述べた起立耐性の良否は、主にこの補償作用によって決定される。もし、その作用に重大な欠陥があれば、ヒトは立上がることもできなくなる。この補償作用は、健常人では交感神経性反応による血管収縮によって行われているが、そればかりではなく、筋ポンプ作用など、その他の作用が深く関与している^{5,6,7)}。

著者らは、この血液貯留を補償する作用のひとつとして、血液貯留部において血管平滑筋の自動収縮により発生するとみなされる体液量変動 1 分波をみいだした^{8,9)}。静止立位時におけるこの 1 分波は、立位に伴う身体動揺の 1 分波とカップリングして、胸部への静脈還流を促進す

* 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

る^{10,11)}。この1分波の作動機序においては、身体が前方偏位した時に下肢後側の筋群が収縮し、身体が後方偏位した時には腹筋群が収縮する。したがって、そのタイミングに合わせて、意識的に下肢筋群と腹筋群の収縮を強化すれば、その筋ポンプ作用によりこの1分波が増幅され、静脈還流も増加すると思われる。

そこで本研究ではその手始めとして、下肢筋群のうち、下腿ふくらはぎにおける随意的な筋収縮の筋ポンプ作用が、体液量変動1分波に及ぼす効果を検討することにした。

II 方 法

健康な男子2名（S1：19歳、S2：20歳）に、静止立位保持（条件A）、および不随意に起こる身体のゆっくりした前後動揺にあわせ、下腿ふくらはぎの筋収縮を随意的に行わせた静止立位保持（条件B）を、それぞれ約20分間行わせた。それぞれの条件の前には約20分間の背臥位を取らせた。それぞれの立位保持と背臥位において、ラバーストレインゲージプレチスモグラム法¹²⁾により身体各部位の周囲長（BC）を、インピーダンスプレチスモグラム法¹³⁾により心拍出力量及び1回拍出力量を、また重心動揺計により足圧中心動揺（FPC）、ポリグラフにより心電と下肢及び腹部筋放電（EMG）を同時に測定した。1分波の検出には、高速フーリエ変換を用いたスペクトル分析を使用した。

III 結果と考察

図1はS1の生データを示したものである。身体周囲長の増減傾向では、下肢と腹部が増加し、胸部が変化しないかまたは減少の傾向を示した。この結果から下肢と腹部に静脈血の貯留が起きたと判定した。条件Aの下腿周囲長増加傾向は条件Bより大きかった。

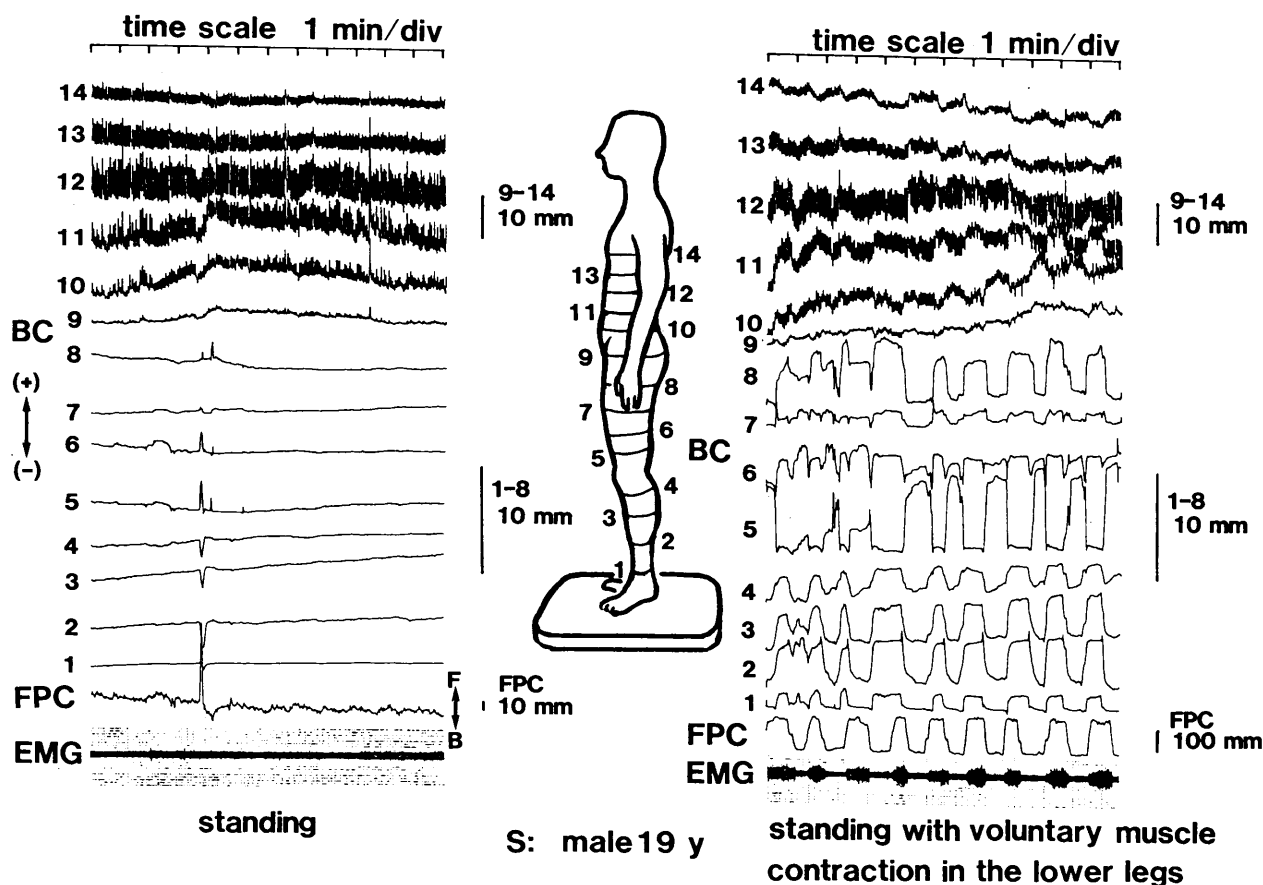


図1

静止立位時（左）と随意的下腿筋収縮を行った静止立位時（右）の測定データ：BCは身体周囲長、FPCは足圧中心動揺、EMGは腓腹筋筋電図を示す。BCの下腿増加傾向は下腿筋収縮により減少した。

身体周囲長の1分波を見るため、その増減傾向をデジタル フィルターにより除去したデータを、図2に示す。条件Aでは、身体周囲長の1分波は下腿と腹部に発生し、上方に優勢な伝播を示した。条件Bでは、その振幅が随意的筋収縮により非常に大きく増幅され、下腿に発する1分波は胸部までの連続的な伝播を示した。その振幅変化を求めたところ、S1における下腿ふくらはぎでは、条件A： $0.112 \pm 0.149 \text{ mm}$ に対し、条件B： $1.719 \pm 0.506 \text{ mm}$ 、胸部では条件A： $0.131 \pm 0.074 \text{ mm}$ に対し、条件B： $0.891 \pm 0.441 \text{ mm}$ であった。これら身体周囲長に関する結果は、双方の被験者において同様のものが得られた。

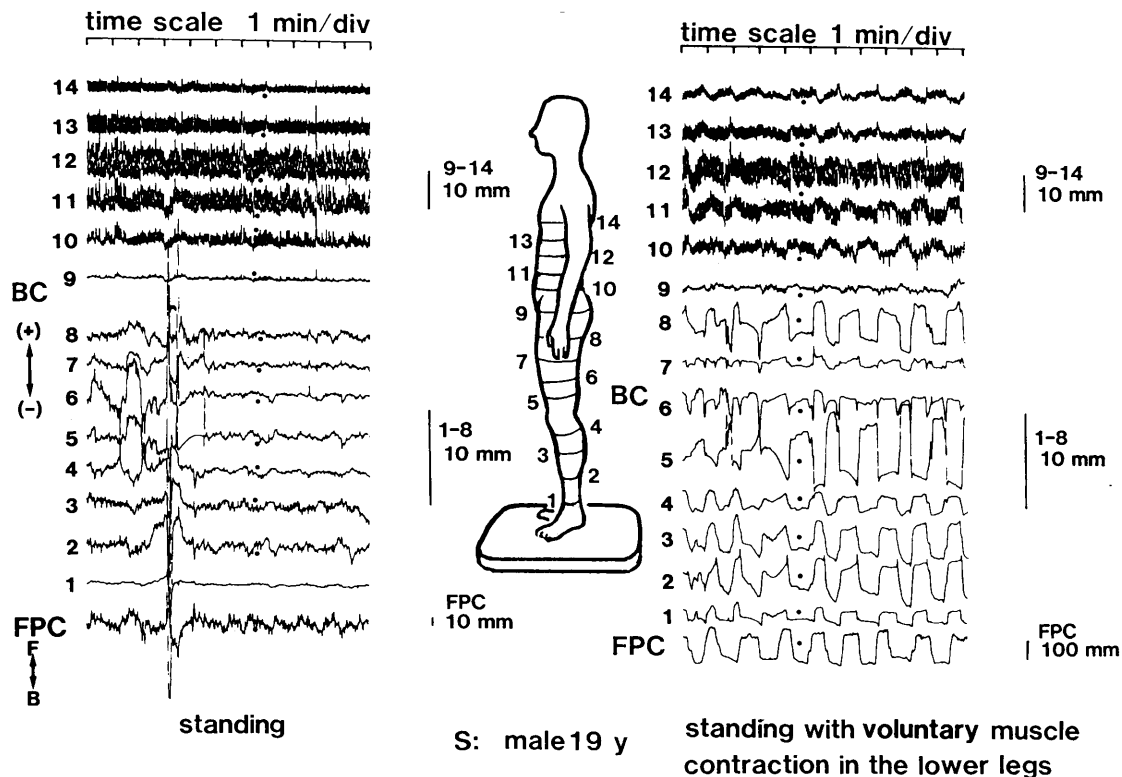


図2

デジタルフィルターにより、増減傾向を除去した身体周囲長と足圧中心動揺のデータ：伝播の見やすい波動に（・）印を付けてある。静止立位時（左）における下腿BC1分波は、腹部BC1分波に受け継がれて胸部に伝播する。随意的下腿筋収縮による下腿BC1分波は、そのまま胸部まで伝播する。BC1分波の振幅は、随意的下腿筋収縮により著しく増大した。

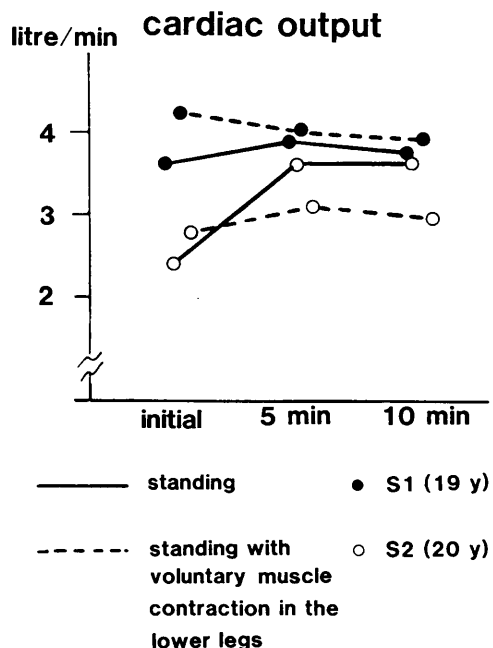


図3

測定開始時と5分後および10分後の心拍出量：実線は静止立位時、破線は随意的下腿筋収縮を行った静止立位時のデータを示す。●はS1、○はS2のデータを示す。以下図4、図5も同じ。S1の心拍出量は下腿筋収縮により増加した。S2では、血管迷走神経性反応により、初期値以外は低下した。

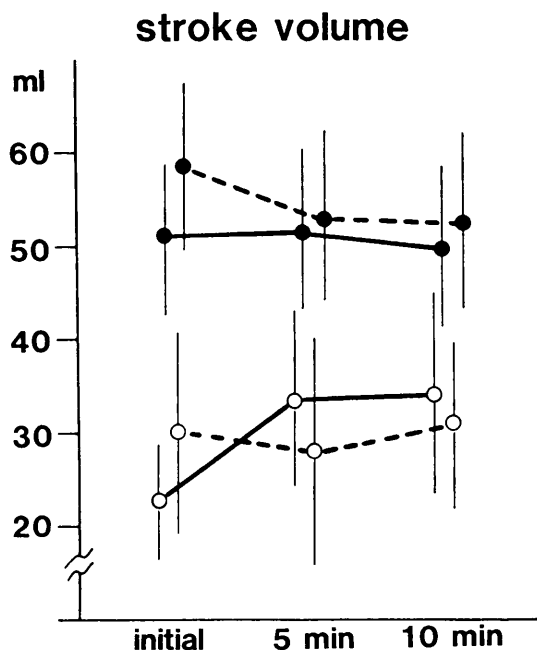


図 4

測定開始時と5分後および10分後における1回拍出量の平均と標準偏差：垂直線は±1標準偏差を示す。1回拍出量の増加は、静脈還流の増加を意味する。

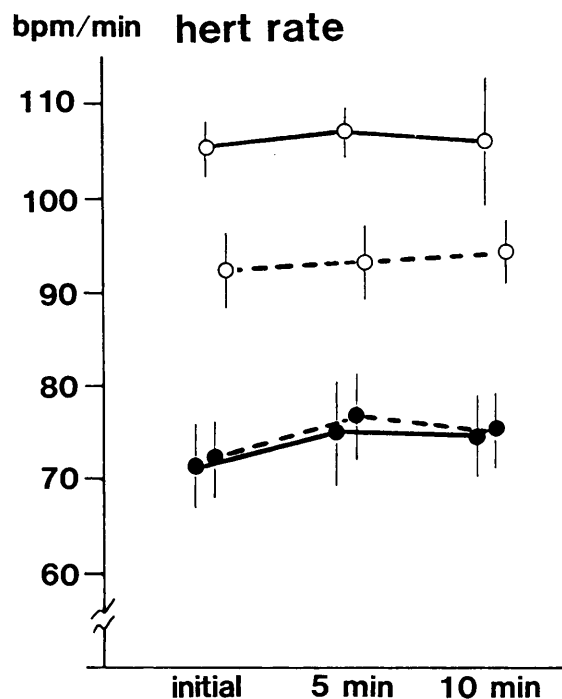


図 5

測定開始時と5分後および10分後における心拍数の平均と標準偏差：S2は、血管迷走神経性反応により徐脈を引き起こしたと思われる。

図3に測定開始時と5分後および10分後の1分間から求めた心拍出量を示す。また、同様にして求めた1回拍出量を図4に、心拍数を図5に示す。S1の心拍出量は、初期値と5分値、および10分値ともに、条件Bで増加した。1回拍出量は、条件A： $50.6 \pm 8.1 \text{ ml}$ 、条件B： $58.6 \pm 8.7 \text{ ml}$ （初期値）と増加したが心拍数には変化がなかった。したがって、随意的下腿筋収縮の筋ポンプ作用により静脈還流が増加したと推定できる。

S2における条件Bの心拍出量は、初期値において増加したが、5分値と10分値では減少した。1回拍出量も同じ変化を示した。S2の背臥位心拍数は $57.3 \pm 5.7 \text{ bpm/min}$ （初期値）と低かったのに対し、条件Aすなわち立位の心拍数は $105.4 \pm 2.9 \text{ bpm/min}$ （初期値）であり、この被験者は立位負荷に対する反応性が高く血管迷走神経性反射が起こりやすいタイプとみられる¹⁴⁾。条件Bの心拍数は5分後と10分後のみならず初期値においても条件Aより10拍以上の減少を示した。被験者からの訴えは何もなかったが、これらのことから、条件BにてS1は血管迷走神経性の心拍数抑制反応を引き起こしていたと思われる。しかしながら、随意的下腿筋収縮の効果のためかどうかは不明であるが、起立性低血圧症状を示さなかった。

IV 結 論

静止立位時において、不随意に起こる身体の前後動揺1分波に合せた随意的下腿筋収縮は、その筋ポンプ作用により体液量変動1分波を増強して静脈還流を促進すると思われる。したがって、この随意的下腿筋収縮を使用すれば、長時間の直立不動を必要とする場合でも、重力によって引き起こされる起立性低血圧を防止できる可能性があると思われる。

文 献

- 1) 正木健雄：子どもの体力現状と問題点、日本体育学会第三十回記念大会号、730（1979）
- 2) Inamura, K. : Re-assessment of the method of analysis on Electrogravitiograph and

the one foot test, *Agressologie*, 24, 107-108 (1983)

- 3) 稲村欣作、河合 学、青木賢一、天岸祥光、間野忠明、大原孝吉：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周波数成分と機械受容感覚情報との係わり—、*姿勢研究*, 6, 1-11 (1986)
- 4) 岩瀬 敏、齊藤 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)
- 5) Gauer, O.H. and Thron, H.L. : 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)
- 6) Blomqvist, C.G. and Stone, H.L. : 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)
- 7) Smith, J.J. and Kampine, J.P. : *Circulatory Physiology—the essentials*, third ed., Williams & Wilkins, Baltimore (1990)
- 8) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏：1分波の発振部位と体液貯留部位との関係からみた体液量変動1分波の成因、*名古屋大学環境医学研究所年報*, 41, 51-56 (1990)
- 9) Inamura, K., Mano, T. and Iwase, S. : One minute wave in body fluid volume related to maintenance of blood distribution in the human body, *Environmental Med.*, 34, 197-200 (1990)
- 10) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏、天岸祥光、青木賢一：ヒトの静止立位時における身体動揺の1分波と下腿筋ポンプ作用、*姿勢研究*, 11, 39-50 (1991)
- 11) Inamura, K., Mano, T., Iwase, S., Amagishi, Y. and Aoki, K. : Low frequency components of the body's center of gravity and blood circulation, *Frontiers Med. Biol. Engng.*, 3, 139-144 (1991)
- 12) Whitney, R.J. : The measurement of volume changes in human limbs, *J. Physiol.*, 121, 1-27 (1953)
- 13) Kubicek, W.G., Patterson, R.P. and Witsoe, D.A. : Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 170, 724-732 (1970)
- 14) Mano, T. : Sympathetic nerve mechanisms of human adaptation to environment—Findings obtained by recent microneurographic studies—, *Environmental Med.*, 34, 1-35 (1990)

Abstract

A method how to prevent an orthostatic hypotension in a prolonged static standing is proposed in this study. Two young male subjects were required to contract the calves' muscles repetitively at the timing of forward shift in the body sway during static standing. Effect of the voluntary muscle contraction on 1 minute wave (1-MW) in body fluid volume change was revealed by a rubber strain gauge plethysmography. Cardiac parameters and electromyographic data were also measured simultaneously.

Following results were obtained : The 1-MW in the body fluid volume change is amplified by the calves' muscle contraction when the foot pressure center shifts forward. Cardiac output and stroke volume are also increased by this contraction. Heart

rate is, however, not changed. It is concluded that the voluntary muscle contraction in the calves, which is coupled with the body sway, accelerates venous return from the lower legs. It is expected to be useful for a countermeasure to orthostatic hypotension in a prolonged static standing.