

## 長時間静止立位における起立性低血圧防止法の開発(2)

—腹部および下肢腹部組合せ随意的筋収縮が心拍出量に及ぼす効果—

### Development of a Method for Preventing Orthostatic Hypotension during Prolonged Static Standing (2)

— Effect of voluntary muscle contractions in the abdomen and  
effect of voluntary ones, coupled within the legs and abdomen, on cardiac output —

稲村欣作・間野忠明\*・岩瀬 敏\*\*・天岸祥光\*\*\*

Kinsaku INAMURA, Tadaaki MANO\*, Satoshi IWASE\*\*  
and Yoshimitsu AMAGISHI\*\*\*

(1996年10月7日受理)

#### Abstract

To develop a method for preventing orthostatic hypotension using voluntary muscle contraction, 30 healthy young males aged from 18 to 23 years were requested to maintain upright standing for 30 min. Front-back sway of foot pressure center (postural sway) by a platform stabilometry, and cardiac parameters by an impedance plethysmography were measured during the experiments. Control condition (A) was static standing with as little movement as possible. Experimental conditions were (B) static standing with repetitive voluntary muscle contractions in the lower abdomen at the timing of a backward shift in postural sway, (C) standing with the repetitive muscle contractions in the middle abdomen at the timing of a backward shift, (D) standing with the repetitive muscle contractions in the calves and lower abdomen at the timing of a forward shift, and (E) standing with the repetitive muscle contractions in the calves at the timing of a forward shift and the ones in the lower abdomen at the timing of a backward shift. Mean values of the cardiac parameters for 20 min in the experimental conditions were compared with the ones in the control condition.

In the condition (B), mean values of stroke volume in 43% of the subjects increased. The one in 40% of the subjects increased in condition (C). The ones in 50% of the subjects increased in the condition (D). The ones in the 62% of the subjects increased in condition (E). Increase ratio of stroke volume in these subjects in condition (E) was 10.2%. This increase was statistically significant ( $p < 0.01$ ). Increase ratio of cardiac output was 11.8%.

These results may signify that the voluntary muscle contraction in condition (E) is

---

\* 間野忠明 名古屋大学環境医学研究所・教授  
\*\* 岩瀬 敏 名古屋大学環境医学研究所・助手  
\*\*\* 天岸祥光 静岡大学理学部・教授

regarded as the most effective method for enhancing the muscle pumping. We concluded that the voluntary muscle contraction in the calves and lower abdomen synchronized with postural sway is expected to be useful as a countermeasure of orthostatic hypotension or syncope in prolonged static standing in humans.

## はじめに

二十年近く前から、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、子供達の動物的原初反射機能の低下が問題にされてきた<sup>1)</sup>。文明による環境変化がもたらしたこの問題の根本的解決には、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来ると思われる。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、これからの若者達には、自己の動物的原初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<sup>2,3,4,5)</sup>。その中で、起立耐性の低下に対する対応策に利用できる知見を得たので<sup>6,7,8)</sup>、その実用化を検討することにした。著者らはすでに、静止立位において心拍出量を増加するための下肢随意的筋収縮方法を検討し、その第一報として報告した<sup>9)</sup>。本研究ではその第二報として、腹部随意的筋収縮方法、および完成型である下肢腹部組合せ随意的筋収縮方法について検討した結果を報告する。

## 方 法

### 1. 理論的背景

ヒトが臥位から起立すると、重力による静水圧のため約500mlの血液が身体の下方に移動する<sup>10)</sup>。長時間の静止立位では、重力が働き続けるのでさらに血液の下降が引き起こされ、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。この補償作用は、健常人では交感神経性反応による末梢血管の収縮によっておこなわれるが、そればかりではなく、筋ポンプ作用やホルモン分泌などが深く関与している。健常人でも、この作用が十分に働かない場合には、起立性低血圧や失神を引き起こすことがある<sup>11,12,13)</sup>。

著者らは、この血液下降と血液貯留を補償する現象のひとつとして、血液貯留部における末梢血管の自動収縮に由来する体液量変動1分波の作用を見いだした<sup>14,15,16)</sup>。図1にそのデータ例を示す。図1に示したとおり、静止立位姿勢におけるこの体液量変動1分波は、この姿勢で見られる自然の身体動揺(姿勢動揺)のうちの約1分周期を持つ動揺に呼応して上方に伝播し、胸部への静脈還流を促進する。推定されたその補償量は約6 ml/cycleであった。1回の量はわずかであるが、長時間になるとかなりの量、例えば、1時間では360mlと献血時の採血量に近くなる。長時間の静止立位において、この補償作用がかなり有効に働いていることは、スポーツ大会の開閉会式で、プラカード持ちの人が比較的多く起立性低血圧を引き起こすことから理解できる。その場合には、プラカードを床に立てて身体の自然の動揺を妨げ、この補償作用を減弱させていることが原因と推測できる。

著者らが、この作用の作動機序を検討した結果、身体の重心が前方に偏倚した時に下腿ふくらはぎの筋群が収縮して筋ポンプが働くこと、また、身体重心が後方に偏倚した時に腹部の筋

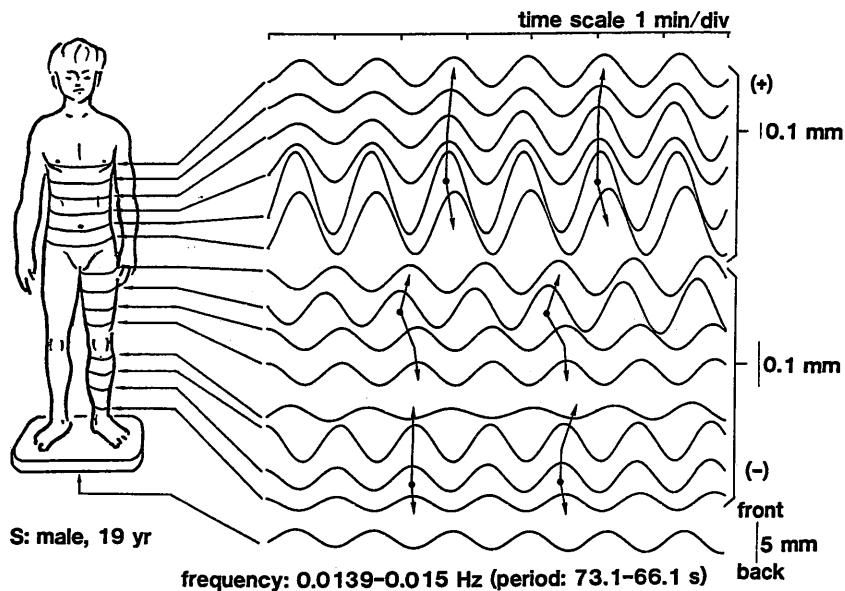
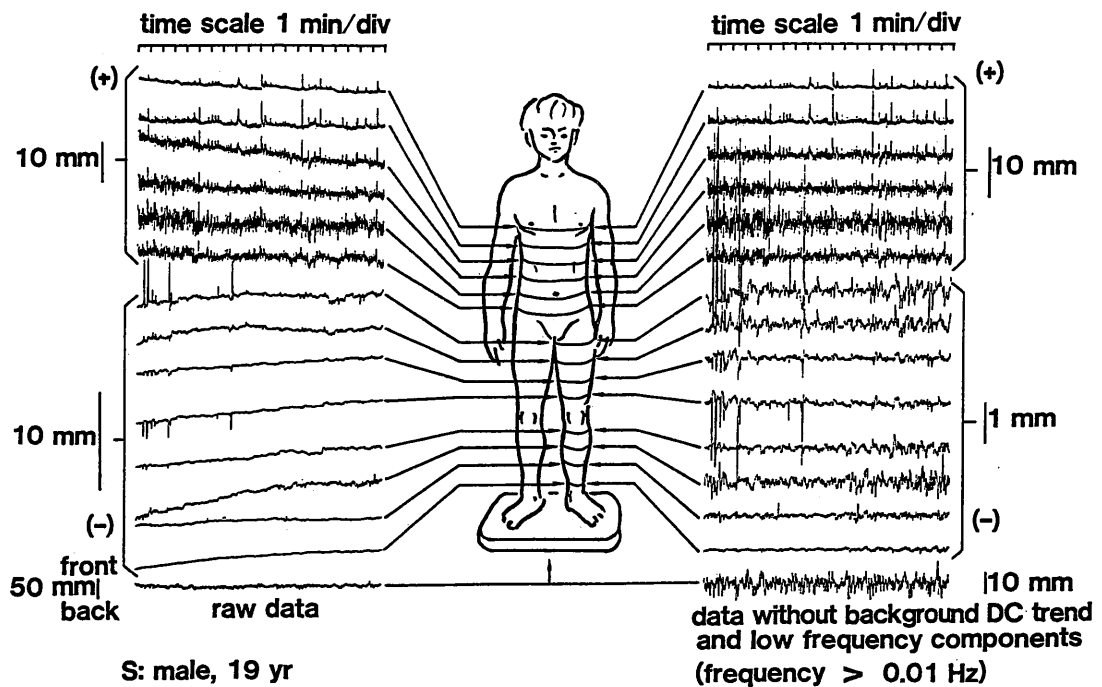


図1. 姿勢動揺1分変動と体液量変動1分波のデータ例。

上下の図において、最下段のデータは足圧中心前後動揺（姿勢動揺）、その他のデータは身体周囲長の変動（体液量変動）。上図の左は生データ、上体の周囲長は次第に減少し、身体下部のそれが増加した（血液の貯留）。右は、トレンドと低周波をフィルターにより除去したデータ。速い変動の背後に約1分周期の変動が観察できた。下図は、フィルターにより抽出した1分変動と1分波。1分波は下腿と大腿及び腹部で発生し、上方に優性な伝播を示した。下腿の1分波は足圧中心の1分変動と位相が逆転し、腹部のそれは同期していることに注意（筋ポンプ作用のタイミング）。

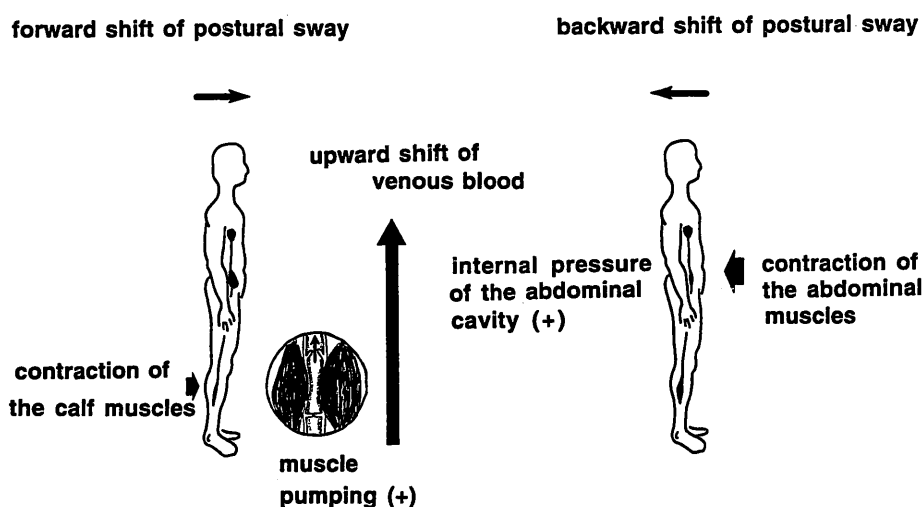


図2. 筋ポンプ作用作動機序の模式図.

身体の重心が前方に偏倚した時に下腿ふくらはぎの筋群が収縮して筋ポンプが働く。身体の重心が後方に偏倚した時に腹部の筋群が収縮し、それによる腹腔内圧の上昇がポンプ作用として働く。その作用により体液量変動1分波が増幅され、静脈還流を促進する。

群が収縮し、それによる腹腔内圧の上昇がポンプ作用として働くことが明らかになった。その模式図を図2に示す。これらの筋収縮は不随意的でそれほど強い収縮ではない。したがって、これらの筋収縮をこの作動機序のタイミングにあわせて随意的に強化すれば、体液量変動1分波の振幅を増幅し、補償効果を増大して起立性低血圧を防止できるはずである。

## 2. 被験者

年齢18～23歳の健康な男子学生30名を対象とした。腹部の随意的筋収縮に関する測定を17名について行い、下肢と腹部双方で随意的筋収縮を行う方法に関する測定を13名について行った。

## 3. 測定項目

### 1) 体液量変動

足首から胸部乳頭までの14箇所で、身体周囲長をラバーストレンゲージプレチスモグラム法<sup>17)</sup>により測定した。

### 2) 足圧中心動揺

姿勢動揺の指標として、スタトキネシメトリー<sup>18)</sup>により足圧中心の前後動揺と左右動揺を測定した(パテラ K-105S)。

### 3) 一回心拍出量、心拍数、心拍出量

インピーダンスプレチスモグラム法<sup>19)</sup>(日本光電 AI-601G)とポリグラフ(日本光電 ZB-652PS; 3点誘導法)にて測定した。

### 4) 下肢と体幹の筋放電

ポリグラフ(日本光電 AM601-G)による表面電極法にて、前脛骨筋、ヒラメ筋、大腿直筋、大腿二頭筋、腹直筋、および脊柱起立筋の筋放電を測定した。測定側は左側とした。

### 5) 末梢血圧

首にかけた包帯で、左手を心臓レベルに釣り下げ、フィナプレス（Ohmeda 2300）にて測定した。

#### 4. 実験方法

すべての測定器のセンサーを被験者に装着した後、5分間の座位をとり、その後、基準条件である条件Aにて30分間の静止立位保持をさせた。同様に、次項に示す実験条件B～Gのいずれかを、1条件または2条件測定した。各測定の間には、約10分間の長座位による休息を入れた。測定中に起立性低血圧の症状が出たときには、ただちに実験を中止した。

#### 5. 実験条件

##### 1) 腹部随意的筋収縮

- (1) なるべく動かないようにして、静止直立姿勢を保つ（条件A；基準）
- (2) 直立時に起こるゆっくりとした身体の揺れに合わせ、身体の重心が後に偏倚した時に、下腹部の筋群を随意的に約10～20秒間収縮させる（条件B）
- (3) 条件Bと同様の身体の揺れに合わせ、身体の重心が後に偏倚した時に、中腹部の筋群を随意的に約10～20秒間収縮させる（条件C）

なお、予備実験として、身体の重心が前に偏倚した時、下腹部の筋群を随意的に約10～20秒間収縮させる条件Fと中腹部の筋群を収縮させる条件Gも、各1名ずつ測定した。

##### 2) 下肢腹部組合せ随意的筋収縮

- (1) なるべく動かないようにして、静止直立姿勢を保つ（条件A；基準）
- (2) 直立時に起こるゆっくりとした身体の揺れに合わせ、身体重心が前に偏倚した時、下腿ふくらはぎと下腹部の筋群を随意的に約10～20秒間収縮させる（条件D）
- (3) 条件Dと同様の身体の揺れに合わせ、身体の重心が前に偏倚した時に下腿ふくらはぎの筋群を、身体の重心が後ろに偏倚した時に下腹部の筋群を、随意的に約10～20秒間収縮させる（条件E）

#### 6. 分析方法

データはすべてデータレコーダ（ソニーマグネスケール KS-616Uとエヌエフ回路設計ブロック RP-882）に収録し、後日マイクロコンピュータ（エプソン PC-486HとNEC PC-9801VX）にて分析した。本研究で得たデータは莫大な量であるので、今回は一回拍出量と心拍数および心拍出量を中心にして検討することにした。

インピーダンスプレチスモグラムの出力データを200Hzのサンプリングタイムでデジタル変換しコンピュータに取り込んだ。その後、Kubicekらの式<sup>19)</sup>により、脈拍一拍毎の一回拍出量を求め、同時に瞬時心拍数も求めた。それらのデータをスプライン補間した後、1秒毎に再びサンプルしてデータとした。また、サンプル間隔を1秒毎ずらしながら、前後30秒間の一回拍出量の総和を求めて心拍出量とした。

次に、測定開始から20分間のデータを5分毎に区切り、第1～第4区間とした。それぞれの区間で個人毎の平均値を求め、基準条件と実験条件との平均差の検定（対応のあるtテスト）を行い、個人毎の随意的筋収縮の効果を判定した。また、被験者全員の平均値を求めてt検定し、最後に、一回拍出量に効果のあった被験者の平均値を求め、各条件間の比較をした。

## 結 果

被験者の年齢、身長、体重、安静背臥位の血圧、および心拍数の平均と標準偏差を表1に示す。本研究の被験者は週4日、3時間程度のバレーボールを練習している運動選手のためか、心拍数がやや少なかった。

本研究の条件Aでは、測定した30名の内5名が、測定開始20分前後で起立性低血圧症状を引き起こし、その条件の実験を中止した。しかし、本人の同意の上で引き続き行ったB～Gの条件では、ひとりも起立性低血圧症状を引き起こさなかった。ノイズトラブルなどにより直ちに分析できないデータを除外した結果、最終的に各条件で得られた分析可能データ数は、条件B；14名、条件C；10名、条件D；8名、条件E；13名分であった。この外に、腹部筋収縮の予備実験として行った条件FとGでは、条件Gで一回拍出量と心拍出量が増加したが、重心が前に偏倚した時に腹部の筋収縮を行うのは「かなり難しい」との訴えがあったので、測定数を1名にとどめた。

表1 被験者の年齢、身長、体重、安静背臥位の血圧、および心拍数の平均と標準偏差

被検者群	年齢	身長	体重	収縮期血圧	拡張期血圧	心拍数
	<i>year</i>	<i>cm</i>	<i>kg</i>	<i>mmHg</i>	<i>mmHg</i>	<i>bpm</i>
腹 部(N=17)	19.7±1.1	174±5.4	68±6.7	122±10.7	66±8.4	60±9.8
下肢腹部(N=13)	20.0±0.9	178±5.0	68±6.9	119±11.1	66±6.8	60±6.8

条件B～Dの第1区間～第4区間において、基準条件と実験条件の平均差の検定から判定した一回拍出量と心拍数および心拍出量の増減を表2に示す。判定の基準は3つ以上の区間で同じ増減があったものをそれぞれ増加または減少とした。また、各条件におけるその人数が各条件の総人数に対する割合も示した。

表2の一回拍出量では、条件CよりB、条件DよりEにおいて、一回拍出量の増加した人数の割合が大きかった。心拍数では条件Dを除いて心拍数が減少した人数の割合が大きかった。また、心拍出量では一回拍出量と同様に、条件CよりB、条件DよりEにおいて、心拍出量の増加した人数の割合が大きかった。他の条件と比べて条件Eでは、一回拍出量と心拍出量の増加した人数の割合が最も大きかった。

表3～5に、条件B～Eそれぞれの被験者全員から求めた一回拍出量と心拍数および心拍出量の平均と標準偏差を示す。各条件の人数が異なるので、それぞれと比較した条件Aの値も示した。一回拍出量が有意に増加したのは、表3の条件B第1区間と条件E第4区間だけであった。条件Aの全区間平均値を100%とした増加率は、前者が2.8%、後者が5.5%であった。心拍数はすべての条件で減少傾向を示したが、その変化は一拍以内であるので変化ありとはみなせなかった。また、心拍出量では条件Cを除いて増加の傾向を示したが、有意差を示さなかった。

随意的筋収縮による筋ポンプ作用は、まず初めに一回拍出量に効果を及ぼすので、その一回拍出量が増加した被験者だけから、それぞれの平均と標準偏差を求めた。その結果を、表6～8に示す。

表2 随意的筋収縮による一回拍出量と心拍数および心拍出量の増減

条件	効果	一回拍出量		心拍数		心拍出量	
		人数	割合	人数	割合	人数	割合
B	(+)	6人	43%	4人	29%	7人	50%
	(±)	4	29	1	7	1	7
	(-)	4	29	9	64	6	43
C	(+)	4	40	2	20	2	20
	(±)	3	30	2	20	4	40
	(-)	3	30	6	60	4	40
D	(+)	4	50	4	50	4	50
	(±)	0	0	1	13	0	0
	(-)	4	50	3	38	4	50
E	(+)	8	62	4	31	8	62
	(±)	2	15	1	8	1	8
	(-)	3	23	8	62	4	31

(+)は増加、(±)は変化なし、(-)は減少を示す。

表3 全被験者から求めた一回拍出量の平均と標準偏差 (ml)

条件	第1区間	第2区間	第3区間	第4区間	全区間
A	49.8±9.2	49.0±8.1	49.5±8.4	50.5±6.9	49.5±7.9
B	50.9±10.0*	50.6±9.9	50.2±9.5	49.6±8.8	50.3±9.5
A	42.4±9.9	42.2±9.2	41.6±9.3	42.9±9.1	42.3±9.0
C	42.1±7.7	42.0±7.1	41.8±6.1	41.2±6.6	41.8±6.8
A	46.5±5.2	45.1±4.0	44.0±3.9	43.8±3.9	44.8±3.9
D	45.8±5.1	47.0±4.5	46.3±4.6	47.0±5.9	46.5±4.8
A	49.7±8.1	49.0±7.3	49.7±6.3	49.5±6.0	49.4±6.7
E	51.6±10.6	51.1±9.0	51.8±8.6	52.1±9.2*	51.7±9.1

(\*)は、 $P < 0.05$ の有意差があったことを示す。

表4 全被験者から求めた心拍数の平均と標準偏差 (bpm)

条 件	第1区間	第2区間	第3区間	第4区間	全 区 間
A	80.7±10.1	80.7±9.5	78.2±9.7	76.1±9.9	78.9±8.3
B	78.0±10.6	77.4±10.0	79.0±10.3	78.0±9.7	78.1±9.9
A	79.2±10.7	80.2±11.1	78.9±10.5	75.4±13.0	78.4±10.4
C	76.5±11.6	78.3±8.9	77.1±8.9	77.4±9.3	77.3±9.1
A	75.9±6.2	77.8±5.8	77.9±6.0	78.3±6.0	77.5±5.5
D	76.8±6.0	75.5±4.2	77.0±5.3	78.0±6.8	76.8±5.4
A	77.1±8.3	77.1±6.3	75.9±6.9	76.1±5.1	76.6±5.2
E	75.3±8.1	76.7±7.8	76.0±8.0	75.6±7.8	75.9±7.7

表5 全被験者から求めた心拍出量の平均と標準偏差 (l)

条 件	第1区間	第2区間	第3区間	第4区間	全 区 間
A	3.89±0.65	3.85±0.64	3.72±0.90	3.70±0.74	3.79±0.68
B	3.87±0.80	3.80±0.81	3.87±0.80	3.75±0.77	3.83±0.78
A	3.31±1.09	3.34±1.10	3.23±1.13	3.11±0.94	3.25±1.04
C	3.21±0.87	3.25±0.85	3.21±0.80	3.18±0.84	3.21±0.82
A	3.51±0.39	3.48±0.39	3.42±0.37	3.41±0.34	3.45±0.37
D	3.49±0.45	3.53±0.44	3.56±0.48	3.64±0.61	3.56±0.49
A	3.77±0.53	3.70±0.47	3.63±0.62	3.71±0.44	3.71±0.37
E	3.84±0.68	3.88±0.62	3.89±0.59	3.88±0.64	3.87±0.61

一回拍出量に増加効果があった被験者の平均値では、当然のことながら表6のとおり、すべての条件で有意差が得られた。全区間での増加率は、条件Cより条件Bの方が大きかったが、条件DよりEの方が小さかった。それらの増加率は、条件B；8.0%、条件C；7.3%、条件D；15.3%、条件E；10.2%であった。表7の心拍数では、条件Bで3.4拍、条件Dで2拍の減少(4.4%と2.6%)をみた。表8の心拍出量では、すべての条件で増加したが、有意差は得られなかった。その増加率は、条件B；0.5%、条件C；9.7%、条件D；12.9%、条件E；11.8%であった。



表6 一回拍出量に増加効果があった被験者における一回拍出量の平均と標準偏差 (ml)

条 件	第1区間	第2区間	第3区間	第4区間	全 区 間
A	52.1±9.7	51.2±9.2	51.1±9.1	51.3±7.9	51.4±8.8
B	55.4±11.1*	56.1±10.6**	55.5±10.2*	54.9±8.9	55.5±10.1*
A	36.1±7.5	35.4±7.5	34.8±5.7	35.6±5.6	35.5±6.5
C	37.3±7.9	37.7±6.4	39.2±5.1*	38.3±6.4*	38.1±6.4**
A	42.6±2.5	42.7±3.2	42.3±4.7	42.4±5.1	42.5±3.8
D	49.1±4.3*	48.9±5.3*	48.8±5.2*	49.1±7.4*	49.0±5.5*
A	49.4±5.8	49.4±4.8	50.7±3.9	51.1±4.4	50.2±4.5
E	55.2±7.4**	54.7±6.2**	55.5±6.1**	55.8±7.0*	55.3±6.4**

(\*)と(\*\*)は、それぞれ  $P<0.05$ と $P<0.01$ の有意差があったことを示す。

表7 一回拍出量に増加効果のなかった被験者における心拍数の平均と標準偏差 (bpm)

条 件	第1区間	第2区間	第3区間	第4区間	全 区 間
A	79.1±11.3	79.3±10.2	76.6±6.6	73.1±6.6	77.0±7.5
B	73.8±10.0	72.3±9.3	74.5±9.0	73.8±9.8	73.6±9.3
A	80.7±14.6	80.3±14.4	77.6±12.9	72.8±14.2	77.8±13.3
C	77.1±15.5	81.0±8.5	76.8±8.9	76.7±10.4	77.9±10.1
A	76.7±5.0	77.8±5.4	76.9±5.9	77.4±6.9	77.2±5.6
D	74.4±4.2	74.5±3.7	75.8±4.6	76.3±4.9	75.2±4.2
A	78.3±9.1	77.5±6.5	74.9±7.5	74.9±5.7	76.4±5.3
E	76.4±9.7	77.4±9.4	76.3±9.9	75.5±9.6	76.4±9.4

## 考 察

健常人における立位時の血液下降に対する補償作用では、血圧受容器の負荷減弱により交感神経活動が賦活化して末梢血管が収縮する。また、交感神経活動の賦活化と迷走神経活動の抑制とがあいまって心拍数を増加することにより全身血圧を上昇させて、静脈還流を維持する<sup>12,13,20,21)</sup>。この補償作用が不十分な場合に起こる起立性低血圧や失神は、静脈還流の減少を引き金として引き起こされる<sup>13)</sup>。したがって、随意的筋収縮により筋ポンプ作用を強化して静脈還流を増加すれば、この起立性低血圧や失神を防ぐことができるはずである。

表8 一回拍出量に増加効果があった被験者における心拍出量の平均と標準偏差 (l)

条 件	第1区間	第2区間	第3区間	第4区間	全 区 間
A	4.00±0.41	3.95±0.41	3.81±0.66	3.74±0.77	3.88±0.52
B	3.89±0.68	3.87±0.87	3.97±0.78	3.87±0.78	3.90±0.77
A	2.82±1.25	2.77±1.20	2.59±1.00	2.51±0.92	2.67±1.0
C	2.89±1.06	2.95±0.84	2.96±0.76	2.91±0.92*	2.93±0.86
A	3.26±0.34	3.29±0.39	3.23±0.39	3.26±0.40	3.26±0.37
D	3.66±0.54	3.64±0.56	3.70±0.61	3.71±0.75	3.68±0.61
A	3.80±0.34	3.72±0.27	3.60±0.64	3.77±0.38	3.72±0.31
E	4.16±0.35*	4.18±0.41*	4.16±0.41	4.13±0.51	4.16±0.37

(\*) は、 $P<0.05$ の有意差があったことを示す。

本研究では、起立性低血圧防止法開発のための生理学的検討として、随意的筋収縮による筋ポンプ作用が静脈還流量に及ぼす効果を検討した。静脈還流量の指標としては、心臓の流入量と流出量とが等しいので1分間の心拍出量を使うことができる。したがって、本研究における最終的な筋ポンプ作用の効果は、心拍出量の増減によって評価した。しかし、筋ポンプ作用による1拍毎の直接の還流量変化は一回拍出量に現われるので、一回拍出量の効果からも検討した。

実用的な起立性低血圧防止法としては、誰にでも簡単にできることが必要であり、筋収縮の難易度が問題になる。また、難易度にも係わるが、確実に効果が得られる方法であることも必要であるので、効果の出現率からも検討した。

### 1. 筋収縮の難易度、および一回拍出量と心拍出量における増加効果の出現率

腹部筋収縮予備実験の条件FとGでは、重心が前に偏倚した時に腹部の筋収縮を行うのは甚だ難しいとの訴えがあった。筋収縮の実施の困難度が高い方法は、誰にでも確実に適用できるという観点で好ましくなく、採用を取り止めた。腹部筋収縮の効果では、効果の出る割合が条件CよりBの方が高く、被験者全体の一回拍出量と心拍出量もわずかに増加した。また、中腹部(条件C)の筋収縮は腹部の「何処を収縮させているのか分からなくなる」というという訴えと、「やりにくい」という訴えがあった。以上のことからみて下腹部筋収縮(条件B)が優れていると思われる。

下肢筋収縮と腹部筋収縮の複合効果では、条件Eの方が条件Dより効果の出る割合が高かった。被験者全体の一回拍出量と心拍出量の増加率(それぞれ、条件D; 3.8%とE; 4.6%、条件D; 3.1%とE; 4.3%)でも、条件Eの方が高かった。下肢筋収縮と腹部筋収縮を体液量変

動1分波の筋ポンプ作動機序に同期させて行う条件Eが、条件Dより優れていると思われる。また条件Dでは、身体の重心が前に偏倚した時に腹部の筋収縮を行うためか、「やりにくい」という訴えもあった。

筋電図と足圧中心動揺のモニターから観察したところでは、一回拍出量の増加効果が出なかった被験者の多くは、筋収縮のタイミングが姿勢動揺の1分波と同期せず、筋ポンプのタイミングが体液量変動1分波のタイミングと合わなかったものと思われる。

以上、筋収縮の難易度、および一回拍出量と心拍出量における増加効果の出現率の検討結果からは、起立性低血圧防止法として、腹部筋収縮では下腹部(条件B)の収縮を採用すべきと思われる。また、完成型の下肢腹部組合せ筋収縮では、条件Eを採用すべきと考えられる。このことは、被験者全員における一回拍出量と心拍出量の増加効果からも支持できる。

本研究では、基準条件(条件A)にて30名の内、5名が起立性低血圧症状を引き起こした。他の実験条件B~Gでは、ひとりも起立性低血圧症状を引き起こさなかった。この観点からはどの条件も効果がありといえるが、条件Cの全被験者平均値で、一回拍出量および心拍出量が増加しなかったことを考慮すると、心理的影響も実験の効果に含まれているかもしれない。それを排除することはできないが、生理学の理論からみて妥当であり、誰にでも確実に適用できる起立性低血圧防止法を開発することが重要である。

## 2. 随意的筋収縮による筋ポンプ作用が一回拍出量と心拍数および心拍出量に及ぼす効果

随意的筋収縮による筋ポンプ作用は、まず初めに一回拍出量に効果を及ぼす。最終的な効果を受ける心拍出量は、一回拍出量と心拍数の積で決まる<sup>13)</sup>。したがって、一回拍出量が増加した被験者だけから求めたそれぞれの平均と標準偏差により、筋ポンプの効果の行方を知ることができる。

一回拍出量が増加した被験者の平均値では、当然のことながらすべての条件で、一回拍出量に有意な増加が得られた。全区間での増加率は、条件B ; 8.0%、条件C ; 7.3%、条件D ; 15.3%、条件E ; 10.2%であった。筋ポンプ作用の直接の効果は、条件BとCがほぼ同等、条件DはEよりやや効果があるとみることができる。表8の心拍出量はすべての条件で増加の傾向を示したが、有意な増加を得ることはできなかった。心拍出量の増加率は、条件B ; 0.5%、条件C ; 9.7%、条件D ; 12.9%、条件E ; 11.8%であった。筋ポンプ作用の最終的な効果では、条件BよりCの方が効果があり、条件DとEはほぼ同等であると考えることができる。静脈還流を増加するという観点からは、条件CとDを採用すべきということになるが、前項の検討結果とは逆の結果となった。

## 3. 心拍数の増減が心拍出量に及ぼす効果

前項における一回拍出量と心拍出量の効果の違いには、心拍数の変化が関わっている。表7において、条件Bの心拍数が3拍ほどではあるが減少したため、条件Bの心拍出量が減少し、心拍出量における条件Cの効果がBより上回ったものと思われる。同様に、条件Dにおける心拍数の減少は心拍出量の減少を引き起こして、条件Dの心拍出量を条件Eと同等レベルまで引き下げたものと思われる。

図3に、筋ポンプ作用が一回拍出量と心拍数および心拍出量に及ぼす効果の作動機序を示した。筋ポンプ作用の効果は、心拍数の増減により二つの相反する効果を心拍出量にもたらす。

そのひとつは、筋ポンプ作用による一回拍出量の増加とともに、心拍数が増加する場合である(図3、括弧なし番号の経路)。随意的筋収縮が運動の効果として働けば、交感神経活動が賦活化されて心拍数も増加する。この場合の心拍量に対する筋ポンプ作用の効果は増加効果となる。また、心拍数が増加しなくとも減少しなければ、増加効果となる。ところが、一回拍出量の増加が大きくて血圧受容器の域値に達する場合には、左心房容積受容器をはじめとする低圧系容積受容器が働くので、心臓血管中枢を介した交感神経活動の抑制が起こり心拍数が減少する(図3、括弧付き番号の経路)<sup>12)</sup>。その結果、心拍量に対する筋ポンプ作用の効果は減少効果となる。

本研究では前者の効果をねらいとしたのであるが、先に述べたとおり、条件BとDにおいて後者の減少効果が起きたものと思われる。また、条件Eの心拍数平均値の変化は、計算の上で

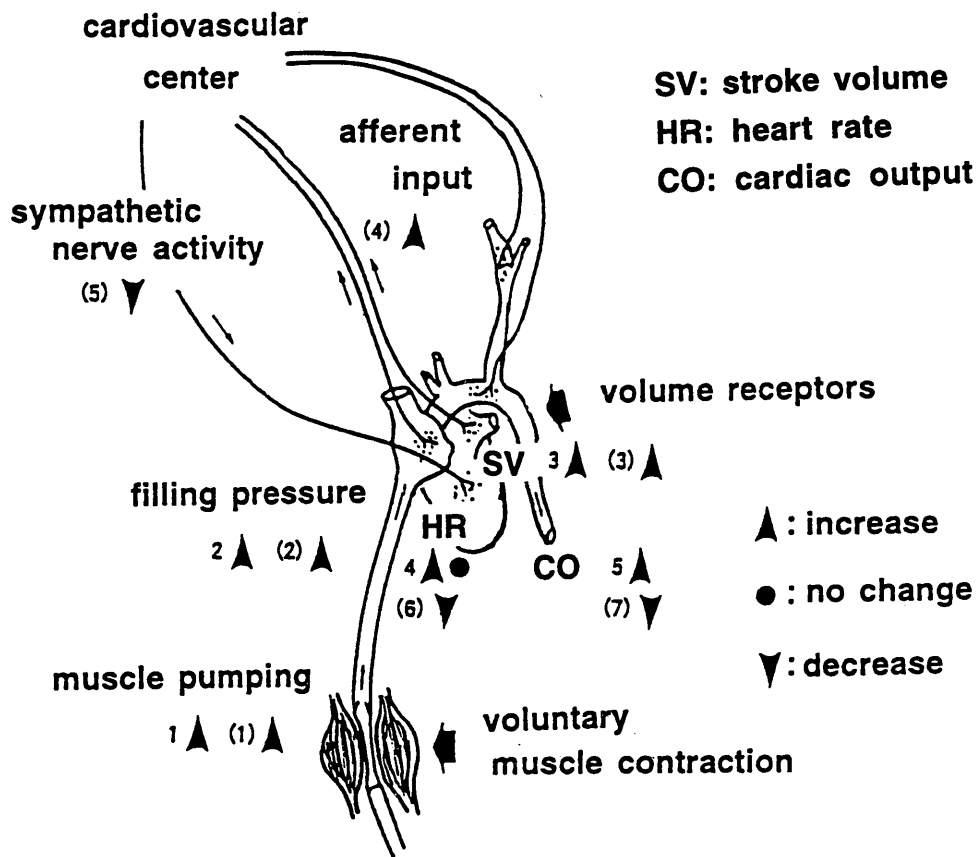


図3. 一回拍出量と心拍数及び心拍量に対する筋ポンプ作用の作動機序。

( ) なし番号で示した経路は、中枢を介さずに心拍量を増加する。随意的筋収縮が運動の効果として働けば、交感神経が賦活化されて心拍数も増加する。( ) 付の番号で示した経路は、左心房容積受容器をはじめとする低圧系容積受容器が働き、心臓血管中枢を介した交感神経活動の抑制が起こり心拍数が減少する。結果的に心拍量に対しては抑制効果となる。

はゼロとなっているが、条件Eの心拍出量変化にも同様の効果が含まれていることもありうる。そこで、一回拍出量が増加した被験者について心拍数の減少した被験者が含まれる割合を調べたところ、条件BとEの割合が高かった（条件B；67%、条件C；50%、条件D；50%、条件E；63%）。したがって、完成型である条件Eの心拍出量増加効果にも心拍数減少の効果が影響しているため、本来は、条件Dと同等の効果があるのではないかと考えることができる。条件Eでは、随意的筋収縮の収縮強度が強過ぎたためにかえって心拍数が減少し、その結果、最大限に心拍出量が増加しなかったものと思われる。

#### 4. 本起立性低血圧防止法における望ましい随意的筋収縮方法

すでに著者らは、本起立性低血圧防止法における下肢の随意的筋収縮方法について検討し、増加効果の出現率は少ないが、身体の重心が前方に偏倚したときに下腿後側の筋群を収縮させる方法が望ましいとの結論を得た<sup>29)</sup>。

腹部の筋収縮の結果では、筋ポンプ作用の心拍出量への増加効果は条件BとCの間ではほぼ同等と思われた。筋収縮の難易度と効果の出現率からは、条件Bが望ましいと思われた。したがって、腹部だけの筋収縮で起立性低血圧を防止しようとするならば、下腹部の収縮（条件B）が望ましいと思われる。

下肢腹部組合せ筋収縮では、条件Dにおける心拍出量の増加効果が大きかったが、筋収縮の難易度に問題があり、効果の出現率も低かった。条件Eは、心拍出量の増加効果が条件Dよりやや少ないが、難易度にも問題がなくて効果の出現率も高かった。条件Eにおいて、筋収縮強度が強すぎたためかえって心拍出量の増加効果を減弱してしまったことを考慮すると、条件Eを起立性低血圧防止法に採用した方が良さそうである。ただし、そのためには条件Eにおける最適な筋収縮強度を検索することが必要である。望ましい筋収縮の方法として選び出された条件BとEは、どちらも、体液量変動1分波の作動機序に同期させて筋収縮を行う方法であり、著者らが立てた理論に適合している。

#### 5. 活用の可能性

本研究で開発した起立性低血圧防止法は、未完成ながらもかなり役立つことが明らかである。もちろん、本方法を完成させることが急務であるが、教育現場やその他、あらゆる面で普及を始めて良いと考える。予備実験の段階ではあったが、平成3年度全国高等学校総合体育大会のバレーボール競技開会式にて、下腿ふくらはぎと下腹部の筋収縮を使用した方法を、プラカード持ちの生徒に実行させたところ、起立性低血圧の発生を11名（前日予行演習、本方法を使用せず）から3名（当日、本方法使用）に減少することができた。今後、この方法が一般に普及できれば、体育学の成果として教育現場や日常生活において大きな貢献を果たすことになるだろう。また一方、この方法が完成すれば、健康人のみならず軽症の起立性低血圧で悩む人にも役立つことができると思われる。早急に残された検討課題を解明し、臨床医学的にも応用が可能かどうか検討する必要があると思われる。

## 結 論

第一報の結果とその後の結果も含めて結論すると、体液量変動1分波と姿勢動揺とのカップ

リングを利用した随意的筋収縮による起立性低血圧防止法には、以下の三つの方法が適当と考えられる。

- 1) 直立時に起こるゆっくりとした身体の揺れに合わせ、身体の重心が前に偏倚した時に、下腿ふくらはぎの筋群を随意的に約10～20秒間収縮させる。
- 2) 直立時に起こるゆっくりとした身体の揺れに合わせ、身体の重心が後に偏倚した時に、下腹部の筋群を随意的に約10～20秒間収縮させる。
- 3) 直立時に起こるゆっくりとした身体の揺れに合わせ、身体の重心が前に偏倚した時に下腿ふくらはぎの筋群を、身体の重心が後に偏倚した時に下腹部の筋群を、随意的に約10～20秒間収縮させる。

おそらく、これらの随意的筋収縮のどれを使用しても効果が全くないということはありませんと予想できる。しかし、下腿ふくらはぎ、あるいは下腹部の収縮だけでは大きな効果は期待できないであろう。両者を組み合わせた方法が有効と思われる。

## 謝 辞

本研究は、平成5～6年度文部省科学研究費補助金・一般研究(C)、課題番号：05680083による補助金の交付を受けた。ここに感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 正木健雄：子どもの体力現状と問題点(抄録)、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、斉藤 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) 稲村欣作、横山義昭、中野美恵子、河合 学、間野忠明、岩瀬 敏：老年者における青年期の運動競技経験とその後の運動習慣による起立耐性の促進、*耳鼻と臨床*、39(2): 792-798, 1986.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) Inamura, K., Mano, T., Iwase, S., Amagishi, Y. and Aoki, K.: Fluctuation of body sway which has about 1 minute period and muscle pumping in the lower legs during static standing in humans. In: *ICNF'91: Proc. Int. Confer. Noise in Physical*

- Systems and 1/f Fluctuations, S. Musha et al. (Eds.). Tokyo, Ohmsha, Ltd., 1991, p.727-730.
- 9) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏、天岸祥光：長時間静止立位における起立性低血圧防止法の開発(1) 一下肢の随意的筋収縮が心拍出量に及ぼす効果一、静岡大学教養部研究報告(自然科学篇) 27: 35-40, 1992.
  - 10) Gauer, O. H. and Thron, H. L.: Postural changes in the circulation. In: Handbook of Physiology, W. H. Hamilton (Ed.). Washington, Am. Physiol. Soc., 1965, sect. 2, vol.III, chap. 67, p.2409-2439.
  - 11) Blomqvist, C. G. and Stone, H. L.: Cardiovascular adjustment to gravitational stress. In: Handbook of Physiology, F. M. Shepherd et al. (Eds.). Maryland, Am. Physiol. Soc., 1983, sect. 2, vol.III, chap. 28, p.1025-1063.
  - 12) Smith, J. J. and Kampine, J. P. : Circulatory Physiology -the essential- ed3. Baltimore, Williams and Wilkins, 1990.
  - 13) Mano, T.: Sympathetic nerve mechanisms of human adaptation to environment -Findings obtained by recent microneurographic studies -. Environmental Med. 34: 1-35, 1990.
  - 14) 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.
  - 15) 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.
  - 16) Inamura, K., Mano, T., Iwase, S., Amagishi, Y. and Inamura, S.: One-minute wave in body fluid volume change enhanced by postural sway during upright standing. J. Appl. Physiol. 81: 459-469, 1996.
  - 17) Whitney, R. J.: The measurement of volume change in human limbs. J. Physiol. Lond. 121, 1-27, 1953.
  - 18) Kapteyn, T. S., Bles, W., Njiokiktjien, C. H. J., Kodde, L., Massen, C. H. and Mol, J. M. F.: Standardization in platform stabilometry being a part of posturography, Aggressologie 24, 321-326, 1983.
  - 19) Kubicek, W. G., Patterson, R. P. and Witsoe, D. A.: Impedance cardiography as noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system. Ann. N. Y. Acad. Sci. 170: 724-732, 1970.
  - 20) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏：能動的立位における体液量変動1分波の下腿血液貯留補償作用と筋交感神経活動、自律神経 30: 358-364, 1993.
  - 21) Inamura, K., Mano, T. and Iwase, S.: Role of the sympathetic nervous system in the generation of one-minute wave in body fluid volume during upright standing. Environmental Med. 37: 117-128, 1993.
  - 22) Inamura, K., Mano, T. and Iwase, S.: Effects of voluntary muscle contraction in the legs on cardiac output during standing (Abstract). Jpn. J. Physiol. 45, Suppl. 1, S70, 1995 .