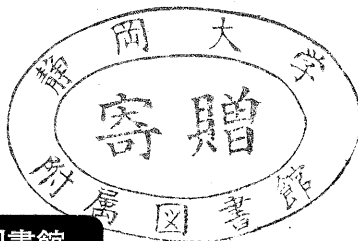


# 長時間静止立位における 起立性低血圧防止法の開発

(研究課題番号 05680083)

平成6年度科学研究費補助金 (一般研究C)  
研究成果報告書



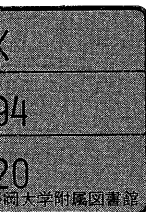
静岡大学附属図書館



030850257 4

平成7年3月

研究代表者 稲村欣作  
(静岡大学 教養部)



# 長時間静止立位における起立性低血圧防止法の開発

(研究課題番号 05680083)

平成6年度科学研究費補助金(一般研究C)  
研究成果報告書

平成7年3月

研究代表者 稲 村 欣 作  
(静岡大学 教養部)

## はじめに

本冊子は平成5～6年度文部省科学研究費補助金・一般研究（C）「長時間静止立位における起立性低血圧防止法の開発」（研究課題番号05680083）の研究成果をまとめたものである。

## 研究組織

研究代表者 稲村欣作 静岡大学教養部・教授

研究分担者 間野忠明 名古屋大学環境医学研究所・教授

研究協力者 岩瀬 敏 名古屋大学環境医学研究所・助手

天岸祥光 静岡大学教養部・教授

## 研究経費

平成5年度 300千円

平成6年度 300千円

計 600千円

## 研究成果

### 1 研究の目的と意義および背景

十数年前から、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、子供達の動物的原始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、これからの若者達には、自己の動物的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。われわれは、人間を動物と区別す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)</sup>、その実用化を検討することにした。

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>7)</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>8,9)</sup>。

われわれは、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>10,11)</sup>。静止立位姿勢におけるこの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カップリングして、胸部への静脈還流を促進する<sup>6,12)</sup>。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

も理解できる。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。

われわれが、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。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。

そこで本研究では、この体液量変動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を開発することにした。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。

## II これまでの研究状況

### 1. 姿勢動揺の1分波

1984年に稲村は、スタビロメトリーによる静止立位時の身体重心動揺の測定において、姿勢動揺の指標とされる足圧中心動揺に含まれる1分波を発見した<sup>13)</sup>。その後、われわれは、その1分波が足底の機械受容感覚に係わりを持つことを明らかにしたが(1986)<sup>3)</sup>、機械受容感覚との関連は特異的なものではなく、この1分波の成因が体液量変動に関連性を持つことが明とかなった(1987)<sup>14)</sup>。

### 2. 体液量変動1分波

1987年、われわれはラバーストレングージプレチスモグラム法により身体各部位の周囲長の微細な変動を測定し、その変動に1分波があることを発見した。そして、その1分波が足圧中心動揺の1分波と関連を持つことを報告した(1988)<sup>15,16)</sup>。身体各部位周囲長の低周波は体液量の変動を示す。われわれは、その1分波を体液量変動1分波

と名付け、それに関連すると思われる血圧変動や筋交感神経活動なども加えた同時測定を行い、クロススペクトル分析を開始した。それ以後、体液量変動1分波についてわれわれは、以下の事柄を明らかにしてきた。

- 1) 姿勢動揺の1分波の本態は静脈還流量の変化である。また、体液量変動1分波形成過程には、胸腔内の低圧系血圧受容器を介する交感神経性反応が働いている (1988) 15)。
- 2) 体液量変動1分波の形成過程には、下腿の筋収縮による筋ポンプ作用が働いている (1990) 17,18)。
- 3) 体液量変動1分波は体液の再配分または分布の保持の役割を持ち、その成因は血管の自動収縮に由来すると思われる (1990) 10,11,19)。
- 4) 筋ポンプが、静止立位において体液量変動1分波に働く作動機序の詳細 (1991) 6,12)。
- 5) 交感神経性反応が、静止立位において体液量変動1分波に働く作動機序の詳細 (1993)<sup>20,21)</sup>。
- 6) 足圧中心動揺1分波と体液量変動変動1分波のカップリング (1993) 22)。

### 3. 起立性低血圧防止法

すでに、池上ら (1985) が本研究と同じ目的で研究を試みた<sup>23)</sup>が、われわれの見いだした体液量変動1分波の知見がなかったためか、その後の発展が見られず、教育現場への普及には及ばなかった。

われわれは、本研究の予備実験を1991年に開始し、その可能性を明らかにした<sup>24)</sup>。また、姿勢動揺が起らない状態の直立姿勢では、体液量変動1分波の振幅が減弱し、心拍出量も時間に従って減少することを確認した (1993) <sup>25)</sup>。1992年には、平成4年度文部省科学研究費補助金 (一般研究C) ・課題番号04680122により、下肢の随意的筋収縮が心拍出量に及ぼす効果を検討し、下腿ふくらはぎの随意的筋収縮だけでは起立性低血圧

防止法に役立たないこと、およびカップリングのタイミングに合わない方法は、かえって逆効果になる可能性があることを明らかにした<sup>26)</sup>。

### III 研究方法

#### 1. 被験者

年齢18～23歳の健康な男子学生30名を対象として、平成5年度には腹部の随意的筋収縮に関する測定を17名について行い、平成6年度には13名について、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した。

#### 2. 実験条件

平成5年度

- 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。

平成6年度

- 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、身体の重心が前に偏倚した時に、下肢後側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肢後

側の筋群を、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）

### 3. 測定項目

#### 1) 体液量変動

足首から胸部乳頭までの身体周囲長を14箇所に分け、ラバーストレングージプレチスモグラム法<sup>27)</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>28)</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>29)</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。同様に条件B～Gの条件のいずれかを、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. 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。今回は分析期間が短かったため、一回拍出量と心拍数および心拍出量についてのみ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200 Hz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>29)</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をした後、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。

## IV 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4名が、測定開始20分程度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。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、平成5年度の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。そこでこの条件については、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

	年齢	身長	体重	収縮期血圧	拡張期血圧	心拍数
	year	cm	kg	mmHg	mmHg	bpm
平成5年度	19.7±1.1	174±5.4	68±6.7	122±10.7	66±8.4	60±9.8
平成6年度	20.0±0.9	178±5.0	68±6.9	119±11.1	66±6.8	60±6.8

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。

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。また表2では、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より条件B、条件Dより条件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より条件B、条件Dより条件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。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、他の条件と比べて最も大きかった。

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

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

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あ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

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 (1)

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。

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より条件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2.2%）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；12.8%、条件E；11.8%であった。

## V 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末梢血管が収縮すること、および、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>9,21,30</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>30)</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。

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。まず、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から考察を始める。

### 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

平成5年度、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。平成5年度で検討した腹部筋収縮の効果では、効果の出る割合が条件Cより条件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。

平成6年度に検討した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、D ; 3.8%とE ; 4.6%、D ; 3.1%とE ; 4.3%)でも、条件Eの方が高かった。やは

り、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、腹部の筋収縮に下腹部（条件B）の収縮を採用すべきと思われる。また、完成型の下肢と腹部を組み合わせた筋収縮では、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4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>9)</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；12.8%、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、心拍数の変化が係わっている。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1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1、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。この場合の心拍出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1、括弧付き番号の経路<sup>9)</sup>。その結果、心拍出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、

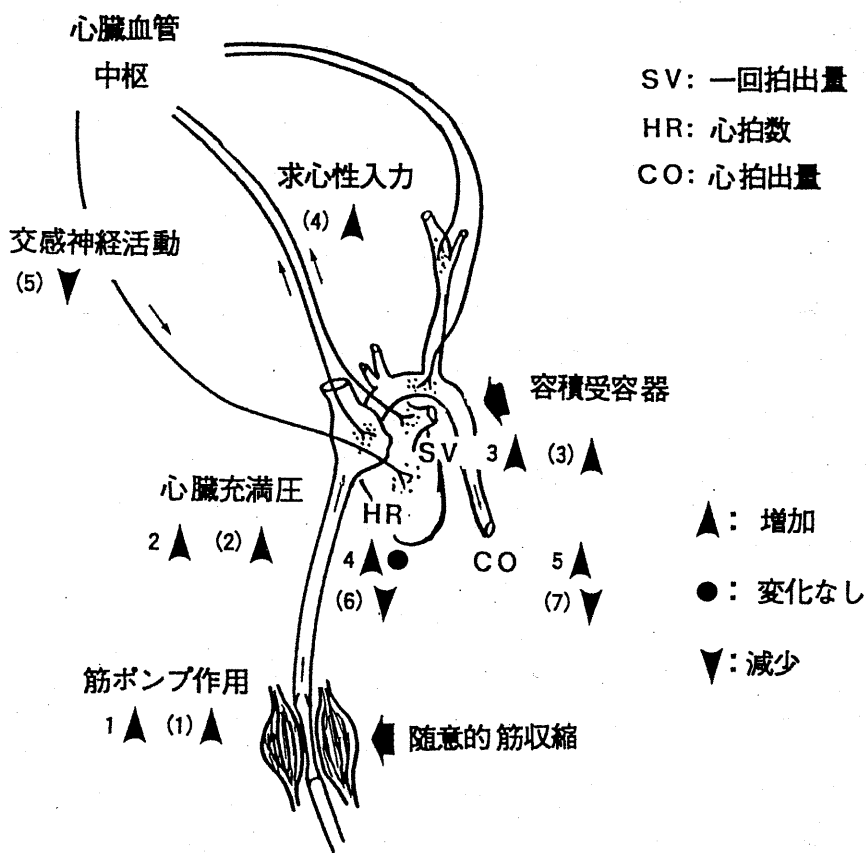


図1 一回拍出量と心拍数および心拍出量に対する筋ポンプ作用の作動機序

計算の上で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、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の、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

すでにわれわれは、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、平成4年度文部省科学研究費補助金・一般研究（C）（研究課題番号04680122）により検討し、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。本研究では平成5年度に腹部筋収縮の方法を検討し、平成6年度に下肢筋収縮と腹部筋収縮の組み合わせを検討した。

平成5年度に測定した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と条件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、一箇所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。

平成6年度の下肢筋収縮と腹部筋収縮を組み合わせでは、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と条件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る。やはりこれらの方法は、われわれが立てた仮説どおりのものであった。

## VI 結 論

平成4年度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、下腿後側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後側の筋群を、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。

本研究では、下腹部だけの筋収縮でも効果がみられた。下肢の筋収縮方法についての先行報告で、われわれは、下腿後方の筋収縮だけでは起立性低血圧防止法に役立たないと結論したが、早計であったかも知れない。なぜなら、その報告では一回拍出量に増加効果がでた被験者からの検討をしていなかったからである。今後、早急に検討すべきと考える。

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いえないと予想できる。しかし、下肢後方また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。やはり、両者を組み合わせた方法の方が有効と思われる。

## VIII 研究成果の活用

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、あらゆる方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

活において大きな貢献を果たすことになるろう。

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てる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、臨床医学に関連する学会で発表して、臨床医学的な応用が可能かどうか評価を受ける必要があると思われる。

## VII 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 一約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一、*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) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) Smith, J. J. and Kampine, J. P.: *Circulatory Physiology -the essential-* ed3. Baltimore, Williams and Wilkins, 1990.
- 10) 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.

- 11) 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.
- 12) 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, Ohmusha, Ltd., 1991, p.727-730.
- 13) 稲村欣作、河合 学：直立姿勢において足底の圧および触感覚情報が関与する重心動揺成分、静岡大学教養部 研究報告（自然科学篇）20: 33-49, 1985.
- 14) 稲村欣作、間野忠明、青木賢一：立位時足圧中心における約1分波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, 1987.
- 15) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏、青木賢一：立位時における体動揺の1分波と体液循環、名古屋大学環境医学研究所年報 39: 59-63, 1988.
- 16) 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）23: 33-38, 1988.
- 17) 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体動揺の1分波と下肢血液貯留との関係、静岡大学教養部 研究報告（自然科学篇）25: 27-32, 1990.
- 18) 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.
- 19) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏、青木賢一：身体各ぶいにおける体液量変動1分波と体液分布の保持、名古屋大学環境医学研究所年報 40: 68-72, 1989.
- 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) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏：ヒトの能動的静止立位における体液量変動1分波の発生部位及びその1分波と筋ポンプ作用との関係、名古屋大学環境医学研究所年報 44: 325-330, 1993.
- 23) 池上晴夫、西保 岳、姜 熙成、高橋瑞子：起立性低血圧の予防法に関する研究、日本体育学会第三十六回大会号、250, 1985.
- 24) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏、天岸祥光：継続的静止立位における起立性低血圧低血圧防止法 一下腿の随意的筋収縮が体液量変動1分波に及ぼす効果一、静岡大学教養部 研究報告（自然科学篇）27: 35-40, 1992.
- 25) 稲村欣作、間野忠明、岩瀬 敏、天岸祥光：能動的静止立位時における不随意的な身体動揺による筋ポンプ作用の役割、静岡大学教養部 研究報告（自然科学篇）28: 15-19, 1993.
- 26) 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.
- 27) Whitney, R. J.: The measurement of volume change in human limbs. *J. Physiol. Lond.* 121, 1-27, 1953.
- 28) 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, *Agressologie* 24, 321-326, 1983.
- 29) 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.
- 30) Mano, T.: Sympathetic nerve mechanisms of human adaptation to environment —Findings obtained by recent microneurographic studies—. *Environmental Med.* 34: 1-35, 1990.