

本態性高血圧症患者の運動負荷ベクトル心電図

岡山大学医学部第一内科学教室（主任：長島秀夫教授）

藤 井 章 伸

（昭和59年2月22日受稿）

Key words : 本態性高血圧症

運動負荷 (treadmill test)

ベクトル心電図 (Frank 法)

緒 言

本態性高血圧症患者では多くの例で、心電図上、左室高電位に ST-T 変化を伴つてくることは、周知の事である。しかしながら、この ST-T 変化の成因については、左室自由壁肥厚に伴う QRS 波増高による二次的な再分極過程の変化なのか、あるいは高血圧に動脈硬化性病変が合併したための、一次性変化によるものかを鑑別することは、診断上、治療上でも重要な点である。しかし現在のところ、それを明確に区別することは困難とされている。T 波を分析するには通常のスカラ一心電図よりも、ベクトル心電図（以下 VCG）の T 環として、空間的に把握する方が大きさ、方向、QRS 環との相互関係のみならず、形状の変化、回転方向や回転速度の変化などを観察することで、より詳細な情報が得られると考えられる。

そこで著者は、本態性高血圧症患者の心電図の ST-T 変化に、左室高電位による二次性変化のみでなく、一次性の心筋虚血性変化の関与の有無を検討する目的で、本態性高血圧症患者に treadmill による亜最大運動負荷を行い、運動負荷前後に仰臥位にて Frank 法 VCG を記録し、検討した。

対象と方法

対象は WHO の本態性高血圧分類を満足する最大血圧 160 mmHg 以上、最小血圧 95 mmHg 以上のいづれか一方または両者を満足する本態性

高血圧症患者（以下 H 群）90名で、そのうち標準 12 誘導心電図所見が正常の者 30名（以下 H-1 群）、 $S_{V1} + R_{V6} \geq 35$ mm の QRS 高電位のみを示す者 20名（以下 H-2 群）、QRS 高電位にいわゆる strain pattern 以外の ST-T 変化を伴う者 20名（以下 H-3 群）、QRS 高電位に ST 低下と 2 mm 以上の陰転 T 波（いわゆる strain pattern）を示す者 20名（以下 H-4 群）である。QRS 高電位を伴わない ST-T 変化のみを示すものは対象から除外した。健常者群は心疾患の既往がなく、糖尿病、腎疾患、呼吸器疾患がなく、胸部レントゲン写真、血圧、安静時及び運動負荷時の標準 12 誘導心電図に異常を認めず、かつ安静時の VCG が正常のもの 29名（以下 N 群）である。虚血性心疾患患者群は明らかな狭心痛を有し、発作時の心電図で ST 低下を認めたもの 10名と、冠動脈造影（以下 CAG）で一枝以上に 75% 以上の狭窄を認めた患者 16名をあわせた 26名（以下 I 群）とした。心筋梗塞患者は対象から除外した。なお、β-遮断剤やジギタリス剤投与中のもの、血清 K⁺ 値が異常のものは除外した。（表 1）

虚血性心疾患の危険因子として、多くのものが挙げられているが、血清総コレステロール値と尿酸値の異常はそれらのうちでも、重要なものと考えられる。そこで各群とも血清総コレステロール値、尿酸値を測定した。

運動負荷の方法は treadmill を用い、Bruce 原法の stage I より III に、speed 3.4 mph, 16% 傾斜の stage IV を加えた、各 stage 3 分間の連

表1 対象

Group	Sex		Age range (mean)
	M	F	
N	20	9	30-59 (44)
H-1	21	9	30-66 (51)
H-2	16	4	33-64 (51)
H-3	15	5	37-60 (52)
H-4	18	2	32-66 (53)
IHD	20	6	32-64 (53)
total	110	3	

統多段階負荷法を採用した。運動負荷量は亞最大負荷とし、運動終了の目標心拍数は Fox の予測最大心拍数¹⁾の 85% に達した時とした。その他の end point は米国心臓学会の基準²⁾に準じ

た。すなわち、CM₅誘導を用いた Monitor ECG で、S 波より 0.08 秒後で 2 mm 以上の ST 降下、あるいは重篤な不整脈が出現した時、最大血圧 230 mmHg 以上の血圧上昇、あるいは最大血圧が前の stage より 10 mmHg 以上下降した時、胸痛や呼吸困難、顔面蒼白やふらつきなどの自覚症状や他覚症状が出現した時とした。

VCG 誘導法は Frank 法を用い、仰臥位にて負荷前、負荷後 1 分、3 分、5 分、7 分の時点でのフクダ電子製ベクトル心電計 VA-3 F で記録した。VCG 表示法は第 6 回ベクトル心電図研究会の勧告³⁾に準じた。なお高血圧症の各群における心肥大の程度を観察するため、東芝製セクタ型電子走査型超音波診断装置 SSH-11 A で心エコー図を記録し、Devereux の式⁴⁾により LV

表2 心拍数と血圧

Heart rate						
	before immediately 1 min. 3 min. 5 min. 7 min.					
	after					
N	69 ₉	157 ₁₁	157 ₁₁	86 ₁₁	86 ₁₀	84 ₁₀
H-1	70 ₁₁	148 ₁₅	106 ₁₆	89 ₁₃	85 ₁₂	83 ₁₀
H-2	66 ₁₀	136 ₁₆	97 ₁₇	83 ₁₁	78 ₁₀	77 ₁₀
H-3	70 ₁₀	136 ₁₅	96 ₁₅	86 ₁₀	82 ₁₀	80 ₁₁
H-4	64 ₉	135 ₁₃	96 ₁₂	83 ₁₀	78 ₈	75 ₈
I	65 ₉	119 ₂₀	87 ₁₆	74 ₁₁	72 ₁₀	71 ₁₀
Systolic blood pressure						
N	116 ₁₂	156 ₁₆	151 ₁₇	129 ₁₃	119 ₁₀	117 ₁₀
H-1	137 ₁₃	179 ₂₁	169 ₁₉	148 ₁₅	139 ₁₂	136 ₁₃
H-2	153 ₁₇	189 ₁₆	176 ₂₃	157 ₂₂	156 ₁₆	147 ₂₂
H-3	153 ₂₀	192 ₂₇	190 ₂₇	169 ₂₅	157 ₂₄	152 ₂₄
H-4	162 ₁₈	197 ₂₆	191 ₂₈	174 ₂₄	164 ₂₂	158 ₂₂
I	128 ₁₇	152 ₂₁	155 ₂₀	147 ₂₀	136 ₂₀	129 ₂₀
Diastolic blood pressure						
N	76 ₈	74 ₁₄	74 ₁₂	74 ₁₀	74 ₁₁	75 ₈
H-1	90 ₁₀	81 ₁₂	90 ₁₀	88 ₇	88 ₈	88 ₁₀
H-2	94 ₁₄	89 ₉	94 ₁₁	94 ₁₀	94 ₁₁	94 ₁₀
H-3	93 ₁₁	93 ₉	96 ₁₀	94 ₁₀	93 ₇	92 ₁₀
H-4	97 ₁₁	92 ₁₅	96 ₁₃	96 ₁₁	92 ₁₂	95 ₁₂
I	79 ₁₀	78 ₁₀	83 ₁₂	79 ₁₃	78 ₁₃	79 ₁₁

mean_±S.D.

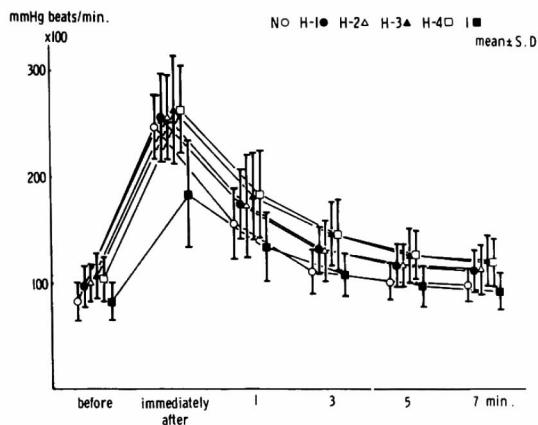


図1 Pressure rate product (PRP)

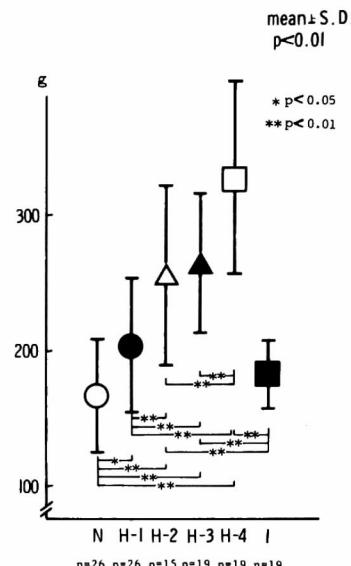


図3 LV mass

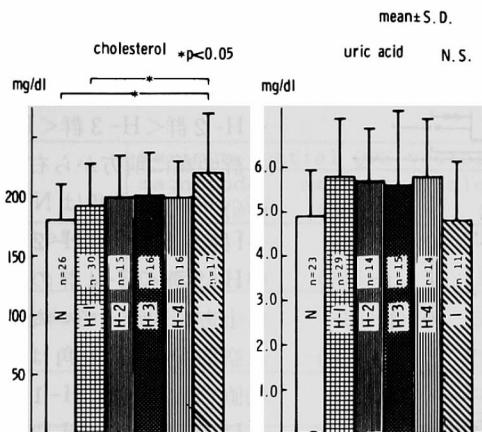


図2 血清総コレステロール値と尿酸値

mass を算出した。

各群間の検定は分散分析法、 χ^2 検定を用いた。

成績

1) 心拍数、血圧及び Pressure rate product (PRP) (表2、図1)

心拍数は負荷前値は各群ほぼ同様であったが、負荷直後には N 群、H-1 群がより高値を示し、I 群は最も低値であった。この原因には、年齢による目標心拍数の違いや、重篤な心電図変化の出現などのため、途中で中止せざるを得なかつた症例数の多寡が、関係していた。中止後の心拍数の回復の速度は、各群ともほぼ同様であった。最大血圧は負荷前には各群の平均値は、N

群 < I 群 < H-1 群 < H-2 群 = H-3 群 < H-4 群の順に高値であり、統計的には N 群と H 群の各群との間に、I 群と H-1 群は H-2 群、H-3 群及び H-4 群との間に有意差を認めた。負荷直後の血圧は I 群を除き、35-42mmHg のほぼ同程度の増加を示した。I 群は目標心拍数に達する前に中止した者が多いため、負荷後の血圧の増大も少ないものと考えられる。運動終了後の血圧値の回復過程は、I 群は他の群に比して負荷後 3 分、5 分で血圧の下降の程度は軽かったが、7 分では各群ともに負荷前の血圧まで下降した。

最少血圧は各群ともに、負荷前後で有意な変化を示さなかった。

この結果PRPは、N 群と H 群はほぼ同様な増大を示し、I 群は負荷後の増大の程度が軽く、かつ負荷後の前値への復帰も遅延した。I 群は PRP の増大は小さかったが、心電図変化を認めて中止したものが多く、運動耐容能が低下しているため、心筋虚血の診断のための十分な負荷が加えられたものと考えた。

2) 血清総コレステロールと尿酸 (図2)

虚血性心疾患の危険因子と考えられる血清総コレステロール値と尿酸値について検討した。総コレステロール値は I 群 (221 ± 52 mg/dl) が、

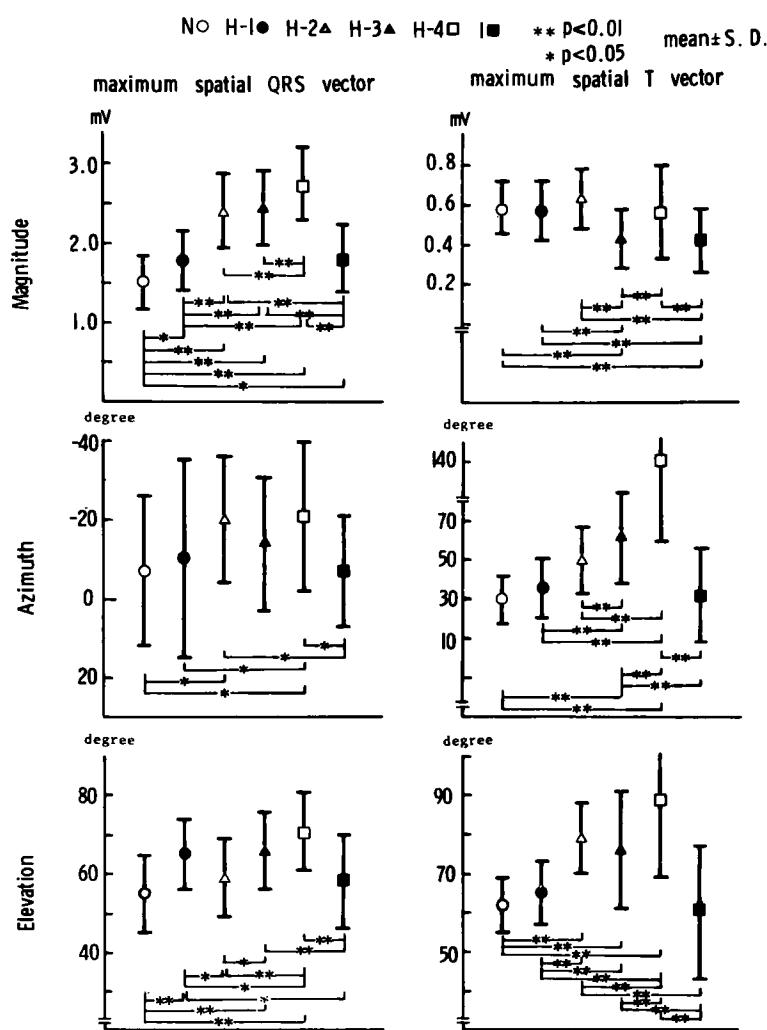


図4 安静時ベクトル心電図1.
(空間最大QRS及びTベクトル)

N群(182 ± 32 mg/dl)及びH-1群(194 ± 36 mg/dl)より有意に高かったが、H群相互の間には統計的に差を認めなかった。尿酸値は各群間で有意差を認めなかった。

3) 心エコー図上のLV mass(図3)

LV massはN群 167 ± 41 g, I群 182 ± 26 g, H-1群 204 ± 48 g, H-2群 256 ± 66 g, H-3群 261 ± 53 g, H-4群 328 ± 72 gで、N群とH群の各群との間で、I群とH-1群はH-2群, H-3群及びH-4群との間で、H-2群とH-3群はH-4群との間で有意差を認めた。

4) 安静時VCG(図4, 5)

空間最大QRSベクトルについては、大きさはN群<I群=H-1群<H-2群=H-3群<H-4群の順に大で、これはLV massにおける順序と一致していた。方位角はH-2群とH-4群が、N群とI群に比べて明らかに左後方へ偏位した。仰角はH-1群, H-3群及びH-4群がより上方へ向いた。

空間最大Tベクトルについては、大きさはH-3群とI群が他の群より明らかに小であった。方位角はN群=I群=H-1群<H-2群<H-3群<H-4群の順に前方から右前方へ向いた。仰角はN群=I群=H-1群<H-2群=H-3群<H-4群の順に上方に向かっていた。

空間QRS-T夾角は平均値では、N群<H-1群<I群<H-2群<H-3群<H-4群であり、N群とH-1群はN-2群, H-3群及びH-4群との間に、I群とH-2群はH-3群

及びH-4群との間に、H-3群はH-4群との間に、有意差を認めた。

空間最大T/QRSベクトル比は平均値では、H-3群<H-4群<H-2群<I群<H-1群<N群の順に大きく、H-3群はI群, H-2群, H-1群及びN群との間で、H-4群はI群, H-1群及びN群との間で、H-2群はH-1群及びN群との間で、I群とH-1群はN群との間で各有意差があった。

空間での丸さの指標である三面におけるT環の最大横径/最大長径比(以下W/L比)は、平均値ではN群<H-1群<I群<H-2群<H-4

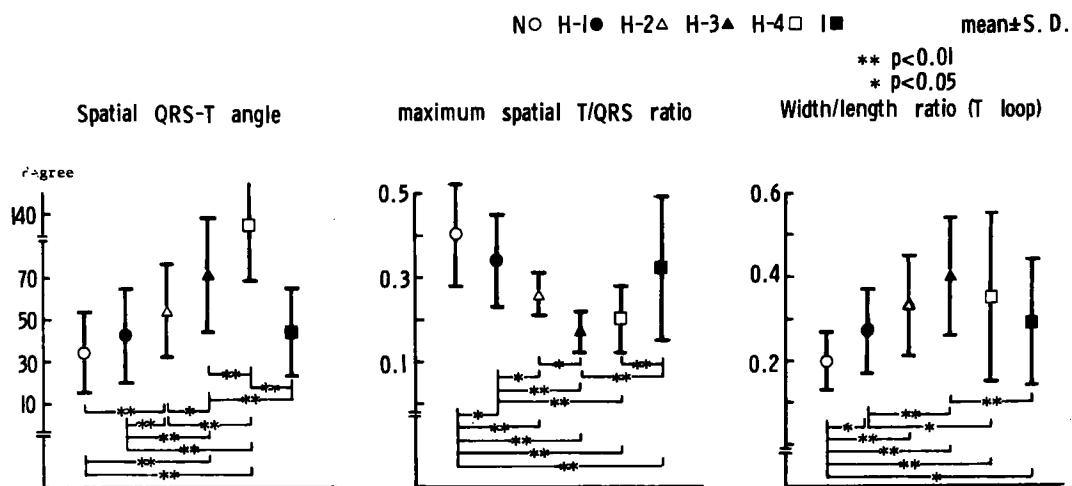


図5 安静時ベクトル心電図 2.
(空間 QRS-T 夾角, 空間最大 T/QRS ベクトル比, T 環の W/L 比)

表3 N群の運動負荷前後の正常範囲

	maximum spatial QRS vector			maximum spatial T vector		
	magnitude (mV)	azimuth (degree)	elevation (degree)	magnitude (mV)	azimuth (degree)	elevation (degree)
before	1.52±0.33 (0.86~2.18)	-7±19 (-45~31)	55±10 (35~75)	0.59±0.13 (0.33~0.85)	30±12 (6~54)	62±7.0 (48~76)
after	1.54±0.34 (0.86~2.22)	-14±20 * (-55~26)	55±11 (33~77)	0.45±0.11 * (0.23~0.67)	41±14 * (13~69)	67±9.9 * (47~87)

	spatial QRS-T angle (degree)	maximum spatial T/QRS ratio	width/length ratio (T loop)
before	34±19 (0~72)	0.40±0.12 (0.16~0.64)	0.20±0.07 (0.06~0.34)
after	50±21 * (8~92)	0.31±0.09 * (0.13~0.49)	0.28±0.10 * (0.08~0.48)

* p < 0.01

mean±S.D.

(95% confidence)

群 < H-3 群の順に大であり、N 群と H 群の各群及び I 群との間に、H-1 群は H-3 群及び H-4 群との間、I 群は H-3 群との間に有意差があった。

5) 運動負荷ベクトル心電図（以下 E-VCG）

a) E-VCG における N 群の正常反応（表 3）

対象としての N 群の運動負荷前後での空間ベクトルの範囲を決めるることは重要であり、表 3

に運動負荷前値と負荷後に最大変化した値を示す。空間最大 QRS ベクトルは、方位角のみが有意に変化し、その変化は左後方へ平均 7° であった。空間最大 T ベクトルについては、大きさは減少し、負荷後 3 分での水平面 T 環は、負荷前値の 1/3 以下になることも、負荷前値より増大することもなかった。方位角は平均 11°、仰角も平均 5 増大し、左前上方へ偏位し、空間 QRS-T

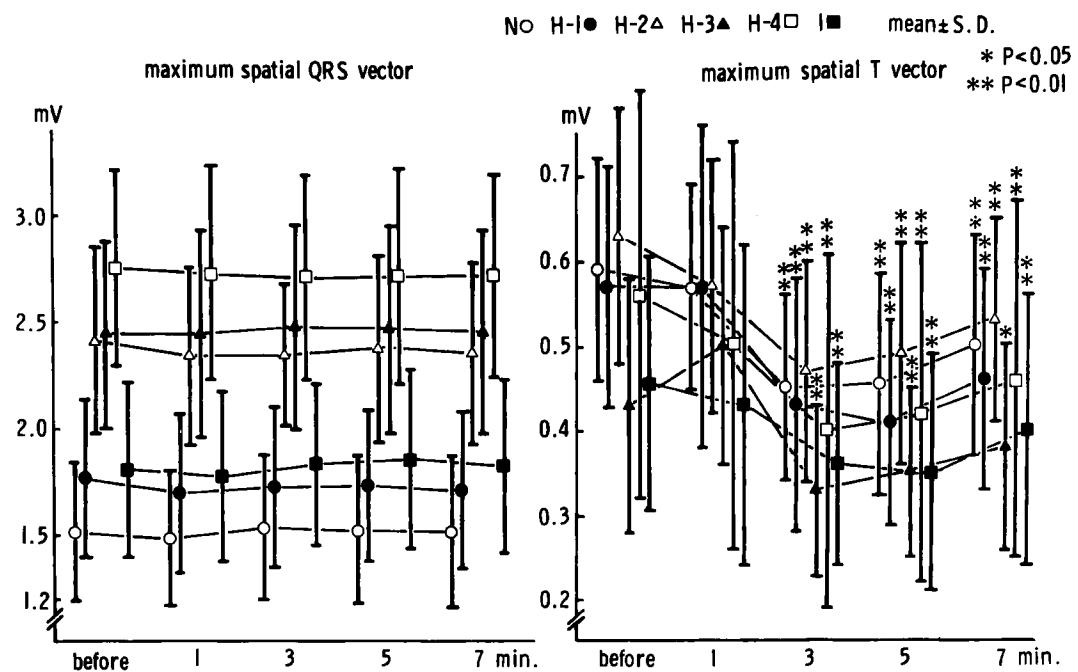


図 6 空間最大 QRS 及び T ベクトルの大きさ(E-VCG)
標準偏差の上の*印は運動負荷前後の有意差を示す(図 7 以下も同様)。

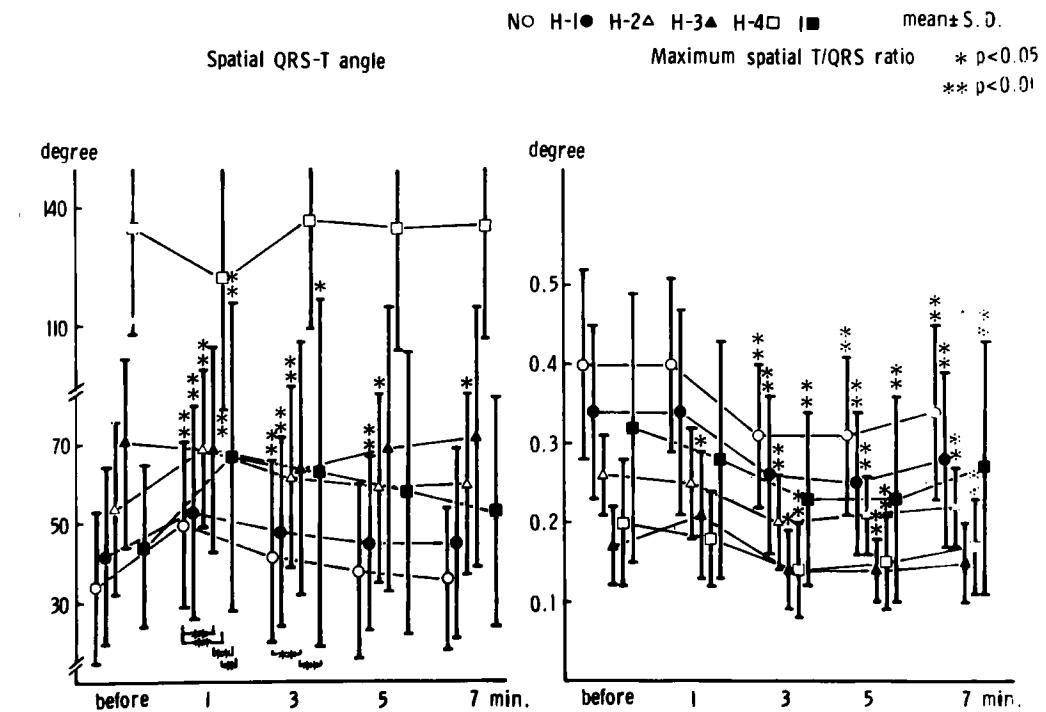


図 7 空間最大 QRS 及び T ベクトルの方位角(E-VCG)
群間の*印は ΔH° に有意差のあることを示す。

夾角は平均16°拡大した。空間最大T/QRSベクトル比は減少し、その下限値は0.13であった。T環のW/L比は増大し、その上限値は0.49であった。以上まとめると、運動負荷後の空間最大QRSベクトルの大きさ、方位角及び仰角、空間QRS-T夾角、空間最大T/QRSベクトル比は、ほぼ安静時VCGの正常基準値を用いて

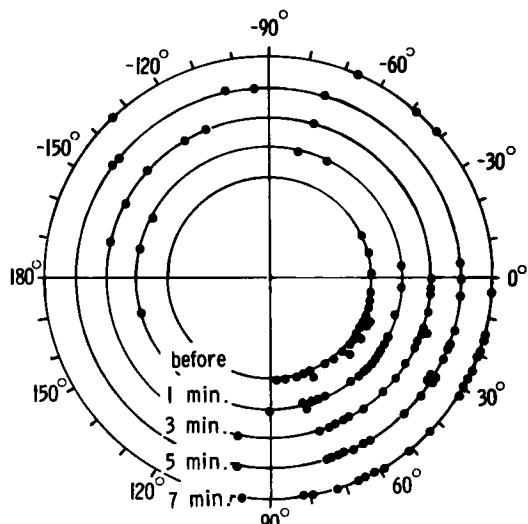


図8 I群の空間最大Tベクトルの方位角(E-VGC)

診断してもよいと考えられるが、空間最大Tベクトルの方位角と仰角、T環のW/L比は、負荷により明らかに変化して、安静時の正常範囲を逸脱するものが出現するため、負荷後の空間最大Tベクトルの判定には、安静時のものとは別の基準が必要と考えられた。

b) 空間ベクトルの諸指標

(図6, 7, 8, 9, 10, 11)

空間最大QRSベクトルについては、大きさは各群ともに負荷前後で有意な変化は示さなかった。方位角は各群とも負荷後1分では減少して左後方へ偏位し、特にN群とH-2群では負荷後5分までこの傾向が認められた。仰角は各群ともに有意な変化を示さなかった。

空間最大Tベクトルについては、大きさはH-3群以外の群では負荷後3分以降減少した。H-3群では負荷後1分で、一過性に増大する傾向を示したが、負荷後3分以降には他の群と同様に明らかに減少した。

方位角は負荷後1分ではN群、H-1群及びH-2群では増大して前方へ偏位し、N群とH-1群では負荷後3分でも同様の変化が認められた。H-3群では負荷後3分では減少して後方へ

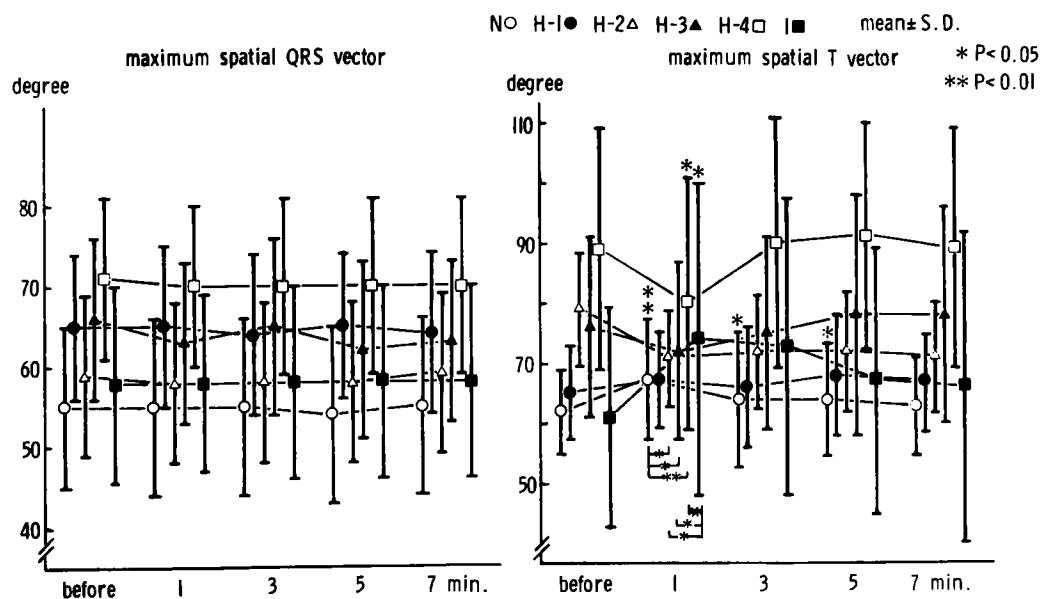


図9 空間最大QRS及びTベクトルの仰角(E-VCG)
群間の*印は△V°に有意差のあることを示す。

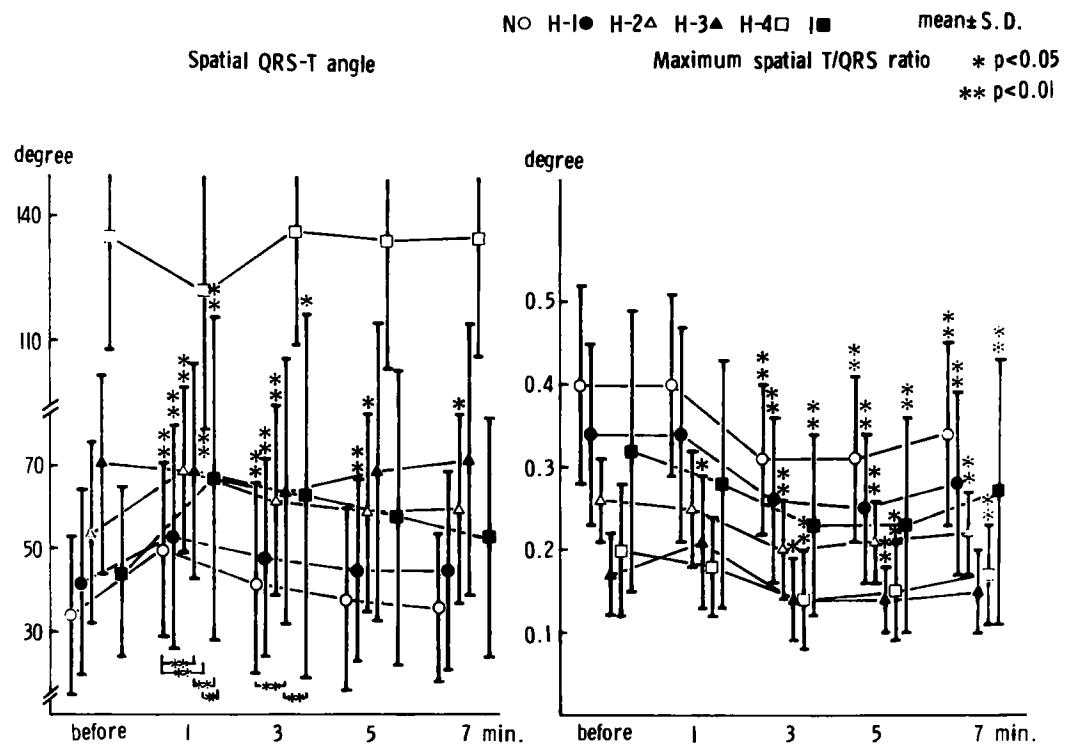


図10 空間 QRS-T 夾角と空間最大 T/QRS ベクトル比(E-VCG)
群間の*印は△QRS-T 夾角に有意差のあることを示す。

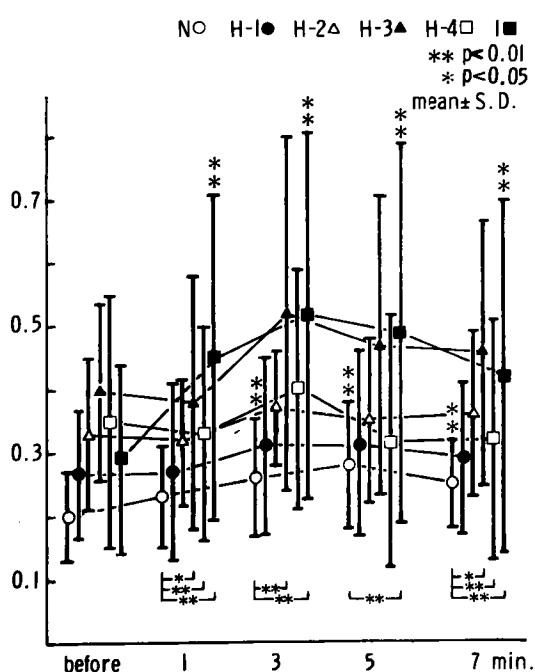


図11 T環のW/L比(E-VCG)
群間の*印は△W/Lに有意差のあることを示す。

向いた。H-4群は負荷後1分で減少し、右前方より前方へと偏位し、負荷後3分でも同様の傾向を認めた。運動負荷前後における方位角の差(以下 ΔH°)を群間で検討すると、負荷後1分と3分では-3群と-4群はN群と有意差があった。I群は一定の方向性を持たないで大きく変化するものが多く、群としての平均値は算出できなかった(図8)。ちなみに運動負荷前後での方位角の差の絶対値(以下 $|\Delta H^\circ|$)について比較してみると、N群とI群の平均値は負荷後1分では各々 14° , 42° 、3分では各々 8° , 51° であり、I群はN群に比し有意に大きく変動した(各々 $p < 0.05$, $p < 0.01$)。

仰角については、N群は負荷後5分まで増大して上方に偏位した。I群は負荷後1分で上方へ偏位し、負荷後3分でもその傾向が認められた。H-1群、H-2群及びH-3群は有意な変化を示さなかったが、H-4群は負荷後1分で減少し下方へ偏位した。しかし、H-2群とH-3群は負荷後平均値では減少しているので、運動負

表4 水平面T環の形態(負荷後3分)

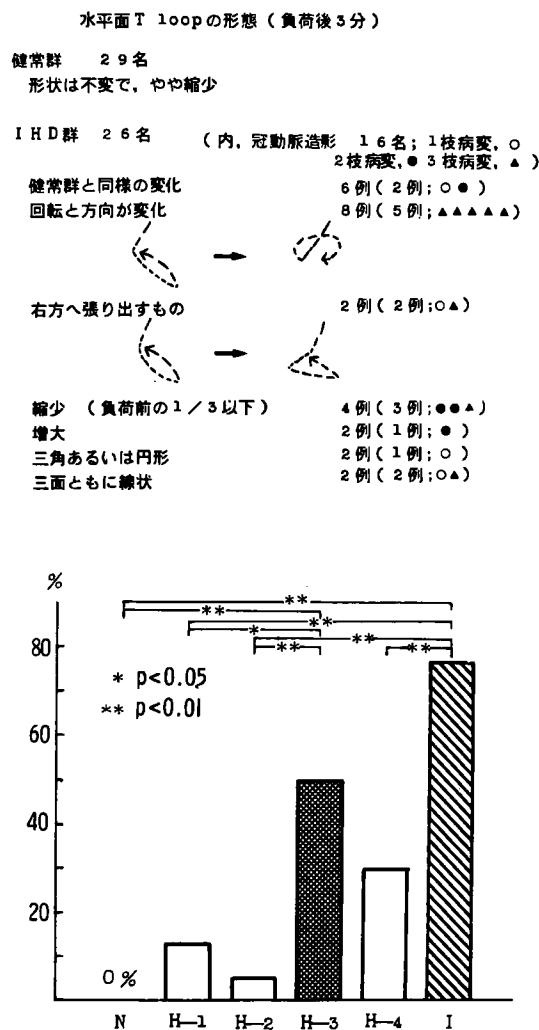


図12 水平面T環の形態の異常率(負荷後3分)

荷前後での仰角の差(以下 ΔV°)を群間で検討すると、負荷後1分ではN群とI群に比し、H-2群、H-3群及びH-4群との間に有意差があった。またN群とI群の運動負荷前後での仰角の差の絶対値(以下 $|\Delta V|^\circ$)を比較すると、負荷後1分では平均値は各々 8° と 16° 、負荷後3分では各々 6° と 16° であり、I群は有意に大きく変動した(各々 $p < 0.05$)。

空間QRS-T夾角はN群、I群、H-1群、H-2群では負荷後には拡大したが、H-4群は負荷後1分では逆に縮小した。H-3群は平均値は減少したが、有意な変化を示さなかった。運動

負荷前後での空間QRS-T夾角の差(以下 $\Delta QRS-T$)を群間で比較すると、N群とIに比し負荷後1分ではH-3群とH-4群が、また負荷後3分ではH-3群との間に有意差があった。

空間最大T/QRSベクトル比は、H-3群のみが負荷後1分で増大し、その後減少した。その他の群では、負荷後には明らかに減少した。

T環のW/L比は、N群では負荷後3分以降には有意に増大し丸くなかった。I群でも負荷後1分以降には明らかに増大した。H群のうち、H-2群とH-3群は負荷後3分、5分で増大の傾向を示したが、H-1群とH-4群は変化しなかった。しかし、これらの変化の程度は各群間に統計的な差を認めなかった。I群は群としては丸くなるのであるが、その中には著明に細くなり線状を呈する例が11%あり、形状の変化の程度が重要と考えられた。そこで $\Delta W/L$ の絶対値(以下 $|\Delta W/L|$)をとると、N群とI群との間には負荷後1分以降有意差を認め、H-3群は負荷後1分、3分、7分で、またH-4群は負荷後1分と7分で、N群との間に有意差を認めた。N群も負荷後経時に増大するため、H群の中では負荷後3分と5分の時点では、差を認めなくなることもあった。しかし、I群はN群に比して、より大きく丸くなったり、細くなったりした。 $\Delta W/L$ の指標として $-0.16 \sim 0.20$ をとると、N群は90%がこの範囲に入り、I群の61%がこの範囲からはずれた。

c) 水平面QRS環及びT環の形態(負荷後3分)(表4、図12)

水平面QRS環の形態については、各群ともに負荷後には最大QRSベクトルが左後方へ偏位するものの、形状には大きな変化を認めなかった。水平面T環については、N群では形状は不变であった。I群は26例中6例(23%)が、N群と同様の形態を示したが、残り20例のうちの8例(31%)は、回転と方向に変化を認めた。8例のうちCAGを施行した5例は、全て三枝病変例であった。また右方へ張り出すものは2例(8%)あり、各々一枝病変例と三枝病変例であった。N群では認められなかった負荷前の1/3以下に縮小するものが4例(15%)あり、このうちCAGを施行した3例は、2例が二枝病変例であ

表5 T環の刻時点速度の変化

N		before	1	3	5	7 min.	
a	29	0	4	21	29		
b	0	2	0	0	0		
c	0	27	25	8	0		
IHD		before	1	3	5	7 min.	
a	16	1	3	7	15		
b	0	2	1	1	0		
c	10	23	22	18	11		
H-1		before	1	3	5	7 min.	
a	27	1	3	13	25		
b	0	1	2	0	0		
c	2	27	24	16	4		
H-2		before	1	3	5	7 min.	
a	19	1	1	11	17		
b	0	3	0	0	0		
c	1	16	19	9	3		
H-3		before	1	3	5	7 min.	
a	15	0	2	5	12		
b	0	0	2	0	0		
c	5	20	16	15	8		
H-4		before	1	3	5	7 min.	
a	19	8	12	16	17		
b	0	0	0	0	0		
c	1	12	8	4	3		

り、1例が三枝病変例であった。負荷前より大きくなるものが2例(8%)あり、CAGを行なった1例は二枝病変例であった。三角あるいは円形になるものは2例(8%)で、CAGを行なった1例は一枝病変例であった。VCGの三面図ともに線状になるものが2例(8%)あり、各々一枝病変例と三枝病変例であった。CAG所見と水平面図での負荷前後での最大Tベクトルの変化を検討すると、前壁が主に障害されている時は、負荷後には左後方あるいは後方に向かうベクトルが、また前側壁が障害された時には、右後方へ向かうベクトルが生じて、T環の偏位をもたらすと考えられた。しかし、負荷後T環の方向が変化せずに増大した例は、CAGでは主に前壁が障害されており説明がつかず、その他の要因があると考えられた。左室造影所見での障害部位と、T環の変化との関係についても検討したが、症例数も少なく今回の成績からははっきりとした関連性は得られなかった。

I群のうち、負荷後N群とは異なる形態を示したものと、I群に特徴的なT環の形態的な異常と仮定して、H群各群における負荷後のT環

の形態を検討すると、I群77%, H-1群13%, H-2群5%, H-3群50%, H-4群30%にこれらのT環の異常がみられ、I群とH-3群は有意にT環の異常の出現率が高かった。

d) T環の刻時点の速度の変化(表5)

N群では負荷前は全例遠心脚が遅く、求心脚が速かったが、負荷後には遠心脚も速くなり等速に回転するものが86%あり、負荷後5分でも38%が等速に回転した。負荷後7分では、全例負荷前の状態に復した。H-3群以外の各群においても、負荷後には等速に回転するものが増えたが、負荷後7分でも安静時の状態に戻らないものもあった。H-4群はこれらの変化を示す率が少なく、変化した例でも負荷前の状態に早く戻る傾向を認めた。I群とH-3群では、負荷前よりすでに等速に回転するものが多く認められ、負荷後に負荷前の状態に戻る時間も、N群に比して遅い傾向を認めた。しかしながら、いずれの群でもT環が大きいものは、負荷後には遠心脚の遅延が失われ、等速に回転するようになることを確認できうるが、H-3群やI群の中の、特にT環の小さいものは詳細な検討が困難で、同様な変化がみられるのか、終末部の遅延が加わったとみるべきか判然としないものもあった。

考案

本態性高血圧症の心電図にみられる左室高電位に伴うST-T変化が、一次性的なものか二次性的のものかを診断することは実際には難しく、標準12誘導での運動負荷でST降下を認めて、それが虚血性の変化のためかどうか、判断することは容易ではないと考えられている^{5,6)}。しかし一方では、最近のspontaneously hypertensive rats(SHR)を使用した研究で、prehypertensive stageでもすでに冠動脈壁の肥厚が認められる報告されている⁷⁾ように高血圧症では動脈硬化をおこしやすいとも考えられ、一次性的の変化の影響も十分考えられるわけである。本態性高血圧症のVCGは、病態の進展とともに、QRS環は左後下方から左後方へ、T環は左前方より前方をへて右前上方へ向かうとされており^{8,9)}、病期によりQRS環とT環の空間的位置は、大きく変化していくわけであるが、果たして運動

負荷によりこれらの変化が、各病期毎でどのような動きをするものかについては、確かめられていない。そこで本態性高血圧症患者を4群に分け、各病期毎の高血圧患者にtreadmillを用いた亞最大運動負荷を行ない、その前後のベクトル心電図（以下、E-VCG）を分析することで、虚血性病変の関与を検討した。

心電図所見による本態性高血圧症患者の分類は、心エコー図上のLV massとの対比により、心肥大はN群に比してH群はより強く、またH群の中でも心電図変化が左室高電位のみならずST-T変化を伴うなど、著明になってくるにつれて心肥大の程度は強くなっている、Bennetらの報告¹⁰⁾と同様に病態生理学的にも妥当性があると考えられた。

E-VCGはartifactが入りやすく手技も煩雑で、また基線が動搖しやすく、STベクトルの評価が困難であることなどの短所もあることは事実である。このため一般に使用されることも少なく、その報告も虚血性心疾患を対象としたものが大部分で、高血圧症などの他の心疾患についての検討は極く稀である。またそのE-VCG陽性判定基準も、研究者により様々で統一されたものではなく、一般的には判定項目に差はある、安静時VCGの判定基準に準じて行なわれているのが現状である。しかしながら、E-VCGは標準12誘導などのスカラー心電図を用いる方法に比べて、QRS環やT環の空間的な大きさ、方向、形状や相互関係などの変化を把握しやすく、負荷後の頻拍時のT環の分析には一層有利である。特にIsaacsら^{11,12)}が運動負荷後のT環の変化により、虚血性心臓病の重症度を分類し、スカラ一心電図では虚血性ST変化のないものでも、虚血性T環の変化が認められることがあることを指摘して以来注目されている。従来の運動負荷法は簡便であることより、Master's two step testによる比較的軽い運動量にて行なわれていた。しかし、Simonson¹³⁾が指摘したように、十分の負荷が加わり心筋酸素消費が一定の限界を越えた時に初めて、心電図変化として顕われるわけであり、近年はtreadmillを用いての亞最大運動負荷法などで、今までより強い負荷をかけて、虚血性病変の診断を試みるのが一般的に

なりつつある。しかし一方では、運動負荷量により健常者でも心電図反応が異なるという報告^{14,15)}もあり、E-VCGの判定に安静時VCGの判定基準をそのまま用い得るか否かは、なお疑問があるところである。

そこでまず基準となるべく対照群、すなわちN群とI群についてE-VCGの変化を検討した。まずN群については、負荷後の空間最大QRSベクトルの各指標、空間QRS-T夾角、空間最大T/QRSベクトル比及びT環の形状は、ほぼ安静時のVCG診断基準の正常範囲内にあると考えられるが、空間最大Tベクトルの方位角や仰角、T環のW/L比及びT環の回転速度は、安静時の正常範囲を逸脱する例があった。その正常範囲の指標は、空間最大Tベクトルの大きさは減少するも空間最大T/QRSベクトル比が0.13以下にならないこと、負荷後3分での水平面図T環の大きさでみると、負荷前値の1/3以下にならないこと、空間最大Tベクトルの方位角は安静時の範囲全体が約10°前方へ偏位し、約10°-70°の範囲にあること、その仰角は上方へ拡大するが87°を越えないこと、T環のW/L比は拡大し、安静時に正常上限とされる0.40を大きく越えることはあるが0.50以下であること、T環の形状は不变であり、負荷後にはその回転が安静時には異常とされる等速回転をしても、それのみでは必ずしも異常と考えられないことなどである。Kimura¹⁴⁾らは健常者での種々の強度の運動時の心電図変化を検討し、持続可能であるが強度の運動では、平均QRSベクトルはやや小さくなり左下方へ偏位し、平均Tベクトルは前上方へ向くと報告し、Simonsonら¹⁵⁾は中年健常者においては、平均Tベクトルの方位角はtreadmill testでは、two step testの時は反対に後方へ向くと報告している。これらの報告は標準12誘導心電図より空間ベクトルを合成しており、著者のものとは方法的に違があるためと考えられた。Isaacsら¹¹⁾は運動負荷後の正常T環の形態は、STベクトルの後方への偏位、T環がより対称的に丸くなることや、終末部の遅延などの変化は認められないこととしている。

一方、I群については、空間最大QRSベクト

ルは N 群と同様で、方位角のみが左後方へ偏位し、大きさと仰角は変化しなかった。最近、運動負荷心電図で負荷後に R 波が増大するものや無変化のものは異常であるとする報告^{16,17)}もあるが、その評価は定まっていない。Watanabe ら¹⁸⁾は、QRS 環と左側胸部誘導近似の X 誘導とを比較し、QRS 環の前方偏位が R 波增高の主たる原因と考えている。著者の成績では、I 群は N 群と同様の変化であり QRS 環は後方へ向かう、空間最大 QRS ベクトルの大きさは変化しなかった。仰角も変化しなかったので、両群とも左側胸部誘導では減高するものと考えられる。

空間最大 T ベクトルについては、大きさは N 群と同様に縮小した。方位角は N 群が前方へ向かうのに対し、群としてまとまった方向性もなく、また大きく動くものが多かった。仰角は上方へ偏位し、その中でも著明に上方に偏位する例が 19% あった。空間 QRS-T 夾角は拡大し、空間最大 T/QRS ベクトル比は減少した。T 環は表 4 に示すごとく種々の変形をし、W/L 比は大きくなり丸くなかった。T 環の刻時点速度は、I 群では負荷前より等速に回転するものが多く、負荷後には負荷前の形態に戻るのか、N 群に比べて遅い傾向が認められた。I 群の変化とともに方位角が大きく変化する原因是、CAG 所見と水平面図最大 T ベクトルの運動負荷前後の変化とを比較検討すると、前壁が主として障害される時には運動負荷後左後方あるいは後方へのベクトルが生じ、前側壁が障害された時には右後方へのベクトルが生じて、これらの変化を起こすと考えられた。以上は水平面図での最大 T ベクトルについてのみ検討しているので、T 環の形態については言及できない。そこで戸山の T 環分析法⁸⁾により検討すると形状の変化も理解し得る。これは T 環の 3 つの方向のベクトルすなわち心室中隔がほぼ 60° の方向にあるので 60° の方向に向かう前壁ベクトルと、これに直角になる左室側壁ベクトル及び右方へ向かう右室ベクトルを各時期により変化させ合成して、各々の変化をみるものである。つまり、T 環の前半部は前壁の、後半部は側壁の因子が強いとするものである。著者の成績でも、右方へ張り出すものは側壁の障害が、円くなったり、右後方から

時計回転するものは前側壁の障害があり、戸山の報告と一致した。しかし、方向を変えずに T 環が増大するもの、三面ともに線状になるものは、全体的な虚血と考えられた。村山ら¹⁹⁾は computer で虚血性心疾患の simulation model を作成した検討により、虚血性心疾患では局所心筋活動電位持続時間を動かすことにより、これらの環の変化が説明できると述べている。仰角の変化については、著者の I 群の症例の中には、負荷後 T 環を上方に偏位させるような部位、すなわち下壁に虚血が惹起されやすい症例が多かったためではないかと考えている。著明に上方偏位を示した 5 例の中の 3 例は、CAG を施行しており、3 例ともに右冠動脈に病変を認めたが、その他の症例の中には右冠動脈に病変があっても上方偏位を示さない例もみられた。T 環の W/L 比は、従来の報告では丸くなることを重視するものが多いが^{11,12,20)}、単に丸くなることよりも、むしろ T 環の丸さの指標が大きく増減することが重要とする報告^{21,22)}もある。著者の成績では、N 群でも負荷後には大きくなり丸くなるが、I 群では W/L は N 群より有意に大であることより、T 環の丸さの指標が大きく増減することが、重要な指標と考えられた。

Isaacs ら^{11,12)}が VCG の T 環の重要性を初めて指摘した。彼等は種々の心疾患患者 59 名に treadmill 運動負荷を行い、80% に虚血性 T 環の異常を認めたのに比して、標準 12 誘導心電図では虚血性 ST 変化は 60% にしか認められず、E-VCG の T 環の診断的優位性を指摘した。また彼等は虚血性 T 環を、対称的に細長く延長し刻時点の密集したもの、丸く刻時点の密集した馬蹄型のもの、馬蹄型 T 環で反時計回転をするものの三つに分け、この順に重症度が強いものと考えた。Gray ら²⁰⁾、村山ら²²⁾は T 環の丸さの程度の指標と ST ベクトル偏位の程度を組み合わせて診断基準を作っている。Tseng ら²¹⁾、鈴木²³⁾らはさらに最大 T ベクトルの方向も加えた診断基準を報告している。Král ら²⁴⁾は CAG により診断された虚血性心疾患患者について検討し、虚血性 T 環は運動負荷により誘発された虚血部より、遠ざかるように動くと報告している。著者の成績では、T 環の形態、丸さの指標

の変化とともに、Tベクトルの偏位の程度も重要なと考えられた。

H群については、まず安静時VCGは肥大が進行するとともに、空間最大QRSベクトルの大きさは増大し、左上後方へと偏位すると考えられた。空間最大Tベクトルの大きさは、H-3群が他の群より小さく、方位角及び仰角は肥大が進行するとともに増大し、前上方から右上方へ偏位した。それとともに、空間QRS-T夾角は拡大し、空間最大T/QRSベクトル比は縮小した。T環のW/L比は増大し、丸味を帯びる傾向にあった。

著者の空間最大QRS及びTベクトルの方向は、これまでの本邦におけるFrank法VCGの成績と、ほぼ同様であった^{25~27)}。T環の大きさについては、高血圧群では小さいという報告が多いが、戸山⁸⁾は本態性高血圧群は、細長いまま、左前方から前方をへて右前方へ向かうのが特徴であり、それが小さくなる時には、動脈硬化などの他の要因が関与していると述べている。著者の成績では、H-3群のみ小さくて、の中には戸山の指摘するように、動脈硬化性病変が加わっている可能性は十分に考えられた。

一方、本態性高血圧症例におけるE-VCGの報告は、稀である。Uebaら²⁸⁾は、運動開始15秒時のTベクトルの動く方向を調べ、健常者と軽症高血圧患者のT環は方向は変わらず縮小し、15" exercise vectorと名付けたT環の先端の動きは、原点へ向かい、重症高血圧患者の15" exercise vectorは、右前方より左後方へと、心拡大した部へ向かうような変化を認めたことより、局所gradientの関与による一次性の変化の影響を示唆している。村山ら²²⁾は、19名の高血圧患者にMaster's two step testにより運動負荷を行ない、健常群ではT環は、負荷後には方向は変わらず縮小するのに比して、高血圧群では大きさは増大し、方向は運動負荷後15秒までは左前方へ向かい、すぐに元に復すると報告した。また6名の高血圧症に狭心症を伴った例では、左前方に大きくなり、より右方へ張り出しあくなると報告している。十河²⁹⁾はergometer負荷にて、本態性高血圧群のT環は縮小したが、方位角と仰角は有意な変化はしなかったと述べ

ている。著者の成績では、空間最大QRSベクトルは、各H群とも方位角のみが、負荷後左後方へ偏位し、大きさや仰角は変化せず、対照群と同様であった。空間最大Tベクトルについては、大きさはH-3群のみが、負荷後一過性に増大する傾向を示した後に、他の群と同様に縮小した。空間最大T/QRSベクトル比も、同様の変化であった。方位角、仰角及び空間QRS-T夾角は、LV massが大きくなる程、N群とは逆に減少すると考えられた。T環の形態は、I群と類似のものが、H-3群に多く認められた。T環の刻時点の異常も、H-3群に多く認められ、運動負荷後に負荷前の状態に復する時間も、遅れる傾向があった。村山らのT環の大きさについての成績との違いは、著者の症例では負荷量が多いことなどが関係したものと考えられた。十河²⁹⁾の成績では方位角や仰角は有意差はなかったが、その平均値は著者と同様に増大していた。十河はergometer負荷法を用いており、著者の負荷量より少ないと考えられたが、大きさは著者と同様に減少した。

H-1群とH-2群は、treadmill負荷に対してほぼN群と同様な変化をし、LV massは大きいものの、まだE-VCG上にはその影響は少ないものと考えられた。H-4群のT環は丸味を帯びているものが多いものの、I群とは異なり正常例にみられるような刻時点配列を有し、運動後の方位角、仰角及び空間QRS-T夾角の変化も一定の方向性を持っていた。またH-4群では、運動負荷の影響が非常に早くとれ、T環の刻時点の変化も起こりにくいことも特徴的であった。H-4群の標準12誘導心電図にみられるST-T変化は少なくとも、空間最大Tベクトルの運動負荷後の変化やT環の形態を考慮すると、I群にみられた一次性ST-T変化とは似ておらず、LV massが328±72gとN群の約2倍と大きいことより、おそらくは左室高電位に伴う二次性変化が主体と考えるのが妥当と考えられた。H-3群は、その中に戸山が本態性高血圧症のT環と考えている細長く前方に位置するものだけでなく、丸味を帯びたものが25%みられ、またE-VCGの変化も大きさが一時増大すること、T環のW/L比が大きいこと、T環が安静時より

等速に回転するものが多く、かつ運動後も他の群に比してその変化が長く見られることや、T環の形態等においてもI群類似の変化を示すものの割合が50%と多いことなどからも、H-3群の標準12誘導心電図のST-T変化の中には、虚血性変化などの一次性変化が加わっている可能性が強く示唆された。H-3群のLV massは、H-2群のそれと同程度であったが、H-3群のE-VCGの変化はH-4群に近いと考えられる。このことはLV massに現れない要因、例えば罹病期間の長短により虚血性変化の合併を考えられた。

結 語

本態性高血圧患者の左室高電位に伴うST-T変化を分析する目的で、健常者群29名及び虚血性心疾患患者群26名を対照群として、本態性高血圧症患者群90名は四群に分け、treadmillによる最大運動負荷を行ない、その前後でのFrank法ベクトル心電図を比較検討した。

- 1) 空間最大QRSベクトルは各群ともに、負荷後は左後方へ偏位した。
- 2) 健常者群の空間最大Tベクトルは負荷後には縮小し、左前上方へ向いた。T環の形状は不变であったが、等速に回転するものが多かった。
- 3) 現在では、E-VCGでの運動負荷陽性の判定は、安静時の基準にて行なわれているが、健常群の検討より、空間最大Tベクトルの方位角

と仰角、T環のW/L比、T環の回転速度は、その正常範囲を逸脱する例があり、負荷後の空間最大Tベクトルの判定には、安静時のものとは別の基準が必要と考えられた。

4) 虚血性心疾患患者群の空間最大Tベクトルも縮小し、方位角は方向性を持たず大きく変化した。仰角は上方に偏位し、その中でも著明に上方を向く例もあった。またT環の形状も大きく変わるものが多く、これらの変化が特徴的と考えられた。

5) 本態性高血圧症例は心肥大が進行するとともに、方位角、仰角及び空間QRS-T夾角は、健常群の変化とは逆方向に変化すると考えられた。その中で、左室高電位にいわゆるstrain pattern以外のST-T変化を伴う群は、T環の形態によりそのST-T変化は、虚血などの一次性の変化の関与が強いものと考えられた。左室高電位にいわゆるstrain patternを伴う群は、T環の形態を考慮しても、そのST-T変化は左室高電位に伴う二次性のものと考えられた。

稿を終えるに臨み、御校閲いただいた長島秀夫教授に深甚なる謝意を表するとともに、御懇篤な御指導をいただいた原岡昭一教授、斎藤大治講師、吉田英紀講師に深謝いたします。

(本論文の要旨は、第25回日本老年医学会総会で発表した。)

文 献

1. Fox, S.M., Naughton, J.P. and Gorman, P.A.: physical activity and cardiovascular health. The exercise prescription, intensity and duration, and frequency and type of activity. *Mod. Conc. Cardiovasc. Dis.* 41, 21-25, 1972.
2. AHA Committee on Exercise: Exercise testing and training of individuals with heart disease or at high risk for its development. In *Handbook for Physicians*. Am. Heart Association, Dallas, 1973.
3. 第6回ベクトル心電図研究会記録. 日本臨床 24, 205-209, 1966.
4. Devereux, R.B. and Reichek, N.: Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. Anatomic validation of the method. *Circulation* 55, 613-618, 1977.
5. Chung, E.K.: *Exercise Electrocardiography. Practical Approach*. The Williams & Wilkins Company, Baltimore, pp. 156-217, 1979.
6. Kleiben, G.E.: Exercise, coronary heart disease and hypertension. *J. AOA* 73, 101-108, 1974.
7. Ohtaka, M.: Vectorcardiographical and pathological approach to the relationship between cardiac

- hypertrophy and coronary arteriosclerosis in spontaneously hypertensive rats (SHR). *Jpn. Circ. J.* **44**, 283—293, 1980.
8. 戸山靖一:心電図とベクトル心電図。心電図の一つのみかた。財団法人大阪成人病予防協会, 大阪, 1966.
9. Toyama, S., Suzuki, K., Ishiyama, T., Yamagami, T., Terada, A. and Tsukamoto, N.: Vectorcardiographic criteria of left and right ventricular hypertrophy with the Frank system. *Jpn. Circ. J.* **30**, 189—194, 1962.
10. Bennet, D.H. and Evans, D.W.: Correlation of left ventricular mass determined by echocardiography with vectorcardiographic and electrocardiographic voltage measurements. *Br. Heart J.* **36**, 981—987, 1974.
11. Isaacs, J.H., Wilburne, M., Mills, H., Kuhn, R., Cole, S.C. and Stein, H.: The ischemic T loop during and following exercise---- a vector-electrocardiographic study. *J. Electrocardiol.* **1**, 57—76, 1968.
12. Isaacs, J.N., Mills, H. and Cole, S.: The post-exercise T loop. The sequence of T loop changes in advanced angina-ischemic heart disease. *Proc. XIth. International Vectorcardiography Symposium* North-Holland Publishing Company, pp. 670—681, 1971.
13. Simonson, E.: Use of the electrocardiogram in exercise tests. *Am. Heart J.* **66**, 552—565, 1963.
14. Kimura, N. and Simonson, E.: The effect of moderate and hard muscular work on the spatial electrocardiogram. *Am. Heart J.* **45**, 676—682, 1953.
15. Simonson, E. and Keys, A.: The electrocardiographic exercise test.: *Am. Heart J.* **52**, 83—105, 1956.
16. Mason, D.T.: *Advances in Heart Disease* 3. Grune & Stratton, Inc. New York, pp. 288—293, 1980.
17. Bonoris, P.E., Greenberg, P.S., Christion, G.W., Castellanot, M.J. and Ellestad, M.H.: Evaluation of R wave amplitude changes versus ST-segment depression in stress testing. *Circulation* **57**, 904—910, 1978.
18. Watanabe, K., Bhargava, V. Froelicher, V.F.: The relationship between exercise-induced R wave amplitude changes and QRS vector loop. *J. Electrocardiol.* **14**, 129—138, 1981.
19. 村山正博, 春見建一, 真島三郎, 下村克朗, 松尾博司, 村尾 覚:運動負荷心電図T環のコンピューターによるsimulation, 日本臨床 **35**, 2449—2452, 1977.
20. Gray, W. and Bell, H.H.: Vectorcardiographic T loop analysis in ischemic heart disease. *Br. Heart J.* **33**, 917—921, 1971.
21. Tseng, Y.Z., Lien, W.P., Chen, C.M. and Wu, T.L.: Non-invasive diagnosis of ischemic heart disease. Part 11 Vectorcardiographic criteria for positive exercise test. *J. Formoson Med. Assoc.* **76**, 529—545, 1977.
22. Murayama, M., Harumi, K., Yamamoto, M., Iguchi, K., Chen, C.M., Murao, S. and Ueda, H.: Further study on exercise vectorcardiogram with Frank's lead. Spatial ST, T changes produced by exercise in health and disease. *Jpn. Heart J.* **11**, 400—416, 1970.
23. 鈴木恵子:負荷ベクトル心電図。循環器病学。診断と治療社, 東京, pp. 158—164, 1981.
24. Král, V., Drška, Z., Novák, V. and Ježek, V.: Vectorcardiographic load test in ischemic heart disease. *Adv. Cardiol.* **19**, 211—214, 1977.
25. 日高義之:左室負荷ベクトル心電図の定量解析的研究。日循誌 **33**, 197—212, 1969.
26. 東 貞光:ベクトル心電図よりみた左室圧負荷と左室容量負荷。日循誌 **32**, 1023—1032, 1968.
27. 谷 煎:高血圧症患者のベクトル心電図に関する研究。日循誌 **33**, 215—230, 1969.
28. Ueda, E., Murayama, M., Harumi, K., Sato, C. and Murao, S.: Spatial T wave changes produced by exercise in health and disease. *Jpn. Heart J.* **8**, 83—93, 1967.
29. 十河泰司:糖尿病の運動負荷ベクトル心電図。岡山医誌 **93**, 271—314, 1981.

Exercise vectorcardiographic study in essential hypertension**Akinobu FUJII**

The First Department of Internal Medicine,

Okayama University Medical School, Okayama

(Director: Prof. H. Nagashima)

The cause of ST-T changes with QRS high voltage in essential hypertension was investigated using Frank lead vectorcardiograms. Submaximal treadmill exercise was performed according to the modified Bruce protocol. The patients were divided into three groups. Group N consisted of 29 normal subjects; Group I (ischemic heart disease) consisted of 10 patients with angina pectoris and 16 patients with angiographically documented narrowing of one or more coronary arteries and Group H (essential hypertension) was subdivided into four groups according to ECG findings: Group H-1 of 30 subjects with normal ECG, Group H-2 of 20 subjects with QRS high voltage ($Sv_1 + Rv_6 \geq 35$ mm) with normal ST-T pattern, Group H-3 of 20 subjects with QRS high voltage with ST-T changes but no "strain pattern" and Group 4 of 20 subjects with QRS high voltage and "strain pattern". After exercise, the maximum spatial QRS vectors shifted posteriorly and to the left in all groups. In Group N, the maximum spatial T vector was reduced in magnitude, and directed anteriorly, superiorly and to the left after exercise. The T loop configuration showed no significant changes, though slightly rounded and inscribed uniformly. In Group I, the maximum spatial T vector decreased in magnitude as in Group N, but was directed in significantly more ways than in Group N. In a few cases, the vectors were extremely dislocated upward. The T loop configurations had wide variation. This variation of the T loop after exercise was characteristic of Group I. In group H, the maximum spatial T vector was also reduced in size, while the azimuth, elevation and spatial QRS-T angle moved in the opposite direction of Group N, as cardiac hypertrophy developed. Analysis of T loop configuration changes induced by exercise strongly suggested that the ST-T changes in Group H-3 were related to primary changes due to myocardial ischemia. Effects of exercise on spatial T vectors and T loop configurations in Group H-4 were quite different from those in Group I, so that the ST-T changes in this group seemed to be secondary changes in association with QRS high voltage.