研 究

体表面電位図およびベクトル心電図による 狭心症患者の運動負荷後R波高変化の検討

久保田功* 大山武紹* 渡辺佳彦* 鈴木ひとみ* 五十嵐秀* 原田政雄*
上西徹二* 金谷 透* 立木 楷* 安井昭二* 山口一郎** 宮沢光瑞**

Treadmill 負荷前後で中日電子製H P M-5100装置を用いて体表面電位図(電位図)およびFrank 誘導ベクトル心電図(V C G)を記録し、R波高変化の狭心症診断の臨床的意義を検討した。対象は狭心症患者19名で、健康成人14名を対照とした。Sheffield 法に従い、Submaximal treadmill 負荷を施行、その直前と負荷後1分半に安静呼吸位にて記録を行った。電位図の V_s を中心とした左前胸壁の9つの誘導点のR波高の和を ΣR とした。 ΣR の負荷前後の差である $\Delta \Sigma R$ は、狭心症群では対照群に比し有意に大($P < 0.001$)であり、V C Gにおける $\Delta R X$ ($P < 0.005$)、 $\Delta R X + \Delta R Y + \Delta Q Z$ ($P < 0.005$)、あるいは $\Delta R V_s$ ($P < 0.01$)よりも両群の分離に優れていた。V C Gの $\Delta R Y$ 、 $\Delta R Z$ 、 $\Delta Q Z$ 、 Δ Spatial maximal magnitude は両群において有意差はなかった。 $\Delta \Sigma R$ と電位図における最大S T低下との間には、 $r = 0.64$ ($P < 0.001$)の相関があった。 $\Delta \Sigma R$ と安静時左室機能異常(EF, LVEDP, Wall motion)との間には相関はなかった。 $\Delta \Sigma R$ は狭心症診断に有用であると考えられた。

Exercise-induced R wave changes in patients with angina pectoris by body surface mapping and vectorcardiography The First Department of Internal Medicine and Clinical Laboratory* Yamagata University, School of Medicine. Isao Kubota, Taketsugu Ohyama, Yoshihiko Watanabe, Hitomi Suzuki, Hide Igarashi, Masao Harada, Tetsuji Kaminishi, Tohru Kanaya, Kai Tsuiki, Shoji Yasui, Ichiro Yamaguchi*, Kozui Miyazawa*.

冠動脈疾患における運動負荷時のR波高変化に関する臨床的意義については、現在のところ、意見の一致をみていない(1—7)。Bonoris¹⁾は、CM-5誘導のR波を用いて、またBerman²⁾は、 aV_L 、 aV_F 、 $V_3 \sim V_6$ のR波と V_1 、 V_2 のS波の和である ΣR を用いて、負荷後のR波あるいは ΣR の増大または不変は、冠動脈疾患に特異的であると報告している。一方、Worthuis³⁾は、CM-5、 V_s 、 CC_s などの誘導を用い、正常人におけるR波高の変化を観察したところ、R波の減少は、心拍数が150/分を越えてから生じたことから、冠動脈疾患患者の負荷によるR波増高は単に負荷中の心拍数が増加する以前に負荷を中止する場合が多いことに基因するとみなし、R波高変化の診断的意義に否定的である。さらに、Battler⁴⁾もFrank

誘導ベクトル心電図を用い、Radionuclide angiographyとの検討を行い、負荷によるR波高変化の冠動脈疾患診断の有用性を認めていない。

我々は、Treadmill負荷前後で、体表面電位図(電位図)およびFrank誘導ベクトル心電図(V C G)を同時記録し、R波高変化の冠動脈疾患診断における臨床的意義に関し、検討を行った。

1. 対象ならびに方法

対象は、狭心症患者19名(うち女性1名)であり、年齢は41才から69才、平均57才である。狭心症の診断は、典型的狭心痛、Thallium-201負荷心筋シンチグラムおよび冠動脈造影によった。全例、典型的狭心痛を有し、Thallium-201負荷シンチグラムにて、運動負荷により明らかな欠損部の出

(1981年8月10日 原稿受領)

*山形大学医学部第1内科

**山形大学医学部付属病院検査部
(〒990-23 山形市蔵王飯田字西の前)

Keywords

運動負荷後R波高変化 狭心症
体表面電位図 ベクトル心電図

図1 電位図作成のための誘導点

誘導部位は、前胸部に59点、背部に28点の計87点である。A, E, I列は、それぞれ、右腋窩中線、胸骨正中線、左腋窩中線上の誘導点である。標準12誘導心電図のV₁~V₆に相当する部位を○で示す。ΣR算出に用いる左前胸部の9つの誘導点をわくで囲んだ。

表1 負荷前後のQRS波高変化

	ΔRX ($\times 10\mu V$)	ΔRY ($\times 10\mu V$)	ΔRZ ($\times 10\mu V$)	ΔQZ ($\times 10\mu V$)	$\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$ ($\times 10\mu V$)	$\Delta \text{Spatial maximal magnitude}$ ($\times 10\mu V$)	$\Delta RV5$ ($\times 10\mu V$)	$\Delta \Sigma R$ ($\times 10\mu V$)
Normal(n=14)	-11.1 $\pm$ 3.2	0.1 $\pm$ 4.2	26.9 $\pm$ 3.6	-2.0 $\pm$ 2.0	-13.2 $\pm$ 5.9	-0.6 $\pm$ 3.7	-19.3 $\pm$ 6.0	-129 $\pm$ 35
CAD (n=19)	7.3 $\pm$ 4.0	5.0 $\pm$ 4.5	21.2 $\pm$ 3.8	0.1 $\pm$ 1.5	12.4 $\pm$ 4.7	10.1 $\pm$ 3.5	13.1 $\pm$ 8.2	116 $\pm$ 46
t-value	3.28	0.74	1.02	0.27	3.32	1.99	2.88	3.88
Significance	p<0.005	NS	NS	NS	p<0.005	NS	p<0.01	p<0.001

Values are mean $\pm$ SE

現をみた。冠動脈写は、16例に施行し、いずれも少なくとも1本の冠動脈に American Heart Association⁹⁾の75%以上の狭窄が存在した。既往歴、心電図変化、酵素反応から、過去に心筋梗塞の既往を有する患者および心室内伝導障害を有する患者は対象から除外した。対照として、健康成人男子14名、22才から52才、平均36才を選んだ。

Sheffield 法⁹⁾に従い、Submaximal treadmill 負荷を施行、負荷直前と負荷後1分半にて、山田¹⁰⁾の開発した中日電子製 HPM-5100 装置(誘導点87, Sampling interval 4ms)を使用し、電位図およびVCGを記録した。図1に示す如く、電位図に関し、標準12誘導のV₆に相当するH₄周辺の左前胸壁の9つの誘導のR波高の和をΣRとした。

なお統計学的検討には、unpaired t test を用い、危険率5%以下を有意とみなした。数値はすべて

mean $\pm$ SEM で表した。

II. 結 果

狭心症群では、全例負荷中に典型的狭心痛が出現し、胸痛のために負荷を中止した。負荷中の最大心拍数は、狭心症群では、125 $\pm$ 5/分であり、対照(正常)群では、157 $\pm$ 4/分であった。

1. 運動負荷によるQRS波高の変化

表1に、VCGおよび電位図によるQRS変動を示す。すべて、負荷前を基準とした負荷後の変化分(Δ)として表してある。VCGに関して、X誘導のR波高変化である ΔRX は、正常群では減少(-11.1 $\pm$ 3.2, $\times 10\mu V$)、狭心症群では増加(7.3 $\pm$ 4.0, $\times 10\mu V$)し、両群において有意差が認められた(P<0.005)。しかし、Y誘導のR波高変化(ΔRY)、Z誘導のR波高変化(ΔRZ)およびZ誘導のQ波高変化(ΔQZ)は、正常群と狭心

図2 正常群および狭心症群におけるR波高変化
正常群と狭心症群で有意差が認められた指標のみを図示した。各グラフの横線は、
平均値を示す。

表2 狭心症診断の Sensitivity と Specificity

	Sensitivity (%)	Specificity (%)
ΔRX	63	86
$\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$	68	79
ΔRV_5	63	86
$\Delta \Sigma R$	74	86

症群との間に有意差はなかった。一方、 $\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$ は、狭心症群 ($12.4 \pm 4.7, \times 10 \mu V$) では、正常群 ($-13.2 \pm 5.9, \times 10 \mu V$) に比較し、有意に大であった ($P < 0.005$)。空間最大QRSベクトルの変動は、狭心症群で増大する傾向があったが、正常群との間に有意差は認められなかった。次に、 V_5 のR波高変化を表す ΔRV_5 のみでも、狭心症群 ($13.1 \pm 8.2, \times 10 \mu V$) では増大し、正常群 ($-19.3 \pm 6.0, \times 10 \mu V$) との間に有意差が認められた ($P < 0.01$)。電位図における ΣR の変化である $\Delta \Sigma R$ は、狭心症群 ($116 \pm 46, \times 10 \mu V$) では、正常群 ($-129 \pm 35, \times 10 \mu V$) に比較し、有意に大

であった ($P < 0.001$)。

以上、正常群と狭心症群との間に有意差をみた指標のみを図2に示した。Open circle が正常例、Closed circle が狭心症例である。いずれの指標も狭心症群で有意に大であるが、有意差は、 $\Delta \Sigma R$ ($P < 0.001$)、 ΔRX および $\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$ ($P < 0.005$)、 ΔRV_5 ($P < 0.01$) の順に認められた。

負荷後のR波高増大を異常反応として、狭心症診断の Sensitivity, Specificity を上述の指標について調べた(表2)。Sensitivity, Specificity とも $\Delta \Sigma R$ が、それぞれ74%, 86%と最も優れていた。 ΔRX と ΔRV_5 は、Sensitivity 63%, Specificity 86%と等しかった。 $\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$ を用いると、 ΔRX のみに比較し、Sensitivity が68%と5%増加するが、Specificity は79%と7%低下した。

2. $\Delta \Sigma R$ と ST 低下

運動負荷後のR波高変化とST低下との関連を追求した。ST低下に関しては、電位図上の全87誘導点における負荷前後のST levelの差(J点より60ms後)のうち、最大なものをmaximal ST

図3 ST低下と $\Delta\Sigma R$ との相関

depressionとして用いた。図3に maximal ST depression と $\Delta\Sigma R$ との相関を示す。Open circle が正常例, Closed circle が狭心症例である。maximal ST depression と $\Delta\Sigma R$ との間には, $r=0.64$ ($P<0.001$) の相関が存在した。従って, ST 低下と $\Delta\Sigma R$ 増大は, 概して一致すると考えられた。しかし, 狭心症例のなかには, ST 低下の程度が軽くとも, $\Delta\Sigma R$ が増大する例が認められた。

図4—Aは, 68歳女性の狭心症例の ΣR 算出に用いた左前胸壁の9つの誘導点における負荷前後の心電図波形を示したものである。負荷前(左側)に比較し, 負荷後(右側)に ST の低下と同時に, 著明な R波の増大 ($\Delta\Sigma R=495\times 10\mu V$) が認められた。

図4—Bは, 51歳男性の狭心症例である。本例は, 典型的な狭心痛を訴えるが, 運動負荷にて ST 低下は有意でなく, R波の増大 ($\Delta\Sigma R=118\times 10\mu V$) と陰性 U波の出現 (G4) をみた例である。冠動脈造影にて左前下行枝の近位部 (Segment 6) に完全

閉塞があり, 左回旋枝および右冠動脈より豊富な側副血行が認められた。

3. $\Delta\Sigma R$ と負荷時心拍数および P R P

負荷中の最大心拍数と $\Delta\Sigma R$ との関係を図5に示す。Open circle が正常例, Closed circle が狭心症例である。正常群と狭心症群とを合わせると, 負荷中最大心拍数と $\Delta\Sigma R$ との間には, $r=-0.37$ ($P<0.05$) の弱い負の相関が存在した。しかし, 狭心症群のみでは, 最大心拍数と $\Delta\Sigma R$ との間には相関がなかった。

狭心症群における $\Delta\Sigma R$ と, 運動負荷量, 負荷中の最大の Pressure-rate product とは相関は認められなかった。

4. $\Delta\Sigma R$ と心臓カテーテル成績

狭心症群のうち, 心臓カテーテル検査 (冠動脈造影, 左室造影) を施行した16例において, 罹患動脈数, EF, 左室壁運動異常 (いずれも安静時) と $\Delta\Sigma R$ との間には相関は認められなかった。

図4 狭心症の負荷前後の心電図変化の2例
A : TS 68歳女 **B** : YH 51歳男
 ΣR算出に用いる9つの誘導点での波形を図示した。左側が負荷前, 右側が負荷後の波形である。

図5 負荷中最大心拍数と $\Delta \Sigma R$ との相関

III. 考 察

我々は、正常群と狭心症群の Treadmill 負荷前後の R 波高変化を電位図および VCG を用い比較し、 ΔRX 、 $\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$ 、 ΔRV_s および $\Delta \Sigma R$ の指標が、狭心症群では正常群に比し、有意に大であることを示した(表1, 図2)。すなわち、負荷後の R 波増大は、狭心症診断に有用との結論に達した。この結果は、Bonoris ら¹⁾、Berman ら²⁾の報告と一致する。一方、Battler ら⁴⁾は、 ΔRX 、 $\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$ 、 ΔRV_s において冠動脈疾患患者と正常者との間に差がなかったと報告している。Battler らの報告では、心筋梗塞の既往のない冠動脈疾患患者群では、負荷時最大心拍数が 117/分と我々の研究の 125/分に比べやや低いこと、さらに我々の狭心症群では、いずれも典型的狭心痛を有し、かつ全例、負荷中に胸痛を来した症例であり、負荷量の違い、あるいは対象の違いがこの差の一因であると思われた。

負荷後 R 波高増大を異常反応と考えると、 $\Delta \Sigma R$

の狭心症診断の Sensitivity は 74%、Specificity は 86% であり、 ΔRV_s あるいは VCG の ΔRX 、 $\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$ に比較し優れていた(表2)。この原因として、R 波高変化の Peak が V_s にあるとは限らないこと、 ΣR 算出は、左前胸部の 9 つの誘導点を用いることにより、各個人間の心臓の位置の違いの影響を少なくすること、さらに電位図は VCG と異なり心筋の局所起電力を反映することなどが考えられた。今後、狭心症診断における負荷後の R 波高変化の臨床的意義に関して、誘導点が多く、心筋局所起電力を反映する電位図を用いての検討が不可欠と思われた。

我々は、体表面上の運動負荷後の ST 低下、maximal ST depression と $\Delta \Sigma R$ とは、 $r = 0.64$ の相関のあることを示した(図3)。従来、ST 低下は狭心症診断における運動負荷試験の心電図変化としてその意義は確立しており¹¹⁾、 $\Delta \Sigma R$ が ST 低下と相関を示したことは、 $\Delta \Sigma R$ も ST 低下と同様に狭心症診断に有用であることを表すもので

ある。図4-Aに $\Delta\Sigma R$ の増大が、ST低下と同時に生じた例を呈示したが、一方、図4-Bに示した症例の如く、有意なST低下はなくとも、負荷後に $\Delta\Sigma R$ の増大をみる例が存在した。図3で、maximal ST depressionが軽度でも、 $\Delta\Sigma R$ の増大がみられる症例も少なからず存在したことは、 $\Delta\Sigma R$ の増大は、ST低下のみでは診断不可能な狭心症例の診断に有用である可能性を示唆した。

Worthuis³⁾は、冠動脈疾患患者の負荷後のR波増高は、負荷中の最大心拍数が低値のうちに負荷を中止することによると推定している。実際、我々も狭心症群と正常群を合わせると、負荷中の最大心拍数と $\Delta\Sigma R$ との間には $r=-0.37$ の弱い負の相関を認めている(図5)。しかし、狭心症群のみでは、最大心拍数と $\Delta\Sigma R$ の間には相関がなく、さらに最大心拍数が150/分を越える症例でも $\Delta\Sigma R$ が著明に増大している症例が存在した(図5)。この事実は、負荷中の最大心拍数が、 $\Delta\Sigma R$ に影響を及ぼすことは否定できないが、最大心拍数以外の因子が $\Delta\Sigma R$ 増大に関与することを示唆するものと思われた。

冠動脈疾患患者の運動負荷時のR波増高の原因としてBonoris¹⁾は、左室機能異常による心臓内血液量増大に基因するBrody効果¹²⁾のためと推定している。冠動脈疾患患者の運動負荷時の心臓内血液量の変化に関しては、Nichols¹³⁾がMulticrystal positron cameraを用いて報告している。心臓内血液量は、負荷時ST低下と狭心痛の生じた群では増大、ST低下なく狭心痛も生じない群では減少を示し、前群では多枝病変、後群では正常冠動脈あるいは一枝病変例が認められたことにより、負荷時の心臓内血液量増大は、左室機能異常により誘発されるものと考察している。

Berman²⁾は、運動耐容能の低いもの、負荷中の最大のPressure-rate productの低いもの、さらに安静時のEFが低値、LVEDPが高値で、左室壁運動異常の程度が強いものに、R波がより増高することより、Bonorisらと同様に、負荷後のR波増高は、左室機能異常に起因するものと結論している。しかし、我々は狭心症群において、 $\Delta\Sigma R$ 増高と安静時左室機能異常との間には関連性を得ることはできなかった。HollandとArnsdorfが、立体角理論の総説¹⁴⁾に述べている如く、QRS波形の大きさを決定する因子は、数多くある。 $\Delta\Sigma R$ 増

大のメカニズムは、Brody効果のみならず、虚血により誘発されると考えられる心室内伝導障害や膜電位の変化などをも含めて、今後詳細に検討する必要があると考えられた。

IV. 結 語

1. 電位図およびVCGを用いて、Treadmill負荷前後のR波高変化を観察した。
2. ΔRX , $\Delta RX + \Delta RY + \Delta QZ$, ΔRV_s および V_s を中心とした左前胸壁の9つの誘導のR波高の和である $\Delta\Sigma R$ が、狭心症群で正常群に比し、有意に大であり、狭心症診断に有用と考えられた。なかでも、 $\Delta\Sigma R$ が狭心症群と正常群とを最もよく分離した。
3. $\Delta\Sigma R$ 増大は、必ずしもST低下とは一致せず、狭心症診断にST以外の情報を与えるものと思われた。
4. 狭心症群における $\Delta\Sigma R$ 増大の原因は、明らかにすることはできなかった。

【文 献】

- 1) Bonoris PE, Greenberg PS, Christison GW, Castellanet MJ, Ellestad MH: Evaluation of R wave amplitude changes versus ST-segment depression in stress testing. *Circulation* 57: 904, 1978
- 2) Berman JL, Wynne J, Cohn PF: Multiple-lead QRS changes with exercise testing. Diagnostic value and hemodynamic implications. *Circulation* 61: 53, 1980
- 3) Worthuis RA, Froelicher VF, Hopkirk A, Fischer JR, Keiser N: Normal electrocardiographic waveform characteristics during exercise testing. *Circulation* 60: 1028, 1979
- 4) Battler A, Froelicher V, Slutsky R, Ashburn W: Relationship of QRS amplitude changes during exercise to left ventricular function and volumes and the diagnosis of coronary artery disease. *Circulation* 60: 1004, 1979
- 5) Barcon DW, Ilsley C, Sheiban I, Poole-Wilson PA, Rickards AF: R wave amplitude during exercise. Relation to left ventricular function and coronary artery disease. *Br Heart J* 44: 512, 1980
- 6) Wagner S, Cohn K, Selzer A: Unreliability of exercise-induced R Wave changes as indexes of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 44: 1241, 1979
- 7) Uhl GS, Hopkirk JAC: Analysis of exercise-

- induced R wave amplitude changes in detection of coronary artery disease in asymptomatic men with left bundle branch block. *Am J Cardiol* 44 : 1247, 1979
- 8) A Reporting System on Patients Evaluated for Coronary Artery Disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association. *Circulation* 51 : 5, 1975
 - 9) Sheffield LT : Graded exercise test (GXT) for ischemic heart disease. A submaximal test to a target heart rate in exercise testing and training of apparently healthy individuals : A handbook for physician. American Heart Association. The Committee on Exercise, 1972, 35
 - 10) Yamada K : Body surface isopotential map. Past, present and future. *Jpn Circ J* 45 : 1, 1981
 - 11) Fortuin NJ, Weiss JL : Exercise stress testing. *Circulation* 56 : 699, 1977
 - 12) Brody DA : A theoretical analysis of intracavitary blood mass influence on the heart-rate relationship. *Circ Res* 4 : 731, 1956
 - 13) Nichols AB, Strauss HW, Moore RH, Guiney TE, Cochavi S, Beller GA, Pohost GM : Acute changes in cardiopulmonary blood volume during upright exercise stress testing in patients with coronary heart disease. *Circulation* 60 : 520, 1979
 - 14) Holland RP, Arnsdorf MF : Solid angle theory and the electrocardiogram. Physiologic and quantitative interpretations. *Prog Cardiovasc Dis* 19 : 431, 1977