

連続波ドップラー法による 立位律動運動時の心拍出量 評価: DDD および VVI ペーシングによる差異につ いて

Evaluation of mainte- nance of cardiac output during DDD and VVI pacing by exercise Dop- pler echocardiography

岩瀬 正嗣
宮口 和彦
青木 敏夫
加藤 和重
波多野 潔
林 博史
横田 充弘*
竹内 純*
棚木 隆志**
村瀬 允也**

Masatsugu IWASE
Kazuhiko MIYAGUCHI
Toshio AOKI
Kazushige KATO
Kiyoshi HATANO
Hiroshi HAYASHI
Mitsuhiro YOKOTA*
Jun TAKEUCHI*
Takashi MASEKI**
Mitsuya MURASE**

Summary

To evaluate the efficacy of DDD pacing for cardiac reserve, we assessed increases in the stroke volume and cardiac output during randomized treadmill exercise in 16 patients by DDD and fixed-rate ventricular (VVI) pacing. The stroke volume index and cardiac index were determined using suprasternal Doppler measurements. Ten patients who showed sinus rhythm during exercise were excluded from this study. Compared with the findings during VVI pacing, those during DDD pacing showed: 1) a greater exercise-induced positive chronotropic response (mean maximum heart rate 122 ± 22 beats/min vs 70 beats/min, $p < 0.01$), 2) a lesser increase in the stroke volume index (34 ± 7 to 39 ± 9 ml/m² vs 31 ± 7 to 49 ± 11 ml/m², $p < 0.05$), 3) a greater increase in the cardiac index (2.43 ± 0.45 to 4.48 ± 1.36 L/min/m² vs 2.22 ± 0.47 to 3.43 ± 0.45 L/min/m², $p < 0.05$), and 4) prolongation of exercise duration (6.35 ± 2.00 min vs 5.97 ± 1.81 min, NS). These findings indicated that VVI pacing promoted a greater stroke volume than DDD pacing, which provides a compensatory increase in contractility and the preload in cases without an increase in heart rate during exercise, however, the increase in cardiac output was insufficient due to the absence of a chronotropic response.

In conclusion, a DDD pacemaker could effectively increase heart rate, causing a significant

名古屋大学医学部附属病院 第一内科

* 同 検査部

** 同 胸部外科

名古屋市昭和区鶴舞町 65 (〒466)

The First Department of Internal Medicine, Depart-
ments of *Clinical Laboratory and **Thoracic Sur-
gery, Tsurumai 65, Syowa-ku, Nagoya 466

Received for publication March 23, 1990; accepted October 13, 1990 (Ref. No. 37-PS118)

increase in cardiac output and extending exercise duration.

Key words

DDD pacing Cardiac output VVI pacing Exercise Doppler Stroke volume

はじめに

生理的ペースングには心房と心室の協調性, および適切な心拍数の維持が必要である¹⁾. DDD ペースメーカーは心房・心室の協調性の維持に広く用いられており, その有用性については多くの報告がなされている. しかし, 従来の研究は安静時の心機能評価に関するものが多く²⁻⁵⁾, 運動時の心機能に及ぼす DDD ペースメーカーの有用性に関する報告は少ない^{6,7)}. 本研究では, 運動時の心拍出量増加に果たす DDD ペースメーカーの有用性を評価するため, 連続波ドップラー法を用い, DDD ペースングと VVI ペースングの安静立位とトレッドミル運動時に上行大動脈血流

を記録し, 一回拍出量, 心拍出量を計測し, 比較検討した.

対象および方法

対象は DDD ペースメーカー植込み患者 16 例, 年齢 36~71 歳, 平均 50 歳である. 基礎心疾患は, 6 例で完全房室ブロック, 10 例は洞不全症候群であった. ペースメーカーの条件設定は 70 拍/分の VVI モードと DDD モードとし, 両条件下において, 修正 Bruce 法⁸⁾による symptom-limited のトレッドミル運動を, 2 時間の間隔をおいて 2 回施行した. 両モードの順序はランダムとし, 患者にはどのペースングモードであるかは知らせなかった.

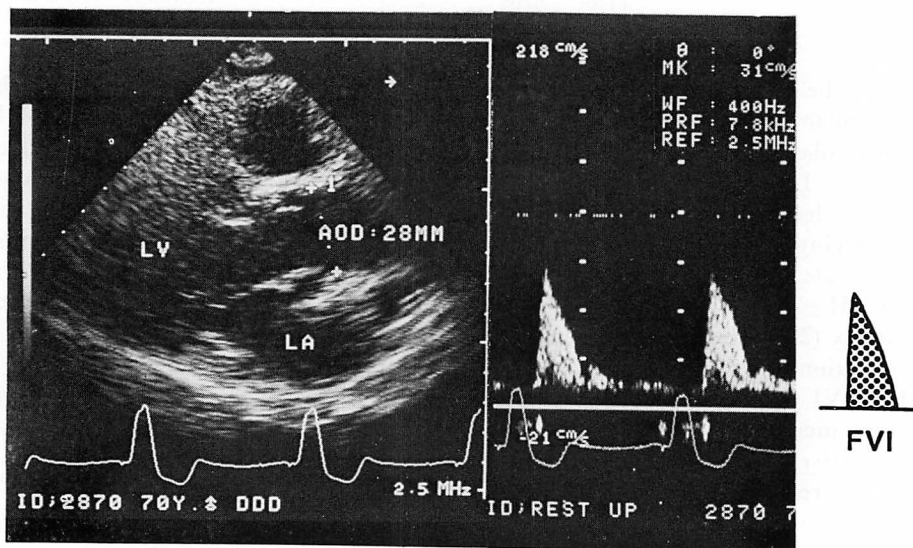


Fig. 1. Measurements of aortic diameter on parasternal two-dimensional echocardiogram and ascending aortic flow by continuous wave Doppler echocardiography.

The cross-sectional area of the aorta is calculated from the internal diameter (AOD) obtained at the level just above the sinus of Valsalva using the formula: cross-sectional area= $\pi(AOD/2)^2$. The darkest area of the flow tracing is integrated to obtain flow velocity integral (FVI), which is shown by the dotted area.

日立 EUB-150 心エコー図装置の 2.5 MHz 連続波ドップラー法専用小型トランスデューサーを用いて、胸骨上窩アプローチにより、上行大動脈血流を安静立位および各ステージごとに記録した (Fig. 1). マイクロコンピューターを内蔵したプラニメーターを使用して、連続する 3 心拍の上行大動脈血流速度波形の時間速度積分 (time velocity integral) の平均値を求めた. 安静時の VVI ペーシング時のみ、先行する心房収縮の有無や心房と心室の収縮間隔の変化による心拍ごとの上行大動脈血流速度波形の変動が大きいので、連続する 10 心拍の平均を用いた⁴⁾. 我々が既に報告^{9,10)}したように、流路断面積は胸骨左縁からの断層心エコー図より、バルサルバ洞直上の上行大動脈径から

円に近似して断面積を計算し、時間速度積分を乗ずることによって一回拍出量を計測し、心拍数を乗じて心拍出量を求めた. さらに、体表面積で除して、一回拍出係数 (SVI), 心係数 (CI) を求めた (Figs. 2, 3).

統計処理は DDD モードと 70 拍/分の VVI モードの運動持続時間、安静立位時および最大運動時の心拍数、一回拍出係数、心係数について、それぞれ paired t-test を用いて検定し、 $p < 0.05$ を有意とした.

結 果

対象 16 例はすべて安静時にペーシングリズムであったが、運動時には 10 例の洞不全症候群患

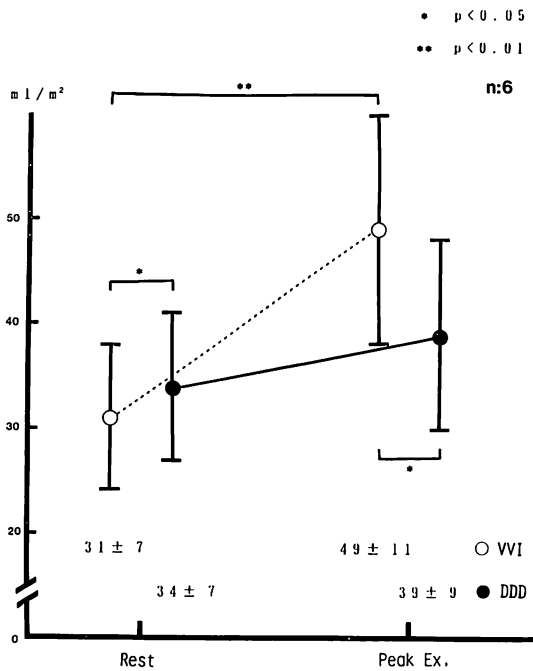


Fig. 2. Changes in the stroke volume index at rest and peak exercise during ventricular-inhibited (VVI) pacing and DDD pacing.

The stroke volume index at rest was significantly larger during DDD mode than that during VVI mode. However, the stroke volume index increased less significantly at peak exercise during DDD mode than that during VVI mode.

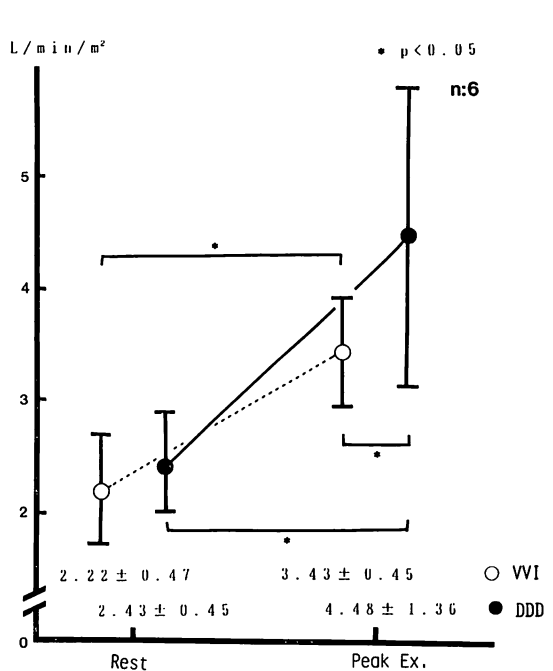


Fig. 3. Changes in the cardiac index at rest and peak exercise during ventricular-inhibited (VVI) pacing and DDD pacing.

The cardiac index at rest was relatively larger during DDD mode than that during VVI mode, but not significantly so. The cardiac index reached a significantly greater value at peak exercise during DDD mode than that during VVI mode.

者で自心拍が出現したため、DDD モードと VVI モードの比較が不可能となり、本研究から除外した。そのため、完全房室ブロック患者 6 例(年齢 41~71 歳, 平均 60 歳)について検討した。対象とした 6 例のうち, 4 例ではペースメーカーの条件設定は最初 VVI モードであり, 残り 2 例では最初 DDD モードであった。全例において, 安静立位時から最大運動時まで連続波ドップラー法による上行大動脈血流の記録が可能であった。

運動持続時間は VVI モードの平均 5.97 ± 1.81 分に対し DDD モードでは 6.35 ± 2.00 分と長かったが, その差は有意ではなかった。運動終了は全例とも下肢疲労ないし息切れであり, 狭心症の発作を認めた症例はなかった。心拍数は VVI モードでは安静時, 最大運動時とも 70 拍/分の心室ペーシングリズムであった。DDD モードでは安静時心拍数は平均 72 ± 3 拍/分, 最大運動時には 122 ± 21 拍/分の心房センシング・心室ペーシングリズムであった。最大運動時の心拍数は DDD モードで有意に大であった ($p < 0.01$)。

一回拍出係数は安静時 VVI モードより DDD モードが有意に大であったが (31 ± 7 vs 34 ± 7 ml/m², $p < 0.05$), 最大運動時には VVI モードの方が DDD モードに比し有意に大となった (49 ± 11 vs 39 ± 9 ml/m², $p < 0.05$, Fig. 2)。

心係数は安静時 VVI モードより DDD モードが大であったが, その差は有意ではなかった (2.22 ± 0.47 vs 2.43 ± 0.45 L/min/m²)。最大運動時の心係数は DDD モードでは心拍数が 122 拍/分と増加したため, 有意に大となった (3.43 ± 0.45 vs 4.48 ± 1.36 L/min/m², $p < 0.05$, Fig. 3)。

考 按

安静時の一回拍出量は DDD モードの方が VVI モードより大であり, これは心房・心室の協調性によると考えられた¹¹⁾。実際, 安静時の VVI ペーシング時には, 先行する心房収縮の有無や心房と心室の収縮間隔の変化による心拍ごとの上行大動脈血流速波形の変動が大きく, 心房収

縮の寄与が大であることを推測させた⁹⁾。しかし, 運動時には体動が大きくなるため連続波ドップラー法でも 3 心拍以上連続して記録することが難しくなり, VVI ペーシングでの心拍ごとの上行大動脈血流速波形変動の有無を評価することは困難となった。一方, 最大運動時の一回拍出量は VVI モードが DDD モードに比し有意に大となった。この結果は運動時に心拍数増加のない場合には, 前負荷と左室の収縮力増大により, ある程度代償的に心拍出量を増加させていることを示唆した¹²⁾。しかし, 最大運動時の心拍出量は, VVI モードでは DDD モードに比し有意に小さく, この代償作用は不十分と考えられた。本研究ではペースメーカーの設定を DDD モードと 70 拍/分の VVI モードとしたため, 最大運動時の心拍出量増大の主因が心拍数増加によるものか, あるいは心房・心室の協調性によるものかを厳密に決定することは不可能である。しかし, マニュアルで DDD モードと同一の心拍数に設定して VVI ペーシングを行なうことができた 1 例では, 同一ステージでの DDD ペーシングと VVI ペーシングでの一回拍出量に明らかな違いを認めず, 運動時の心拍出量増加の主因が心拍数増加によるものであることを推定させた (Fig. 4 下段)。Ausubel らの RI 法を用いて運動時の心拍出量を評価した研究¹²⁾では, 同一心拍数であれば VVI ペーシングと AAI ペーシングの間に有意な差は認められていない。それゆえ, 彼らは運動時の心拍出量増加の主因は心拍数増加と心収縮力増大によるものであり, 心房収縮の寄与は小さいと報告している。

一方, こうした短時間の間隔での DDD ペーシングと VVI ペーシングの比較では, ペースメーカー患者の長期的な心機能の違いをみるには不適切であるという可能性も考えられる。しかし, Kruse ら⁶⁾は 3 ヶ月間隔を置いて 2 回心臓カテテル検査を行ない, 生理的ペーシングと VVI ペーシング時の心拍出量の違いをみているが, 生理的ペーシングでは 3 ヶ月間隔でも 2 時間間隔で

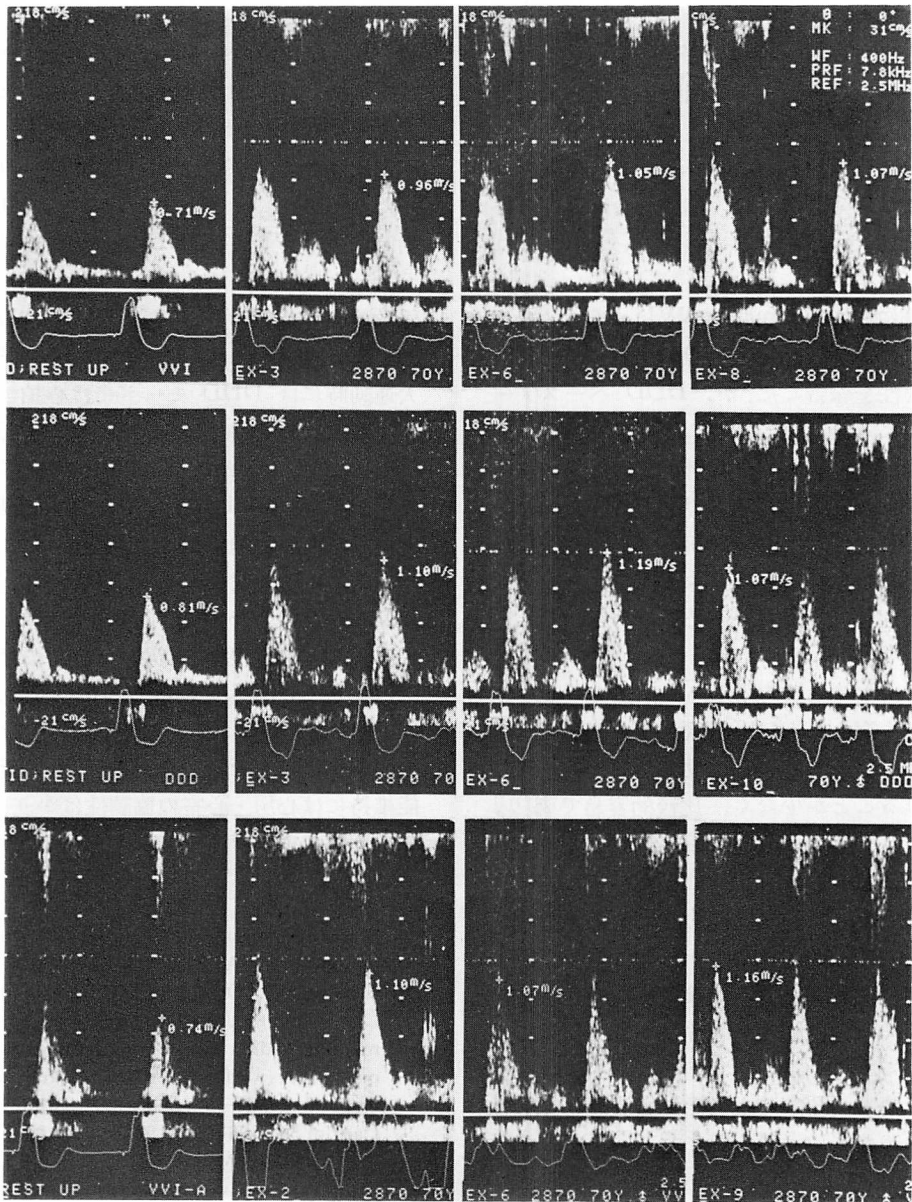


Fig. 4. CW Doppler tracings of the ascending aortic flow during treadmill exercise in a 70-year-old patient during ventricular demand (VVI) (top), DDD (middle) and manually-adapted rate-responsive ventricular (VVI-A) pacing (bottom).

At rest the size of the ascending aortic flow velocity integral was larger during DDD pacing than that during VVI pacing. In contrast, during VVI pacing, the increase in the ascending aortic flow velocity integral was larger than that during DDD pacing throughout treadmill exercise. However, cardiac output was larger during DDD pacing than that during VVI pacing with the maintenance of chronotropic response (HR: 126 beats/min vs 70 beats/min). During manually-adapted rate-responsive ventricular (VVI-A) pacing, the degree of the ascending aortic flow velocity integral was quite similar to that of DDD pacing. Therefore, cardiac output was nearly the same as that of DDD pacing.

も, VVI ペーシング時に対する改善度に違いはなかったとしている. 一方, VVI ペーシングでは2時間間隔よりも, 3ヵ月間隔の方が心拍出量の低下がより顕著であったとしている. それゆえ, 2時間の間隔をおいてトレッドミル運動を2回施行した本研究の方法は, 臨床的な有用性を評価する上に大きな問題にはならないと考えられる.

我々は既に, 体動感知型の VVI ペースメーカーを用いて運動時の心拍出量増加における心拍数増加の重要性を報告した⁹⁾が, DDD ペースメーカーを用いた本研究も, このことを裏付けるものと考えられる. もっとも, 本研究では対象が6例と少ないため, 運動持続時間は DDD モードが VVI モードに比し延長する傾向を認めたものの, 有意差は認められなかった. 今後, これらの点はさらに症例を増して検討する必要があると考えられる.

連続波ドップラー法専用トランスデューサーを用いて胸骨上窩より上行大動脈血流を記録することは, 縦隔を通して超音波を投入するため, 肺の影響を受けることが少なく, 比較的容易であり, 一回拍出量, 心拍出量測定に最も優れた方法と考えられる^{13,14)}. さらに, 本法は従来の心エコー図法では困難であった最も生理的な律動運動と考えられるトレッドミル運動時の一回拍出量, 心拍出量測定を容易にし, 健常人の運動応答の評価^{15,16)}ばかりでなく, 冠動脈疾患患者の評価法として広く用いられてきている^{17,18)}. さらに, 本法はペースメーカー患者の運動時心機能評価法としても有用と考えられた¹⁰⁾.

要 約

連続波ドップラー法を用い, DDD ペースメーカーの心予備能に与える有用性について VVI ペーシングと比較検討した. DDD ペースメーカー植込み患者 16 例, 平均年齢 50 歳を対象とし, DDD モードと 70 拍/分の VVI モードでトレッドミル運動を 2 回施行し, 連続波ドップラー法専用

トランスデューサーを用いて上行大動脈血流を記録し, 一回拍出係数, 心係数を計測した. 10 例では運動時に自心拍が出現したため本研究から除外し, 残り 6 例 (平均 60 歳) で検討した. 安静時一回拍出係数は VVI より DDD モードが大であったが (31 ± 7 vs 34 ± 7 ml/m², $p < 0.05$), 最大運動時には VVI が DDD モードに比し有意に大となった (49 ± 11 vs 39 ± 9 ml/m², $p < 0.05$). 心係数は安静時 VVI より DDD モードが大であり (2.22 ± 0.47 vs 2.43 ± 0.45 L/min/m², NS), 最大運動時には DDD モードでは心拍数 122 拍/分と増加したため有意に大となり (3.43 ± 0.45 vs 4.48 ± 1.36 L/min/m², $p < 0.05$), 運動持続時間を延長した (5.97 ± 1.81 分 vs 6.35 ± 2.00 , NS). 最大運動時の一回拍出量は VVI モードでは DDD モードに比し有意に大きく, 運動時に心拍数増加がみられない場合には, 前負荷と左室の収縮力増大により, ある程度代償していることが推察された. しかし, 最大運動時の心拍出量は, VVI モードでは, DDD モードに比し有意に小さく, この代償作用は不十分と考えられた. 運動時の心機能維持には心房・心室の協調性ばかりでなく, 心拍数増加も重要であると考えられた.

文 献

- 1) Sutton R, Perrins J, Citron P: Physiological cardiac pacing. *PACE* 3: 207-219, 1980
- 2) Stewart WJ, Dicola VC, Harthorne JW, Gillam LD, Weyman AE: Doppler ultrasound measurement of cardiac output in patients with physiologic pacemakers: Effects of left ventricular function and retrograde ventriculoatrial conduction. *Am J Cardiol* 54: 308-312, 1984
- 3) Labovitz AJ, Williams GA, Redd RM, Kennedy HL: Noninvasive assessment of pacemaker hemodynamics by Doppler echocardiography: Importance of left atrial size. *J Am Coll Cardiol* 6: 196-200, 1985
- 4) Iwase M, Sotobata I, Yokota M, Takagi S, Jing HX, Kawai N, Hayashi H, Murase M: Evaluation by pulsed Doppler echocardiography of the atrial contribution to left ventricular filling in patients with DDD pacemakers. *Am J Cardiol* 58: 104-109, 1986

- 5) Janosik DL, Pearson AC, Buckingham TA, Labovitz AJ, Redd RM, Mrosek D: The hemodynamic benefit of differential atrioventricular delay intervals for sensed and paced atrial events during physiologic pacing. *J Am Coll Cardiol* **14**: 499-507, 1989
- 6) Kruse I, Arnman K, Conradson TB, Ryden L: A comparison of the acute and long-term hemodynamic effects of ventricular inhibited and atrial synchronous ventricular inhibited pacing. *Circulation* **65**: 846-855, 1982
- 7) Fananapazir L, Srinivas V, Bennett DH: Comparison of resting hemodynamic indices and exercise performance during atrial synchronized and asynchronous ventricular pacing. *PACE* **6**: 202-209, 1983
- 8) Sotobata I, Shino T, Kondo T, Tsuzuki J: Work intensities of different modes of exercise testings in clinical use. *Jpn Circ J* **43**: 161-166, 1979
- 9) Maeda M, Yokota M, Iwase M, Miyahara T, Hayashi H, Sotobata I: Accuracy of cardiac output measured by continuous wave Doppler echocardiography during dynamic exercise testing in the supine position in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* **13**: 76-83, 1989
- 10) Iwase M, Hatano K, Saito F, Kato K, Maeda M, Miyaguchi K, Aoki T, Yokota M, Hayashi H, Saito H, Murase M: Evaluation by exercise Doppler echocardiography of maintenance of cardiac output during ventricular pacing with or without chronotropic response. *Am J Cardiol* **63**: 934-938, 1989
- 11) Samet P, Bernstein WH, Levine S: Significance of the atrial contribution to ventricular filling. *Am J Cardiol* **16**: 195-200, 1965
- 12) Ausubel K, Steingart RM, Shimshi M, Klementowicz P, Furman S: Maintenance of exercise stroke volume during ventricular versus atrial synchronous pacing: Role of contractility. *Circulation* **72**: 1037-1043, 1985
- 13) Huntsman LL, Stewart DK, Barnes SR, Franklin SB, Colocousis JS, Hessel EA: Noninvasive Doppler determination of cardiac output in man: Clinical validation. *Circulation* **67**: 593-602, 1983
- 14) Ihlen H, Endresen K, Myreng Y, Myhre E: Reproducibility of cardiac stroke volume estimated by Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* **59**: 975-978, 1987
- 15) Daley PJ, Sagar KB, Wann LS: Doppler echocardiographic measurement of flow velocity in the ascending aorta during supine and upright exercise. *Br Heart J* **54**: 562-567, 1985
- 16) Christie J, Sheldahl LM, Tristani FE, Sagar KB, Ptacin MJ, Wann S: Determination of stroke volume and cardiac output during exercise: Comparison of two-dimensional and Doppler echocardiography, Fick oximetry, and thermodilution. *Circulation* **76**: 539-547, 1987
- 17) Harrison MR, Smith MD, Friedman BJ, DeMaria AN: Uses and limitations of exercise Doppler echocardiography in the diagnosis of ischemic heart disease. *J Am Coll Cardiol* **10**: 809-817, 1987
- 18) Maeda M, Iwase M, Yokota M, Hatano K, Saito F, Kato K, Hayashi H, Sotobata I: Continuous-wave Doppler echocardiographic evaluation of patients with coronary artery disease. *Am J Noninvas Cardiol* **3**: 10-17, 1989