

《原 著》

携帯用 RI 心機能モニター (VEST) による心機能評価

—(第 1 報) 基礎検討—

玉木 長良* H. William STRAUSS**

要旨 携帯用 RI 心機能モニター (VEST) は RI 検出器付きジャケットで、検出器を左室領域に固定することにより、種々の環境下で心機能の長時間モニターが可能である。本装置を 51 例に応用し、基礎的検討を行った。まず安静坐位での 15 秒平均の左室駆出率 (EF) は変動が少なく (標準偏差で 1.1-3.5%), 異なる検者間での再現性も高かった ($r=0.94$)。またガンマカメラより算出された EF との間に安静時 $r=0.92$, エルゴメータによる多段階運動負荷時 $r=0.86$ と高い相関が得られた。一方左室拡張末期容積 (%EDV) の変化を坐位から臥位および臥位+下肢挙上にて検討すると、ガンマカメラによる %EDV との間に $r=0.81$ と有意な相関が得られた。VEST は高感度の RI プローブを用いるため、15 秒平均でも変動の少ない左室機能の評価が可能である。また得られた EF, %EDV はガンマカメラの値とよく一致し、十分信頼性が高いと考えられた。

I. はじめに

心プールのスクリーンは各種心疾患における心機能評価を非侵襲的に行える方法として、広く利用されている。とりわけ本法は反復検査に適しているため、運動負荷や薬剤負荷による各種心予備能の評価に有用である。しかしながら撮像にはガンマカメラが必要なため、その検査はガンマカメラ下に限られ、かつ負荷にも制限が付きまっていた。

そこでガンマカメラの代りに超小型 RI 検出器を左室領域に固定し、被験者が自由に動ける状態で左心機能を連続的に記録できる携帯型装置を考案した。この装置は RI 検出器の付いたプラスチック樹脂製ジャケットからなり、一見ベストのようなので“VEST”とも呼ばれている^{1,2)}。本装置は従来の心プールのスクリーンに比べて、日常生活な

どの幅広い環境下で心機能を連続的にモニターできる利点がある。

今回はこの VEST の機器の紹介とともに、基礎的検討を加えたので報告する。

II. 装 置

VEST は NaI よりなる主 RI 検出器と Cadmium Telluride (CdTe) よりなるバックグラウンド用 RI 検出器の付いたジャケット、バッテリー、電圧器およびホルター型カセットレコーダよりなる (Fig. 1)。RI 検出器には平行型コリメータが装着されており、装置全体の重量は約 3 kg である。レコーダには 2 つの RI 検出器からのカウント、心電図がおのおの 7.8 ミリ秒ごとに収録される。また同時に時間情報も入力され、付属のプッシュボタンより種々のイベントの正確な時間が記録される。

III. 方 法

検査の対象としたのは健康人 12 例、虚血性心疾患 39 例の計 51 例である。

被験者に赤血球標識のための還元剤として、スズピロリン酸 10 mg を静脈内投与した。約 20 分後

* 京都大学医学部放射線核医学科

** Nuclear Medicine Division, Massachusetts General Hospital

受付: 61 年 12 月 23 日

最終稿受付: 61 年 12 月 23 日

別刷請求先: 京都市左京区聖護院川原町 54 (☎ 606)

京都大学医学部附属病院放射線核医学科

玉 木 長 良

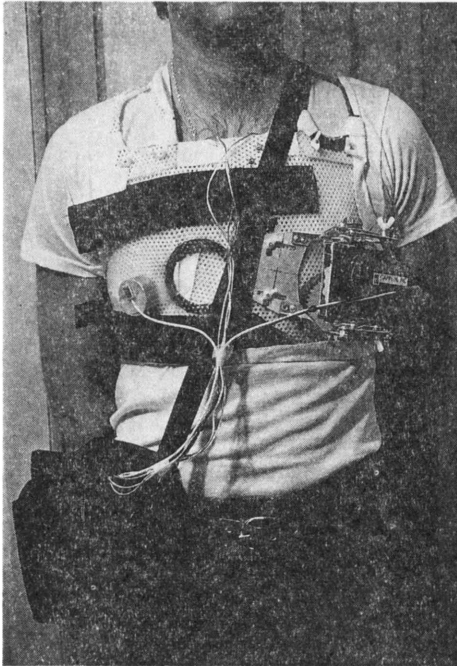


Fig. 1 A normal volunteer wearing the VEST. The main detector is located on the left ventricular region and the background detector located on the right lung region. All the nuclear data and ECG data are continuously recorded in the portable Holter recording system.

にあらかじめ $^{99m}\text{TcO}_4$ の 25-30 mCi 入ったヘパリン加注射器に血液 5 ml をとった。10分間 37°C にて incubate した後、5 ml の生理食塩水を加えて遠沈した。プラズマを除去し、 ^{99m}Tc 標識洗浄赤血球として被験者に再投与した。なお一部の症例には簡便法として、採血された注射器内で ^{99m}Tc 標識を行う modified in-vivo 法を用いた³⁾。これらの標識法により長時間安定した標識が得られた。

^{99m}Tc 標識赤血球投与10分後、通常の3方向の心プールスキャンを施行した。最後に坐位の左前斜位にて5分間の心プールスキャンを行った。その後被験者に VEST 装着し、心電図は CM5 の誘導をとり、RI 検出器は左室領域に、バックグラウンド検出器は右中肺野に照準した。VEST 装着後立位または坐位で左前斜位よりガンマカメラを用いて20秒間の静止画像をとり、VEST 検出器の影が左室領域に重なるよう検出器の位置を移動させた。最適な位置がとれるまで上記の操作を繰り返す。最後に VEST 検出器の位置を固定した²⁾。

検出器の固定が終わると被験者を安静坐位とし、VEST 装置を作動させてその正確な時間を記録した。被験者は最低10分間安静坐位を保たせ、この

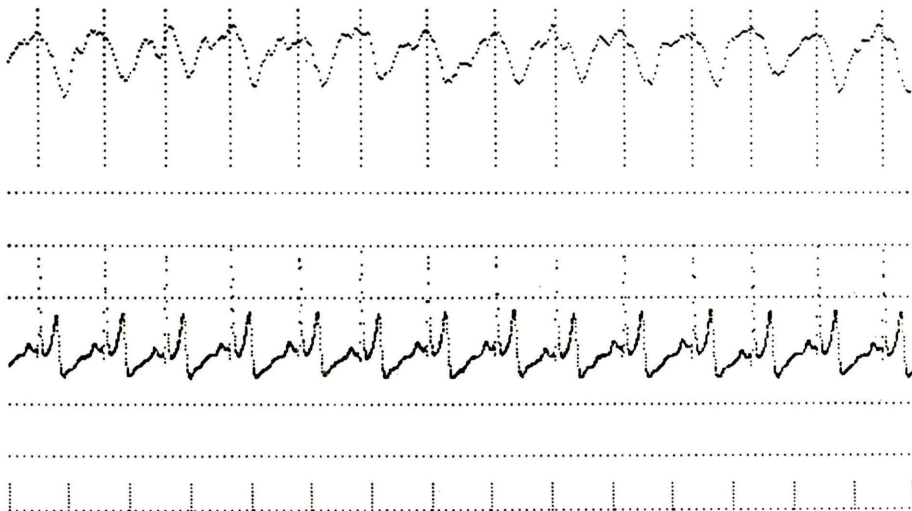


Fig. 2 Beat-by-beat left ventricular volume curve (top) and ECG (middle) obtained from the VEST. Each marker at the bottom represents one second.

時点での記録をベースラインとした。次いで被験者に起立、歩行、食事などの種々の行動をもらい、そのたびにイベント用プッシュボタンを押しておのおの行動の開始、終了の時点記録装置に入力した。数時間 (最大 6 時間) の記録の後、最後に被験者を VEST 装着のままガンカメラの前に立たせ、初回と同様左前斜位にて 20 秒間の静止画像を撮像した。初回時と終了時の画像を比較することにより、収集中に RI 検出器の位置のずれのなかったことを確認した。

データ解析には PDP11/73 を用いた。まず収集されたカセットテープをコンピュータに読み込んだ。次に RI 情報と心電図情報とに分け、RI 情報には R 波のトリガーをつけた (Fig. 2)。RI の 30 ミリ秒ごとの平均カウントを記録期間全体にわたり表示し、収集中に検出器の位置のずれによると思われる、大きく急激なカウントの変化の有無を確認した。次に 15 秒ごとの平均 RI 左室容量曲線と平均心電図を作成した (Fig. 3)。今回の検討ではバックグラウンドは左室拡張末期カウントの 70% と

FUNCTION			PERIOD		
HR:	60 +/-	1.3 BPM	R R :	993 +/-	22 ms
EF:	52 +/-	3.4 %	Eject :	383	ms
CO:	31 +/-	2.2 EDV/M	F Fill:	234	ms
EDV:	97	%	Fill :	597	ms
ESU:	47	%			
FFF:	73	%			
TIME (from R)			RATE		
ED :	5	ms	F Eject:	2.06	EDV/s
P Eject:	243	ms	F Fill:	2.28	EDV/s
ES :	396	ms	Av Eject:	1.32	EDV/s
P Fill:	532	ms	Av F F :	1.62	EDV/s
			Av S F :	0.28	EDV/s
Background: 70 %			5 Point Filtering		

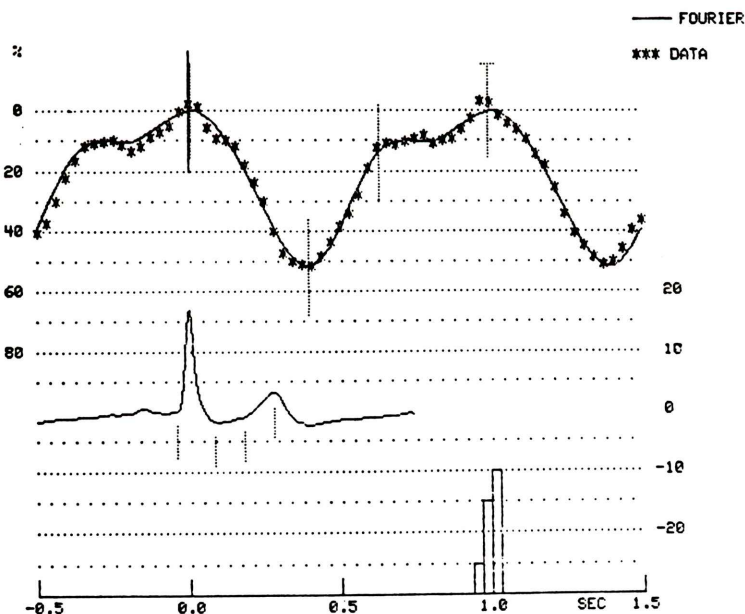


Fig. 3 A 15 second averaged left ventricular volume curve with the fitted curve at the middle, the averaged ECG and R-R interval histogram at the bottom. Various parameters are calculated from the fitted curve (top).

して一律に計算した。得られた左室容量曲線にフーリエ3次項の曲線近似を行い、近似曲線より左室駆出率 (EF), 相対的拡張末期容量 (%EDV), 収縮末期容量 (%ESV), 心拍出量 (%CO), 最大駆出速度 (PER), 最大拡張速度 (PFR), 心拍数 (HR) 等を算出した (Fig. 3)。なお %EDV, %ESV はデータ収集開始時の拡張末期の左室カウントを100%とし、物理的半減期を補正して表示した。%COは %EDV と %ESV の差に HR を乗じて求めた。

今回の検討では VEST より得られた EF と %EDV の信頼性を評価した。(1) まず VEST により算出された15秒平均の EF の信頼性の検討のため、51例全例に安静坐位での EF の変動を2分間 (15秒×8回) の標準偏差として算出した。(2) 次に VEST の位置決めによる EF の変動を検討するため、11例に二人の検者が別々に VEST の位置決めを行い、得られた安静坐位での EF の値を比較した。(3) 安静坐位での EF の信頼性を検討するため、51例にガンマカメラで求められた5

分間の安静坐位 EF と対比した。(4) また運動負荷時の EF の信頼性の評価には、健常人10例に坐位自転車エルゴメータによる多段階運動負荷を二度同じ負荷量で行い、一方はガンマカメラ、他方は VEST により各段階での EF を求め、両者の値を対比した。(5) 最後に %EDV の信頼性の検討のため、健常人8例に VEST 装着時に坐位から臥位、さらに臥位で下肢挙上を行い %EDV の変化を求めた。同様の行為をガンマカメラ下でも行い、%EDV の変化をカウントの変化として求め、VEST の %EDV と対比した。

IV. 結 果

安静坐位での15秒ごとに算出された EF の2分間での変動は、標準偏差 1.1% から 3.5% であり、大半は3%以内に収まり、比較的変動の少ないことが示された。また二回の位置決めによる安静坐位での EF の値は $r=0.94$ ($n=11$) と高い相関があり (Fig. 4), EF は再現性が高いことが示された。

次に安静時および運動負荷時の VEST より算

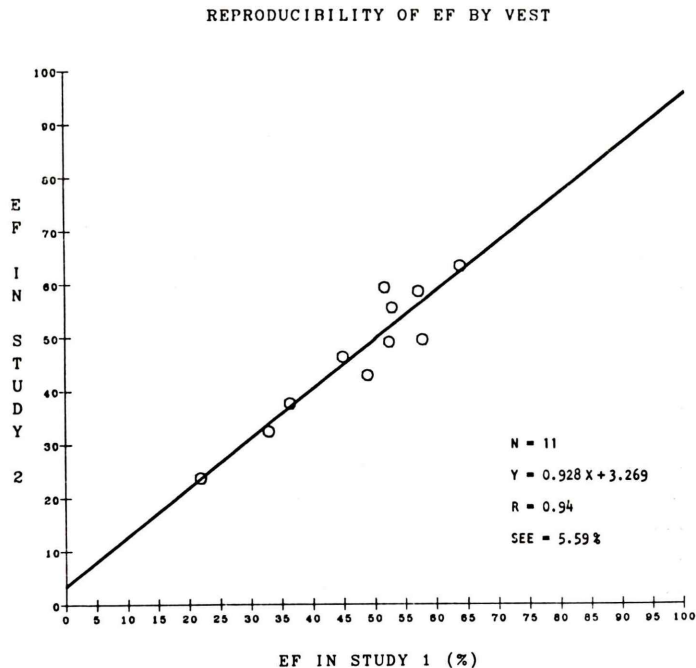


Fig. 4 Reproducibility of the resting ejection fraction (EF) by the VEST positioned twice by two different operators.

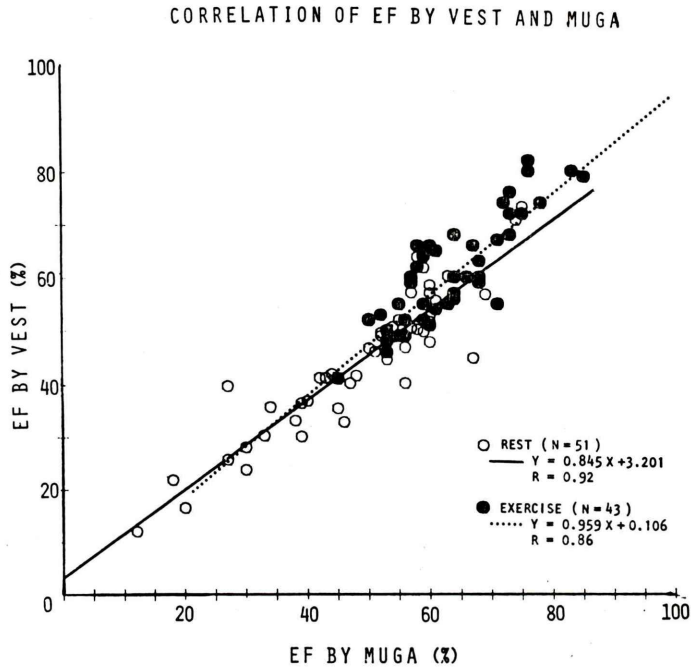


Fig. 5 Correlation of EF by the VEST and the gamma camera at rest (open circles) and during each step of exercise (closed circles).

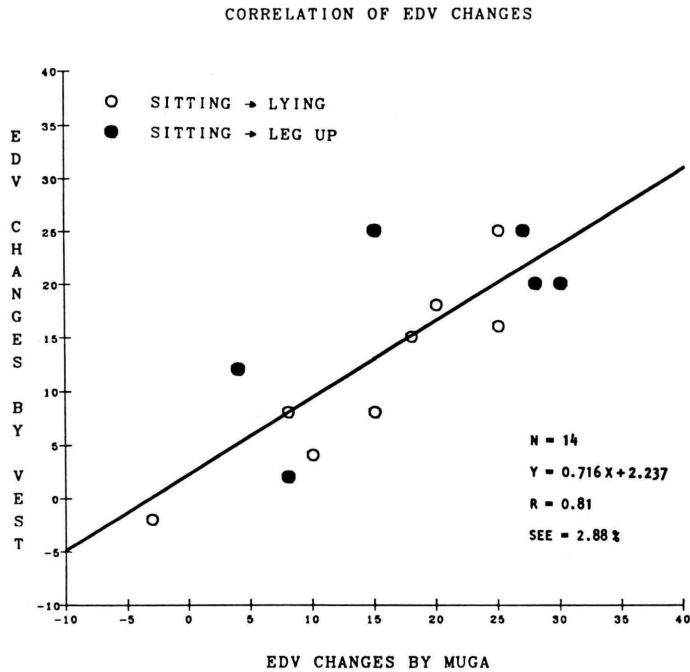


Fig. 6 Correlation of relative end-diastolic volume (%EDV) changes by the VEST and the gamma camera.

出された EF とガンマカメラ EF と対比した (Fig. 5). 安静時 EF は VEST で 12% から 73%, ガンマカメラでは 12% から 75% の範囲をとり, 両者には $r=0.92$ ($n=51$), 回帰曲線は $y=0.85x+3.20$ となった. すなわち EF の高いところで VEST はわずかに EF を過少評価する傾向にあるものの, 両者は高い相関を示した. 運動負荷時の EF は VEST で 41% から 80%, ガンマカメラで 45% から 85% と範囲がやや狭いものの, 両者には $r=0.86$ ($n=43$) と高い相関が認められた. 以上より VEST により得られる EF は, 安静坐位および運動負荷時ともにガンマカメラで得られる EF とよく一致していることが示された.

最後に坐位から臥位および臥位+下肢挙上による %EDV 増加について VEST で得られた値とガンマカメラの値と対比した (Fig. 6). 両者は必ずしも一致しなかったが, その間には $r=0.81$ ($n=14$) と比較的高い相関が得られ, 左室容量の変化をほぼ忠実に反映しているものと考えられた.

V. 考 案

携帯用の RI 検出器を左室領域に取付け, 被験者を RI 施設に限らず種々の環境下で心機能をモニターしようとする試みは, 1979 年の Strauss, Lazewatsky ら¹⁾ の報告にさかのぼる. その後, 機器の改良とともに寒冷刺激⁴⁾, 精神的ストレス負荷⁴⁾, テレビゲーム²⁾, 食事摂取⁵⁾, トイレでの排尿行為⁵⁾ など種々の日常行為での心機能評価が試みられるようになった. 一方では虚血性心疾患での長時間心機能モニター⁶⁾, 重症患者のモニター⁷⁾ や種々の薬剤の効果判定にも用いられる可能性も考えられ, 将来性が高い. この VEST より得られるデータの信頼性を評価する上で, 今回の基礎的検討はきわめて重要といえる.

VEST により算出される 15 秒の平均 EF は変動が少なく, 再現性も高いことが示された. 本装置はガンマカメラと異なり, 画像を作成しない RI プローブを用いているため, 高い感度が得られる. したがって短時間収集も統計変動の少ないデータが得られ, Fig. 2 に示した一心拍ごとの左室容量

曲線でも十分評価の対象となりうる. コンピュータでは得られたカウント数や評価の対象にあわせて, 平均何心拍 (または何秒) ごとに左室容量曲線の評価を行うかを選択できる. 一方 VEST 検出器の位置決めにはガンマカメラを用いているため比較的正確に行え, 異なる検者により得られた EF の値もよく一致し, 高い再現性が得られた.

また VEST の EF はガンマカメラの EF と高い相関が得られた. 一般に EF の絶対値の精度には, 左室の関心領域とバックグラウンドの設定が大きく関与する^{8,9)}. 著者らは初期の経験から, EF の算出の際のバックグラウンドには左室拡張末期のカウントの一定の割合 (この場合は 70%) を用いるとガンマカメラの EF とよく一致するため, 今回の検討でもこの値を用いた. ただし, 種々の負荷によりバックグラウンドの値が変化する場合には, 実際のカウントを採用する方が望ましい. バックグラウンドの値の変化は左室のカウントにも影響を及ぼし¹⁰⁾, 著者らの方法でもある程度の評価は可能のはずである. この VEST 装置では二つの RI 検出器の材質が異なるため, 吸収体が異なる際に両検出器のカウント比も異なる値をとることがあり, バックグラウンド検出器を用いる際の問題となった. 今後最適なバックグラウンド設定のための詳細な検討が必要と思われる.

他方左室の関心領域の設定にも VEST は問題を残している. VEST 検出器の有効視野は約 4.5 cm 直径で, その外側は極端に感度が低下する. したがって左室拡大が著明な場合, 左室の辺縁のカウントを過少評価してしまう. この場合 VEST コリメータ辺縁におかれた鉛の径を変化させることにより, 左室拡大の症例に対処することは可能である²⁾. 左室容量曲線も関心領域を固定して算出される (fixed ROI 法). したがって EF が高値をとる場合, 関心領域を可変させて算出する (variable ROI 法) ガンマカメラの EF に比べて過少評価される傾向がある⁸⁾. 今回の検討でも VEST の EF はガンマカメラ EF と高い相関はあるものの, 高い EF の領域で EF の過少評価の傾向が認められた.

%EDV の変化もガンマカメラの変化と比較的によく一致していた。これは左室容量が変化した場合、XY 方向だけでなく Z 方向にも形は変化するため、VEST のように関心領域が固定されていても、カウントの変化としてとらえられるためであろう。ただガンマカメラの変化に比べて VEST での変化がやや小さい傾向が認められたのは、やはり関心領域固定による影響と考えられた。

関心領域を固定してモニターする場合の最大の難点は検査中の検出器の位置のずれの可能性である。この問題の対処として、必ず VEST の位置決めの像を検査の最初と最後に撮像対比し、位置のずれのないことを確認することが大切である。またデータ処理の時に、平均カウントを記録時間全体にわたり表示させ、検出器のずれを示唆する急激なカウントの変化のないことを二重に確認した。画像を作らない RI プローブ検査の場合、このようなデータのチェックはきわめて重要と考えられる。

VI. まとめ

携帯用 RI 検出器 (VEST) は種々の環境下で心機能の長時間モニターが可能である。本装置より得られる指標の信頼性につき検討した。VEST より得られた15秒ごとの EF は、変動が少なく再現性が高く、かつガンマカメラより算出された EF とは安静時、運動負荷時とも高い相関が得られた。また左室拡張末期容積の変化もガンマカメラと同様に追従することが可能であった。したがって VEST より得られる EF および左室容量の変化はガンマカメラと同様信頼性が高いと考えられた。今後本装置を用いての幅広い臨床応用が期待される。

文 献

- 1) Strauss HW, Lazewatsky J, Moore RH, et al: The VEST: a device for the continuous monitoring of cardiac function in ambulatory patients. *Circulation* **59** : II-246, 1979 (abstr)
- 2) Wilson RA, Sullivan PJ, Moore RH, et al: An ambulatory ventricular function monitor: validation and preliminary results. *Am J Cardiol* **52** : 601-606, 1983
- 3) Callahan RJ, Froelich JW, McKusick KA, et al: A modified method for the in-vivo labeling of red blood cells with Tc-99m. *J Nucl Med* **23** : 315-318, 1982
- 4) Kiess MC, Moore RH, Dimsdale J, et al: Changes in ventricular function during emotional stress and cold exposure. *J Nucl Med* **25** : P4, 1984 (abstr)
- 5) Tamaki N, Yasuda T, Moore RH, et al: Cardiac response to various activities in normal subjects by an ambulatory ventricular function monitor (VEST). *J Nucl Med* **27** : 911, 1986 (abstr)
- 6) Tamaki N, Yasuda T, Moore RH, et al: Continuous measurement of left ventricular function by an ambulatory monitor in patients with coronary artery disease. *J Nucl Med* **27** : 911, 1986 (abstr)
- 7) Tamaki N, Yasuda T, Moore RH, et al: Ambulatory monitoring of left ventricular function in patients with severe coronary artery disease. *Circulation* **74** : II-479, 1986 (abstr)
- 8) Slutsky R, Pfisterer M, Verba J, et al: Influence of different background and left ventricular assignments on the ejection fraction in equilibrium radionuclide angiography. *Radiology* **135**: 725-730, 1980
- 9) 西村恒彦, 香川雅昭, 今井行雄, 他: 心 RI アンギオグラフィによる左室駆出率 (EF) の精度に関する検討 (II)——MUGA 法について——. *核医学* **17**: 269-275, 1980
- 10) Gandsman EJ, Sulman RS, Bough EW: calculation of the left ventricular ejection fraction by gated radionuclide angiography without direct background correction. *Radiology* **144** : 378-381, 1982

Summary

Assessment of Cardiac Function by an Ambulatory Ventricular Function Monitor (VEST)

—(1) Validation—

Nagara TAMAKI* and H. William STRAUSS**

**Department of Radiology and Nuclear Medicine, Kyoto University School of Medicine*

***Nuclear Medicine Division, Massachusetts General Hospital*

An ambulatory ventricular function monitor (VEST) consists of two miniature type radionuclide probes attached to the plastic jacket, battery, data logger and a portable recorder. This instrument permits continuous measurement of left ventricular time activity curves and ECG in ambulatory subjects. To validate the measurement of left ventricular function with the VEST, 51 subjects were studied with sequential gamma camera and VEST measurements.

The variability of the 15 second averaged ejection fraction (EF) over 2 minutes while sitting quietly was 1.1–3.5% (1 sd). The reproducibility of resting EF with positioning by two different

observers was excellent ($r=0.94$). The EF was correlated with the gamma camera EF both at rest ($r=0.92$) and during each step of bicycle exercise ($r=0.86$). Furthermore, relative end diastolic volume (% EDV) changes from sitting to lying or lying+leg raising correlated with %EDV changes by the gamma camera ($r=0.81$).

We conclude that the VEST permits assessment of left ventricular function as accurately as the gamma camera in ambulatory subjects.

Key words: Radionuclide ventriculography, Tc-99m red blood cells, Ejection fraction, Ambulatory monitor.