

《原 著》

携帯用 RI 心機能モニター (VEST) の基礎的検討

——バックグラウンドを中心には——

大嶽 達* 渡辺 俊明* 小坂 昇* 百瀬 敏光*
 西川 潤一* 飯尾 正宏* 川久保 清** 戸田 為久**
 望月 孝俊** 芹沢 剛** 杉本 恒明**

要旨 携帯用 RI 心機能モニター (VEST) を用いて33例で運動負荷または薬物負荷における左室機能の変化を測定し、本装置の基礎的検討を行った。バックグラウンドとして右肺野のカウントの変化を測定し、左室拡張末期カウントの変化と比較したが、両者の相関は良好であった（運動および体位： $y=0.99+0.68x$, $r=0.85$ 、薬物： $y=0.09+0.54x$, $r=0.83$ ）。ただし、後者に比べ、肺野のカウントの変化はやや小さい傾向であったが、左室拡張末期カウントの一定の割合をバックグラウンドとして用いる方法は合理的と考えた。その割合を 70% の場合と 75% の場合で比較したが、後者のほうが、心カテ検査との相関直線は $y=x$ に近かった。15秒加算データでも左室機能の各指標の統計変動は小さく、VEST は位置ずれさえ起こさなければ各種負荷による左室機能の連続的变化を評価するのに非常に優れた装置であると考えられた。

I. はじめに

心ピールスキャンは駆出分画などの左室全体の機能を非侵襲的に評価できる検査として広く用いられている。左室局所壁運動などの評価は被曝もなく、経済的にも有利で分解能もよい超音波検査を用いることが多いが、心ピールスキャンの有利な点は、運動負荷や薬剤負荷中のデータを収集しやすい点である。しかし、従来は撮像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、負荷にも制限があった。また、データ処理も安静時と負荷時の別々に行うため、誤差が増幅されて変化を正確に評価しがたい面もあった。そこで、ガンマカメラの代わりに超小型の RI 検出器を左室領域に向けて固定し、被験者

が自由に動ける状態で左室機能の変化を連続的に記録できる携帯型装置が開発され、すでに玉木らをはじめいくつかの報告がある^{1~11)}。今回われわれもこのような携帯型装置の検査を行ったが、われわれの用いたのは、玉木らの用いたのと同じ米国の CAPINTEC 社製の装置である⁹⁾。本装置は RI 検出器のついたプラスチック樹脂製のジャケットからなり、一見ベストのようなので VEST と呼ばれている。本装置は日常生活動作も含めた種々の運動負荷や薬物負荷による左室全体の機能の変化を評価するのに優れているが、心ピールスキャンにおいては、データの信頼性に関して特にバックグラウンド処理が重要であり、その点を中心に本装置の基礎的検討を行ったので報告する。

II. 対象および方法

対象は狭心症を疑われたが正常冠動脈であった 5 症例（37歳から 59歳、平均 50.2歳）と虚血性心疾患患者 22 症例（39歳から 69歳、平均 55.0歳）、拡張型心筋症患者 5 症例（15歳から 61歳、平均 48.6歳）、僧帽弁膜症 1 症例（22歳）の合計 33 症

* 東京大学医学部放射線科

** 同 第二内科

受付：63年3月22日

最終稿受付：63年5月23日

別刷請求先：文京区本郷 7-3-1 (西 113)

東京大学医学部放射線科

大嶽 達

例（15歳から69歳、平均52.3歳）である。

虚血性心疾患患者15例、正常冠動脈症例3例、拡張型心筋症患者1例の合計19例（39歳から69歳、平均55.9歳）に、トレッドミル運動負荷、歩行、階段上昇などの各種運動負荷および座位、立位などの体位変換を加えた。他の14例（15歳から63歳、平均47.5歳）に、強心薬E1020（Phosphodiesterase inhibitor）の静注、およびその前後でのニトログリセリンまたはアンギオテンシンIIの持続静注などの薬物負荷を行った。本検査は治験として行われたので、全例に、本人に口頭で検査の内容、安全性を説明し、同意を得た。

装置は玉木らの報告したものと同じであり⁹⁾、NaI(Tl)シンチレータおよび平行コリメータを装着した直径5cmの小型RI検出器を左室へ向けて固定でき、位置調整可能なプラスチックジャケット、およびホルター型カセットレコーダーによる（Fig. 1）。

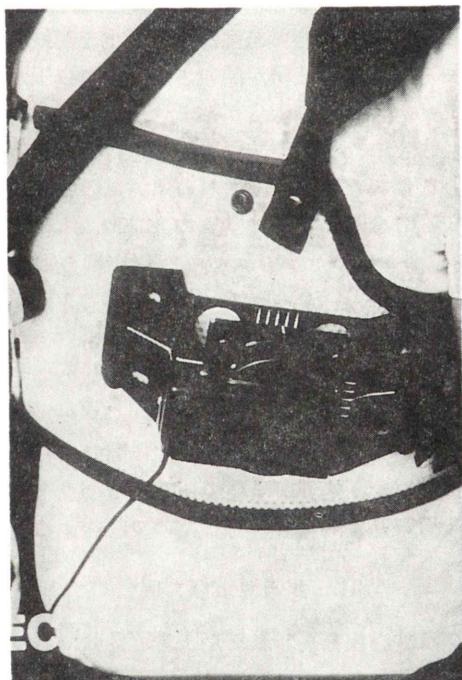


Fig. 1 VEST is composed of plastic vest, the main detector located on the left ventricular region, the background detector located on the right lung and tape recorder.

Cadmium Telluride (CdTe)よりなるバックグラウンド用RI検出器も装着可能であり、運動負荷の13例（正常冠動脈症例1例、虚血性心疾患患者12例）および薬物負荷の11例（正常冠動脈症例2例、虚血性心疾患患者7例、拡張型心筋症患者2例）について反対側の右肺野の心臓と同じかそれよりやや高い位置のカウントの変化をこの検出器で記録した。

被験者には、赤血球標識のための還元剤としてスズピロリン酸を20μg/kg静注し、20から60分後に^{99m}TcO₄25mCiを静注した。その後10分後に、左前斜位から通常の心ピールスキャンを施行した。運動負荷の場合は安静立位で、薬物負荷の場合は仰臥位でデータ収集した。その後被験者にVESTを装着したが、心電図は患者が運動した場合でも安定した記録が得られるように、3つの電極をすべて胸郭上においていた。電極が腹壁上にあると非常に不安定となる。一般に1つは胸骨上部、1つは右胸郭上、1つは一般の心電図の胸部誘導の中で、検出器と重ならない部位を選んだ。そして心電図モニターで波形を確認し、R波をトリガしやすいようなR波が高く、T波が低いか陰転している誘導を選んだ。

そして、プラスチックベストを患者に装着させ、肩ベルトの下に数cmの厚さのガーゼをあてて高さの調整をし、背中のベルトを呼吸が苦しくならない程度にしっかりと締めて、ベストをしっかりと胸郭に固定するように努めた。さらに、RI検出器を玉木らの方法と同様⁹⁾に左室へ向けて位置合わせしたが、運動負荷の場合は原則として立位、薬物負荷の場合は仰臥位で検出器を装着した状態で検出器と平行にガンマカメラをセットし、30秒から40秒間の静止画像をポラロイドカメラで撮像し、VEST検出器の影が左室領域に重なるように検出器の位置を移動させた。最適の位置がとれるまで上記操作を繰り返し、最後にVEST検出器の位置を固定した。また、左室の大きさの異なる被験者があるのを考慮し、半径が3種類の円形の中をくりぬいた鉛板のいずれかを検出器の前面にあらかじめセットした。

VEST を装着したのち、カセットテープをホルダーに入れて、データ収集を開始した。カセットテープの巻きむらはデータ処理に誤差を起こすので、カセットテープのセットにも若干の注意が必要であった。

運動負荷の場合は被験者を10分間安静座位とし、その後10分間安静立位をとらせ、その後、トレッドミル運動負荷、歩行、階段上昇などの運動負荷を加え、全体で1時間から2時間のデータを入力した。トレッドミル運動負荷の前後でVEST検出器位置確認のためのガンマカメラ撮像を行い、RI 検出器の位置のずれの有無を確認した。

薬物負荷は、安静仰臥位で10分間以上データ収集ののち、亜硝酸剤またはアンギオテンシンIIを持続静注し、1部の症例では段階的に量を漸増した。それを中止してしばらく時間をおいてのち、強心薬E1020を5分かけて静注し、20分後に亜硝酸剤またはアンギオテンシンを再び持続静注した。1症例のみE1020を投与しなかった。RI 検出器の位置確認は15分ごとに行った。

データ解析は、玉木らの方法⁹⁾と同様に収集したカセットテープからカセットデッキを用いてコンピュータにデータを読み取り、データをRIデータと心電図に分け、RIデータにR波トリガーをつけた。これはコンピュータで自動的に行なったものをマニュアルで修正した。次に15秒ごとの平均左室time activity curveと平均心電図を作成した。

この際、バックグラウンドをどうすべきかが最大の問題である。玉木らは左室拡張末期カウントの70%を用いているが⁹⁾、これはバックグラウンドが左室拡張末期カウントとほぼ比例して経時的に変化することを前提としており、その確認が重要である。われわれは、運動負荷、薬物負荷の各状態で、その比例関係があるか確認するため、右肺野のカウントと左室拡張末期カウントの各状態での変化を検討した。

さらに、玉木らの報告のごとく、バックグラウンドを拡張末期の70%を計算して得られた左室容積曲線にフーリエ3次項の曲線近似を行い、近似

曲線から左室駆出分画(ejection fraction, EF)、相対的拡張末期容積(% end-diastolic volume, % EDV)、相対的収縮末期容積(% end-systolic volume, % ESV)、相対的毎分心拍出量(% cardiac output, % CO)、最大駆出速度(peak ejection rate, PER)、最大拡張速度(peak filling rate, PFR)を算出した。なお、% EDV、% ESVはデータ収集開始時のバックグラウンドを補正した拡張末期左室カウントを100%とし、物理学的半減期を補正して表示した。% COは% EDVと% ESVの差に、心拍数(heart rate, HR)を乗じて百分の一にすることで求めた。

バックグラウンドは、拡張末期カウントの70%が適切であるかどうか検討するため、75%とした場合も計算し、VESTにより得られたEF(安静立位または安静仰臥位)と、心臓カテーテル法を用いた左室造影において、area-length法で計算されたEF(安静仰臥位)およびガンマカメラでVESTと同体位で測定したEFの3者を比較した。なお、ガンマカメラによるEFは、固定関心領域法で、左室の関心領域は位相解析法の振幅画像の左室辺縁を用いて用手的に設定し、バックグラウンドは収縮末期画像において、左室関心領域の側壁から心尖部分の内側2ピクセル分まで用手的に関心領域に設定して計算した。また、33例中、薬物負荷の拡張型心筋症症例1例のみで左室造影を施行していない。

次に、VESTのデータの統計変動を検討するために、運動負荷14例の安静座位および安静立位、薬物負荷12例の安静仰臥位について1分45秒から8分間、平均4分25秒のデータについて、算出された15秒平均のEF、% EDV、% ESV、% CO、HRの変動を標準偏差として算出した。なお、各症例で検討したデータの時間が異なるのは、データ収集開始直後にデータの不安定の場合があり、また体位変換直後にもその影響が残存しており、個々の症例でそれらを除いたデータを検討しているからである。

III. 結 果

1. 検査の安全性

VESTを装着したことによる患者の不快や苦痛などの訴えは全症例でなかった。ただし、VEST固定用の背中のベルトをきつく締めすぎると患者が呼吸しにくさを訴えるので、若干緩めたが、そのためVESTのずれを生じる場合もあった。また、薬物負荷の場合は、安静仰臥位で2から3時間静止させたので、そのための腰痛などの苦痛はあった。レコーダ部分は、重量約3kgで肩にかけて被験者が携帯することが可能であるが、薬物負荷は仰臥位なので横に置いており、運動負荷の場合でも、多くの場合、同伴した医師が携帯した。一般状態の良好な被験者では、一部に携帯させたが、特に苦痛の訴えはなかった。運動負荷、薬物負荷は2人以上の医師が患者の症状や心電図をモニターしながら監視し、負荷を危険のないレベルで押さえるようにしたので、危険な不整脈や胸痛発作などは全症例で起きなかった。

2. 肺野のカウントと拡張終期カウントの関係

バックグラウンドの主成分は肺野のカウントであるので、右肺野の心臓と同じ高さの部位の肺野

のカウントの変化と左室駆出カウントの変化を比較した。運動負荷症例については、安静座位から安静立位への変化、安静立位と比較したトレッドミル運動負荷開始3分後、負荷終了時、立位回復期、および安静立位と比較した歩行時、階段上昇時の13症例での両者の変化をデータ収集開始時の両者の値をそれぞれ100としてFig. 2, Table 1に示した。肺野カウント、左室拡張末期カウントの両者とも、安静立位では座位から比較して減少し、トレッドミル運動負荷、歩行、階段上昇の運

Table 1 The change of lung count (LC) and LV end-diastolic count (LVEDC) by exercise

	LVEDC	LC
SI/ST	-9.0±2.3	-6.7±4.4
ST/E1	+14.4±4.2	+11.5±3.8
ST/E2	+17.8±7.10	+12.9±3.8
ST/RE	+0.5±4.5	-0.5±3.7
ST/WK	+14.1±4.0	+12.8±3.6
ST/CS	+13.8±4.3	+11.5±3.3

SI: sitting

ST: standing

E1, E2, RE: early stage, end stage and standing recovering state of treadmill exercise

WK: walking

CS: climbing stairs

A/B: B compared with A

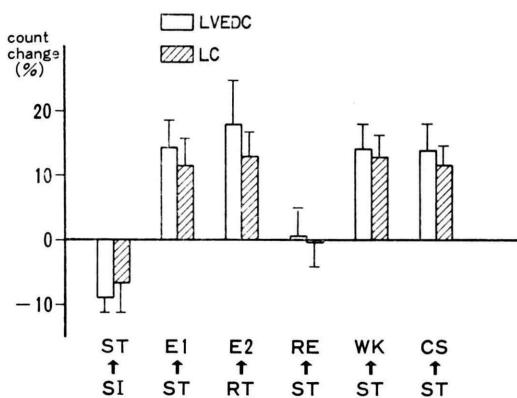


Fig. 2 The change of lung count (LC) and LV end-diastolic count (LVEDC) by exercise.

SI: sitting. ST: standing. E1, E2, RE: early stage (E1), end stage (E2) and recovering standing stage (RE) of treadmill exercise. WK: walking. CS: climbing stairs.

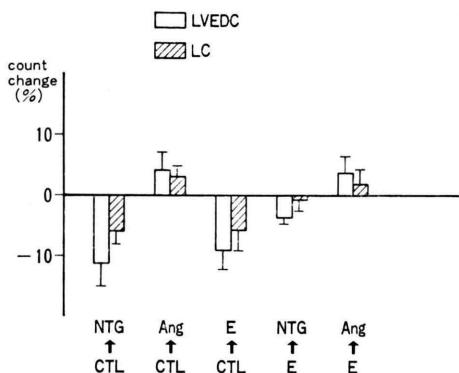


Fig. 3 The change of lung count (LC) and LV end-diastolic count (LVEDC) by drug administration.

CTL: control. NTG: nitroglycerine. Ang: angiotensin II. E: E1020.

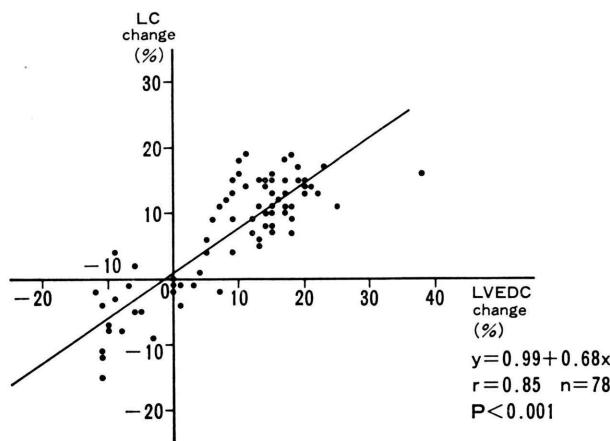


Fig. 4 The relation between the change of lung count (LC) and LV end-diastolic count (LVEDC) by exercise.

Table 2 The change of lung count (LC) and LV end-diastolic count (LVEDC) by drug administration

	LVEDC	LC
CTL/NTG	-11.4±3.6	-6.0±2.1
CTL/Ang	+4.2±2.9	+3.0±1.8
CTL/E	-9.2±3.6	-5.8±3.3
E/NTG	-3.67±0.94	-0.67±1.89
E/Ang	+3.64±2.78	+1.71±2.60

CTL: control state

NTG: nitroglycerine

Ang: angiotensin II

E: E1020

A/B: B compared with A

動負荷では立位と比較して両者とも増加し、肺野カウントの変化のほうが、拡張末期カウントの変化より小さい傾向はあるが、両者は平行して変化する傾向であった。13症例合計78状態での両者の変化の相関は、Fig. 4 に示すごとく、 $y = 0.99 + 0.68x$, $r = 0.85$, $p < 0.001$ と肺野カウントの変化のほうがやはり小さいが比較的良好な相関であった。

薬物負荷症例に関しては、安静仰臥位と比較した亜硝酸剤負荷、アンギオテンシン II 負荷時、および血管拡張強心薬 E 1020 負荷時の変化また E1020 負荷後の亜硝酸剤またはアンギオテンシン負荷前後の変化を11症例において肺野カウントと左室拡張末期カウントについて比較し、Fig. 3,

Table 2 に示した。両者とも、亜硝酸剤と E1020 負荷で減少し、アンギオテンシン負荷で増加し、また E1020 負荷後でも亜硝酸剤負荷で減少し、アンギオテンシン負荷で増加する傾向であり、やはり肺野カウントの変化のほうが、左室拡張末期カウントの変化より小さいが、両者がほぼ比例して変化すると考えてよい。亜硝酸剤やアンギオテンシンの量を変化させた場合も含めて11症例、62 状態での両者の変化の相関は、Fig. 5 のごとく $y = 0.09 + 0.54x$, $r = 0.83$, $p < 0.001$ と、やはり肺野カウントの変化のほうが小さいが、比較的良好な相関であった。

3. 他検査との安静時 EF の比較

心臓カテーテルによる左室造影から算出された EF: EF (cath) と、ガンマカメラで固定関心領域法で算出された EF: EF (γ) と VEST において、バックグラウンドを左室拡張末期カウントの70%, 75% のそれぞれとして算出した EF: EF (70%), EF (75%) を比較した。EF (70%) と EF (cath) は Fig. 6 のごとく $y = -3.8 + 0.85x$, $r = 0.82$, $n = 32$, $p < 0.001$, EF (75%) と EF (cath) は Fig. 6 のごとく、 $y = -0.45 + 0.96x$, $r = 0.82$, $n = 32$, $p < 0.001$ といずれも良好な相関を示したが、EF (75%) のほうが、 $y = x$ に近い直線となった。EF (70%) と EF (γ) は Fig. 7 のごとく $y = 8.3 + 0.83x$, $n = 33$,

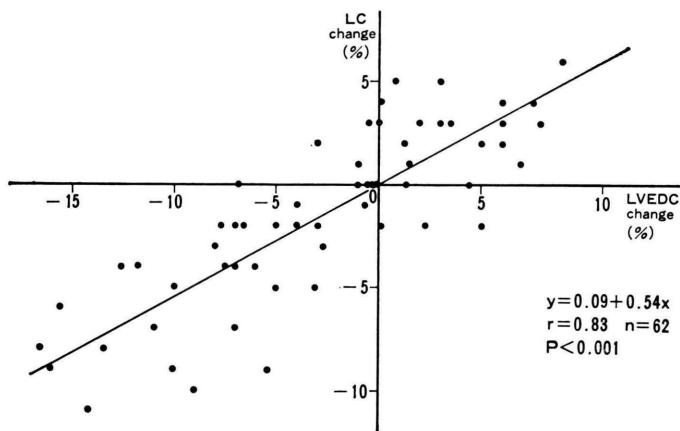


Fig. 5 The relation between the change of lung count (LC) and LV end-diastolic count (LVEDC) by drug administration.

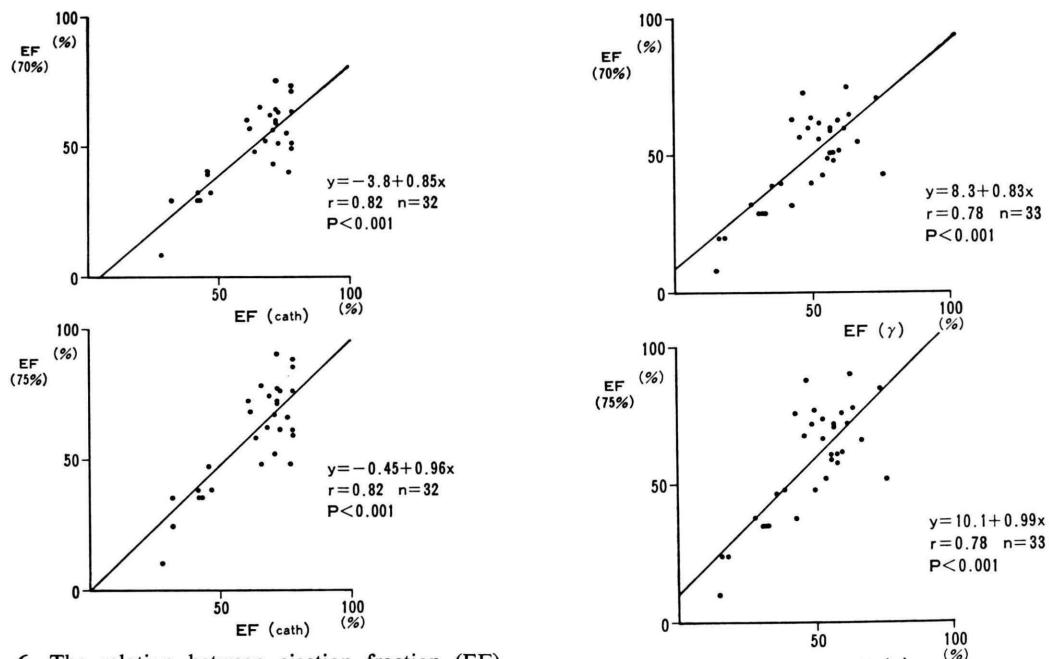


Fig. 6 The relation between ejection fraction (EF) calculated by VEST and X-ray left ventriculography.
 EF (70%): EF calculated by VEST using 70% of LV end-diastolic count as background.
 EF (75%): EF calculated by VEST using 75% of LV end-diastolic count as background.
 EF (cath): EF calculated by X-ray left ventriculography.

Fig. 7 The relation between EF calculated by VEST and gamma camera.
 EF (70%), EF (75%): These are the same as in Fig. 6.
 EF (γ): EF calculated by gamma camera.

$r=0.78$, $p<0.001$, EF (75%) と EF (γ) は Fig. 7 のごとく $y=10.1+0.99x$, $n=33$, $r=0.78$ といずれも比較的良好な相関で、これは EF (70%) のほうが $y=x$ にやや近い直線となった。

4. 安静同一体位での各指標の変動

運動負荷14症例の安静座位および安静立位、薬物負荷12症例の安静仰臥位の計40個のデータについて、1分45秒から8分、平均4分25秒の間のデータの統計変動を検討した。各症例で時間が異なるのは、データ収集開始直後にデータの不安定な時期があり、また体位変換した時に、その影響が消失して安定するまでの時間に個人差があり、両者を排除してできるだけ長い時間のデータを検討し

たためである。40個のデータは、15秒平均左室容積曲線のデータが7~32個からなり、各症例で各指標の7~32個の値の標準偏差を求める、その標準偏差の40個の平均値を算出した。

Table 3 に示すごとく、%EDV は標準偏差が0.49から2.37、平均1.23であり(単位はデータ収

Table 3 Statistical variance in resting state (sitting, standing, lying)

%EDV	1.23	(0.49–2.37)
%ESV	2.38	(1.16–7.81)
EF	2.41	(1.12–3.83)
%CO	2.03	(1.02–3.87)
HR	1.85	(0 –4.93)

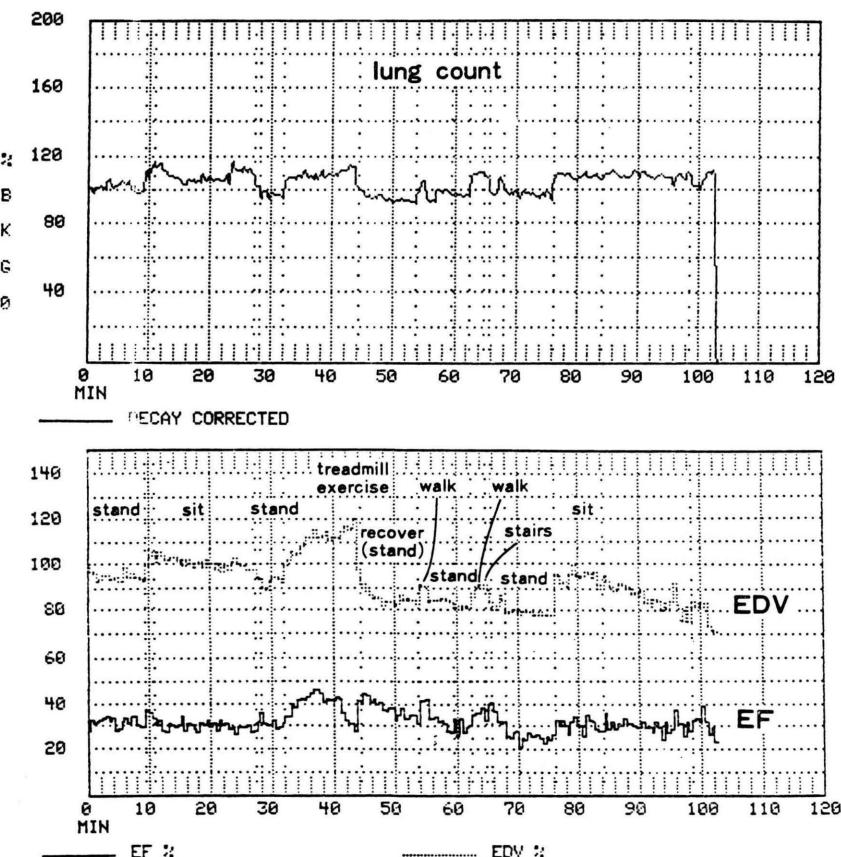


Fig. 8 The VEST data of 52 years old male is shown. The change of lung count (upper), %EDV and EF (lower) is displayed during standing, sitting, treadmill exercising, walking and climbing stairs. The change of lung count and %EDV is almost parallel.

集開始時の %EDV を 100 とした), 非常に統計変動の少ないデータであった。%ESV は標準偏差が 1.16 から 7.81, 平均 2.38 (単位は %EDV と同じ) と %EDV に比べると, 統計変動は 2 倍であったが, 比較的安定していた。EF は標準偏差が 1.12 から 3.83, 平均 2.41 (単位は EF で用いる%) と, %ESV と同じ傾向であった。%CO は標準偏差が 1.02 から 3.87, 平均 2.03 (単位は %EDV × HR × 1/100: 40 個の平均 %CO は 37.1) であり, EF, %ESV と同じ傾向であった。データ収集自体に誤差がなく, 患者本人の変動があらわれている心拍数については, 標準偏差は 0 (ペースメーカーの患者) から 4.93, 平均 1.85 と, 患者

自体の左室指標にも変動があることが示唆された。

5. 症 例

運動負荷: 52 歳男性で, 冠動脈造影で左前下行枝 (LAD) 50% 狹窄, 左回旋枝 (LCX) 正常, 右冠動脈 (RCA) が mid で 100% 閉塞, LAD から中隔枝を通して RCA へ側副血行が発達していた症例である。立位, 歩行, 座位, 立位, トレッドミル運動負荷, 立位回復期, 歩行, 立位, 歩行, 階段上昇, 立位, 座位と体位変換, 各種運動負荷を行い, %EDV, EF と肺野カウントの変化を Fig. 8 に示したが (%EDV は生データの拡張末期カウントの 30% の値であるが, 変化率は両者は全く同じである), 各体位, 各負荷で, %EDV と肺

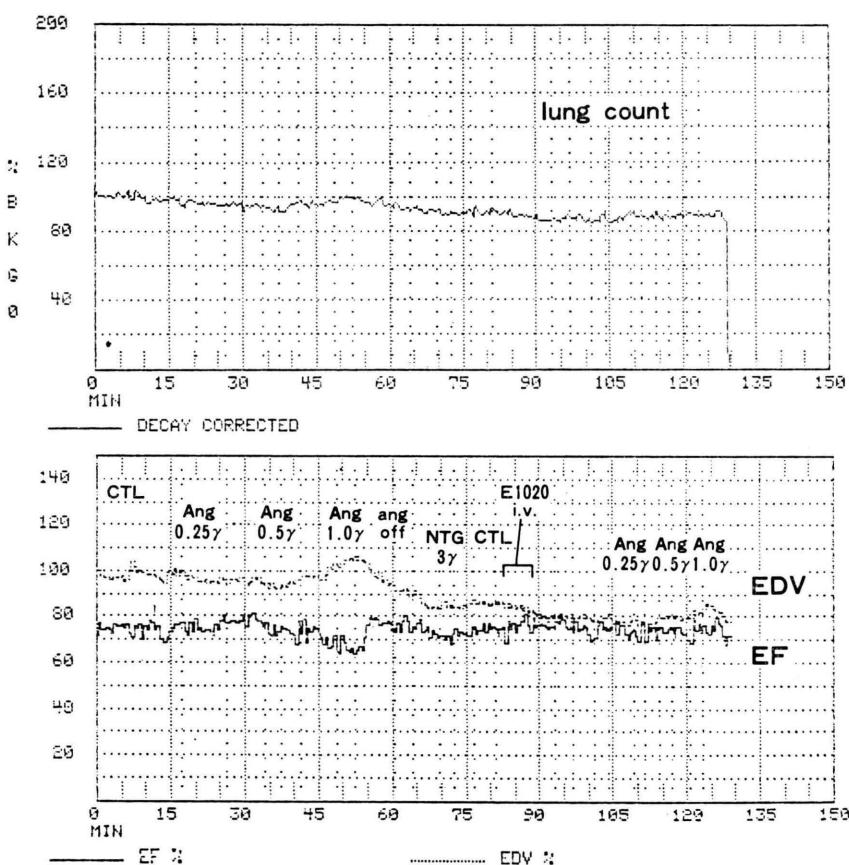


Fig. 9 The VEST data of 37 years old male is shown. The change of lung count (upper), %EDV and EF (lower) is displayed during angiotensin II, nitroglycerine and E1020 administration. The change of lung count and %EDV is almost parallel.

野カウントはほぼ比例して変化した。ただし、特にトレッドミル運動負荷での肺野カウントの上昇が %EDV よりやや低かった。また、トレッドミル運動負荷後、ベストがずれたためか、負荷前の立位に比べ、負荷後立位で %EDV が低下しているのに対し、肺野カウントは、ベストがずれても少しづれた部位の肺野カウントを検出しているのみなので、あまり低下していない。

統計変動をみても、%EDV は、統計変動が少なく、曲線は非常になめらかであり、連続的な変化を非常に評価しやすい。EF については、%EDV よりは統計変動が大きく、安静時でも曲線はあまりなめらかではないが、評価可能な程度であり、特にトレッドミル運動負荷中の変化については、stage 1 で EF が漸増し stage 2, 3 で EF はプラトーになり、stage 4 で EF が急減する様子が連続的によく評価できる。

薬物負荷、37歳男性、狭心症を疑われたが、正常冠動脈であった症例である。コントロール状態から、アンギオテンシン II 0.25 µg/min, 0.5 µg/min, 1 µg/min と漸増持続静注し、アンギオテンシンを中止、ニトログリセリンを 3 µg/min 持続静注し、中止後、血管拡張強心薬 E1020 20 µg/min を 5 分間かけて静注し、20分後にアンギオテンシンを 0.25 µg/min, 0.5 µg/min, 1 µg/min と漸増持続静注した。Fig. 9 に示すように %EDV と肺野カウントは大体において比例して変化しており、アンギオテンシンで両者が増加し、亜硝酸剤と E1020 で両者が減少しているが、やはり肺野カウントの変化のほうが、%EDV の変化より小さい傾向である。

EF はやはりやや変動が大きく、曲線はなめらかでないが、連続的变化は評価可能であり、アンギオテンシンで EF が漸減し、中止で EF が回復し、E1020 で EF が漸増する様子がよく評価できる。

IV. 考 察

心プールスキャンは、左室機能を非侵襲的に評価するために広く用いられている重要な検査の 1

つであり、非侵襲的かつ被曝もなく、分解能もよい超音波検査と比較しても、運動負荷や薬物負荷など種々の負荷による左室機能の変化を容易に評価できる点が優れている。しかし、従来のガンマカメラを用いる方法では、ガンマカメラ下のために、負荷の種類も制限され、またデータも 2 分前後の収集が必要なため、連続的な変化をとらえるのが困難である。また、データ処理も、負荷前、負荷中のそれぞれのデータを別々に行うため、左室やバックグラウンドの関心領域 (region of interest, ROI) の設定がそれぞれ異なり、ROI 設定の際の誤差が増幅され、個々の症例で正しい変化を評価しがたい場合もある¹²⁾。

それに対し、本法は、携帯用の RI 検出器を患者に装着させるため、歩行、階段上昇、食事、排尿など日常行為をはじめ⁶⁾、精神的ストレス負荷⁸⁾、テレビゲーム⁵⁾など様々なバラエティーに富んだ負荷を行うことができる。しかも、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、本論文や玉木らの報告⁹⁾のように、15 秒の加算でも、EDV, ESV, EF などで統計変動の少ないデータが得られる。特に %EDV の統計変動は、心拍数の統計変動よりも小さいほどであり 15 秒加算でも非常に安定したデータで、連続的变化は非常に評価しやすい。EF や %ESV では %EDV に比べて統計変動がやや大きいが、平均した変動は 2% 程度なので、それより大きい変化を評価するのは問題ない。したがって従来のガンマカメラによる方法と比較して、より連続的な変化が評価可能である。特にトレッドミル運動負荷やエルゴメータ漸増負荷では、各段階での %EDV や EF の変化がより連続的に評価可能であり、従来、最大負荷中の Δ LVEF のみで評価していたのに比べ、症例に示したように、運動耐容能をはるかにきめ細かく評価可能である。ただし、加算を 15 秒未満にすることは、統計変動が大きくなるのに加え、呼吸性変動なども加わり、信頼性は低下すると考える。

次に本法の信頼性であるが、従来のガンマカメ

ラと比べ、本法が優れているのは、左室の ROI をデータ収集中ずっと固定させ、バックグラウンドも ED カウントの 70% と一定の方法で行っているので、データ処理の誤差が排除されている点である。ただし、これに後述するベストのずれがないこと、バックグラウンドが左室拡張末期カウントと比例して変化することが前提となる¹³⁾。バックグラウンドは方法において最大の問題であるが、玉木らの報告⁹⁾では、この検討があまりなされておらず、われわれは特にこの点に注目して検討した。肺野カウントがバックグラウンドの主成分であるので、右肺野のカウントと左室拡張末期カウントの変化を検討したが、運動負荷でも、薬物負荷でも大体において肺野のカウントは左室拡張末期カウントに比例して変化するとの結果であり、本法のやり方はあまり問題ないと考えられた。しかし、肺野のカウントの変化は、拡張末期カウントの変化よりやや小さい傾向があり、本法の拡張末期カウントの一定の割合を引く方法では、バックグラウンドの変化を実際より大きく見積り、% EDV や EF の変化を実際より小さく評価してしまう可能性があり注意すべきである。ただ、左室拡張末期カウントと肺野カウントの個々の変化をみると、座位から立位に変化した時に両者が減少するのは、下肢静脈プールが増加して静脈還流が減少することで説明でき、立位からトレッドミル、歩行、階段など運動負荷の際両者が増加するのは、下肢筋肉収縮で下肢静脈プールが減少し、静脈還流が増加することで説明できる¹⁴⁾。薬物の場合も、亜硝酸剤や E1020 で肺野カウントや、左室拡張末期カウントが減少するのは、両薬の血管拡張効果で、静脈還流が減少することで説明できる。このように、機序的にも、肺野カウントや左室拡張末期カウントが、静脈還流の因子で比例することが説明できる。

しかし、左室拡張末期容積が著明に拡大しているような病的心の場合、静脈還流が変化して肺野カウントが変化しても左室拡張末期容積があまり変化しない場合も考えられ、また拡張末期容積には静脈還流などの前負荷以外にも肺血管プールと

無関係な後負荷などの影響もあり、また、そのような左室拡張末期容積と肺血管プールに異なる影響を及ぼすような動作負荷、薬物負荷があれば、この比例関係がくずれる場合もあると考えられ、肺野カウントを常にモニターしておくことは重要である。なお、今回 1 心周期の間の肺野カウントの変化は検討しなかった。本法のやり方では、1 心周期の間ではバックグラウンドは一定として計算しているが、実際は微妙な変化もあると考えられ、本法で計算された左室時間容積曲線にはその誤差要因もある。しかし、各種負荷での変化を問題にするとき、この誤差はあまり重要でないと考える。

また、拡張末期カウントの何%をバックグラウンドとして引くべきかも重要である。われわれの検討では、玉木らの示した 70% よりも、75% のほうが心カテ法で算出された EF との相関直線は $y=x$ に近かったが、ガンマカメラ法の比較では 70% のほうがやや近かった。しかし後述のように、検出器の左室への設定が完全にうまくいっていない場合もあり、そのため EF が低く算出され、バックグラウンドを 70% とした場合の、心カテ法との相関の回帰直線が、75% より悪くなつたことも考えられる。われわれの 33 症例の、ガンマカメラの場合の拡張末期関心領域内平均カウントに対するバックグラウンドのカウントが平均 49.9% であることを考えると、本法の検出器が感度を上げるためにエネルギーレンジを広げており、簡単に比較できないが、本法のバックグラウンドを 75% することは必ずしもよいとはいいにくい。

また、本来バックグラウンドには個人差があり、特に肺うつ血をきたしているような場合は、バックグラウンドの割合を増やすべきであろうが、基本的には EF の絶対値に関しては、本法では多少の誤差はやむをえず、各種負荷に対する変化をある程度正しく評価できればよいと考える。したがって各個人でバックグラウンドの割合を変えることは必ずしも必要でないと考える。

次に、バックグラウンド検出器から得られるデータを直接バックグラウンドとして用いる方法

もありうるが、この方法の問題は、各症例で、検出器のカウントを何倍にしてバックグラウンドとするか変えなければならず、繁雑であること、また、ベストのずれは完全に排除しがたいため、症例でも示したように、主検出器がずれると拡張末期カウントは大きく変化するのに、肺野カウントは、検出器が少々ずれてもあまり変化せず、別の誤差要因を生じてくることである。したがって直接バックグラウンド検出器のデータを用いるには問題があると考えるが、バックグラウンドが拡張末期カウントと平行して変化しているか確認するために、このバックグラウンド検出器を常に用いることは重要であると考える。

本法の信頼性に関するもう 1 つの問題は、ベストのずれの問題である。本装置は米国 Capintec 社製であるため、どうしてもプラスチックベスト自体のつくりが日本人には大きく、肩ベルトの下にガーゼを数 cm の厚さにはさまないと位置がうまくあわない状態であった。そのため、座位から立位に変化させるのみで微妙にずれてしまう場合もあった。特に太った人では、座位では腹部の脂肪でベストが上に押しあげられてしまう。このようなずれは EDV や EF にも影響があった。トレッドミル運動負荷中でも、stage IV になると肩に力が入り、ややベストが押しあげられる傾向もあり、EF の低下が真のものかアーチファクトか迷う場合も時にはあった。これを解決するには、肩ベルトとわきの下の受け皿部で、肩のまわりにベストをがっちり固定してしまうことが必要であるが、本装置は肩ベルトが長すぎてそれが不可能であった。本装置の改良が望まれる点である。実際のずれの確認は、運動負荷ではトレッドミル運動負荷前後、薬物負荷では 15 分ごとにガンマカメラによる撮影で行ったが、特に運動負荷で 30% ほどの症例で微妙なずれがあった。

今回の結果には示していないが、ずれのある場合、下にずれる時は EDV が減少、EF が増加し、上にずれる時は EDV が増加、EF が減少する傾向であったが、それにあてはまらない症例もあった。このずれに対処するため、われわれは、トレ

ッドミル運動負荷をはじめる前の 5 分間および歩行や階段上昇等をはじめる前の 5 分間に安静立位をとらせ、変化はその状態と比較するようにした。しかし、負荷が強くなった場合のずれはやはり問題として残った。

また、今回 Tc-99m 標識赤血球を用いたが、簡便法だったので安定性はやや悪く、数例で採血カウントしたところ、2 時間で 10% 前後は標識がはずれる傾向であった。左室機能指標の変化を直前のコントロール状態と比較するのには問題ないが、データ収集開始直後と終了時の左室機能指標で比較するには問題となるので、採血カウントによる補正またはより安定な標識を用いることが必要である。

左室への位置合わせも問題の 1 つである。検出器の影が左室をおおった残りの画像をガンマカメラで撮影するのであるが、この残りの画像では、左房がどれか判断しにくく、中隔もどこまで検出器の視野に入っているのか判定しづらく、本来の適切な位置から、実際の位置合わせが微妙にずれることは避けられない。また、左室の大きさに合わせて 3 段階の内側を円形にくりぬいた鉛板を用いたが、検出器の大きさ以上に左室が拡大している場合もあり、左室の形も円形ではなく、関心領域としては、ガンマカメラの固定 ROI 法に正確さで劣る状態であった。その点が 70% とか 75% の高いバックグラウンドを除かなければ心カテ法やガンマカメラ法と EF が一致してこない原因の 1 つと考える。また、EF の絶対値自身にはある程度誤差を生じるのは避けられない。しかし、EF をはじめとする左室機能の変化をとらえる際には、左房さえ視野に入らぬように気をつければ、また上記のずれの問題が解決すれば、左室への位置設定が多少不正確でも、十分変化を評価可能と考える。

また、核聴診器や、CdTe による検出器での本装置のような携帯装置の報告もあるが、このような装置は直径 3 cm 以下であり、左室全体からの情報は得られず、指向性が悪くコリメータもついていないので、散乱線や、わずかの検出器のずれや傾きの影響も大きい。それに対し、本装置は直

径5cmのNaI(Tl)シンチレータを用いており、コリメータも装着しており、検出器の性能としては明らかに優れている。装置の構造上も、検出器の位置調節や固定が容易となっており、しかもデータをテープレコーダ収集としている点も優れている。

V. 結 語

RI携帯用左室機能モニター(VEST)について、基礎的検討を行った。

バックグラウンドとして右肺野のカウントの変化を検討したが、体位変換(座位から立位)、各種運動負荷(トレッドミル、歩行、階段上昇)、および薬物負荷(亜硝酸剤、アンギオテンシン、血管拡張強心薬E1020)に対し、左室拡張末期カウントとほぼ比例する変化をした(運動および体位: $y=0.99+0.68x$, $r=0.85$ 、薬物: $y=0.09+0.54x$, $r=0.83$)。ただし、左室拡張末期カウントの変化よりは肺野カウントの変化は小さい傾向であった。

したがって、バックグラウンドとして左室拡張末期カウントから一定の割合を引くことは合理的であると考えるが、拡張末期容積やEFの変化をやや過小評価するおそれはある。バックグラウンドとして何%を拡張末期カウントから引くべきかについては、70%より75%のほうが、心カテーテル法との相關の回帰直線が $y=x$ により近い結果であったが、位置合わせのずれの問題や、ガンマカメラ法でのバックグラウンドが平均して約50%であることを考えると、70%でもよいと思われる。

VESTのデータは%EDVについては15秒平均データでも特に統計変動が少なく十分信頼でき、EFや%ESVはやや変動が大きいが、15秒ごとの連続的変化は十分評価可能と考えた。

これらの点からVESTは、検出器のデータ収集中のずれの問題さえ解決できれば、各種の負荷に対する左室機能変化の評価において信頼性のある非常に優れた装置であると結論できる。

文 献

- Strauss HW, Lazewatsky J, Moore RH, et al: THE VEST: a device for the continuous monitoring of cardiac function in ambulatory patients. *Circulation* **59**: 246, 1979 (abstr)
- Hoffer PB, Berger HJ, Steidley J, et al: A miniature cadmium telluride detector module for continuous monitoring of left-ventricular function. *Radiology* **138**: 477-481, 1981
- Wagner HN, Rigo P, Baxter R, et al: Monitoring ventricular function at rest and during exercise with a nonimaging nuclear detector. *Am J Cardiol* **43**: 975-979, 1979
- Giles RW, Berger HJ, Barash PG, et al: Continuous monitoring of left ventricular performance with the computerized nuclear probe during laryngoscopy and intubation before coronary artery bypass surgery. *Am J Cardiol* **50**: 735-741, 1982
- Wilson RA, Sullivan PJ, Moore RH, et al: An ambulatory ventricular function monitor: Validation and preliminary clinical results. *Am J Cardiol* **52**: 601-606, 1983
- Tamaki N, Gill JB, Moore RH, et al: Cardiac response to daily activities and exercise in normal subjects by an ambulatory ventricular monitor. *Am J Cardiol* **59**: 1164-1169, 1987
- 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)
- 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)
- 玉木長良, Strauss HW: 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——. 核医学 **24**: 289-295, 1987
- 玉木長良, Strauss HW: 携帯用RI心機能モニター(VEST)による心機能評価——(第2報)虚血性心疾患への応用——. 核医学 **24**: 551-557, 1987
- 井出満, 兼本成斌, 五島雄一郎, 他: テルル化カドミウムを用いたシングルプローブによる左室機能の計測. 核医学 **23**: 1675-1681, 1986
- 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
- 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
- Flamm S, Taki J, Moore RH, et al: The venous pump and staged maximal exercise: contribution to cardiopulmonary blood volumes. *J Nucl Med* **28**: 650, 1987 (abstr)

1) Strauss HW, Lazewatsky J, Moore RH, et al: THE VEST: a device for the continuous monitoring

Summary

The Validation of an Ambulatory Ventricular Function Monitor (VEST) —Especially as to Background—

Tohru OHTAKE*, Toshiaki WATANABE*, Noboru KOSAKA*, Toshimitsu MOMOSE*,
Junichi NISHIKAWA*, Masahiro Ito*, Kiyoshi KAWAKUBO**, Iku TODA**,
Takatoshi MOCHIZUKI**, Takashi SERIZAWA** and Tsuneaki SUGIMOTO**

**Department of Radiology, **The Second Department of Internal Medicine,
Faculty of Medicine, University of Tokyo*

We monitored the change of left ventricular function during various exercise and drug administration in 33 cases using an ambulatory left ventricular function monitor (VEST).

To validate the measurement of left ventricular function with the VEST, we compared the change of lung count (LC) with that of LV end-diastolic count (LVEDC) during exercise and drug administration. The relation between the change of LC and LVEDC was good (exercise: $y=0.99+0.68x$, $r=0.85$, $n=78$, drug administration: $y=0.09+0.54x$, $r=0.83$, $n=62$). Although the change of LC was apt to slightly lower than that of LVEDC, we think we can use constant ratio of LVEDC as background in VEST generally.

We compared 75% of LVEDC and 70% of

LVEDC as background in VEST. EF calculated by VEST using both background correlated well with X-ray left ventriculography ($r=0.82$, $r=0.82$) and gamma camera ($r=0.78$, $r=0.78$), but the regression line of EF using 75% of LVEDC was closer to the $y=x$ line than that using 70% of LVEDC.

The variability of the 15 second averaged data in VEST over 2–8 minutes while resting state in 26 cases was 1.23% (%EDV), 2.38% (%ESV), 2.41% (EF), 2.03% (%CO), 1.85 (HR) in average.

We conclude that VEST is very useful for evaluating continuous change of left ventricular function if the motion artifact is eliminated.

Key words: Heart, Blood pool study, Tc-99m red blood cell, Ejection fraction, Ventricular function.