

《原 著》

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

井出 満* 兼本 成斌* 五島雄一郎* 鈴木 豊**

要旨 テルル化カドミウム (CdTe) を用いた超小型のシングルプローブ装置を開発し、各種心疾患患者33名の左室機能を測定した。CdTe による LVEF はシングルビート (SB) モードで $r=0.935$ 、マルチビート (MB) モードでは $r=0.892$ と、ともにガンマカメラ法 (G) と密接な正相関 (ともに $n=21$, $p<0.01$) を示した。同様に、ヨウ化ナトリウム (NaI) を用いたシングルプローブ法とは SB で $r=0.939$, MB では $r=0.896$ とこれも高い正相関 (ともに $n=21$, $p<0.01$) を示した。G と CdTe との間には 1/3 EF で $r=0.716$, PER で $r=0.682$ および PFR では $r=0.777$ (それぞれ $n=33$, $p<0.01$) と良好な正相関関係を認めた。また、CdTe の再現性は SB モードで $r=0.949$, MB モードで $r=0.895$ (ともに $n=21$, $p<0.01$) であった。以上の結果から CdTe は信頼性、再現性ともに優れており、小型軽量であるため、ICU・CCU はもちろん日常労作時の LVEF をモニタリングするうえできわめて有用であると考えられる。

I. はじめに

RI アンギオグラフィーを用いて得られる左室機能は、心疾患患者の病態、治療効果および予後を把握する上で有用な指標を提供する。特に、ICU・CCU あるいは日常労作時などでは、長時間連続的に左室機能をモニタリング可能な装置が望まれている。しかし、従来最も小型であるとされるヨウ化ナトリウム (NaI) を用いたシングルプローブ装置ですら、これらの目的に使用するには大きすぎる難点があった。今回、われわれが開発したテルル化カドミウム (CdTe) プローブは、重量約 300 gr と小型軽量で、胸壁への固定が容易であり、したがって、体位変換時を含めて左室機能をモニタリングすることが可能になると考えられる¹⁾。

本研究の目的は、1) CdTe の臨床有用性をガンマカメラ (G) 法および NaI 法と比較検討すること、2) CdTe の再現性を検討すること、3) われわれが考案した胸壁固定用ベストを用いて左室駆出率 (LVEF) を連続的にモニタリングすること、の3点である。

II. 対象と方法

対象は健常人7名、高血圧症5名、虚血性心疾患15名および拡張型心筋症6名の計33名である。内訳は、男性27名、女性6名で、年齢は38歳から79歳で平均年齢は57歳である。

方法は、Tc-99m-RBC 20 mCi による心電図同期式平衡時法を用いて G, NaI および CdTe により左室機能を順次測定した。データ収集時間は、G では約7分間、CdTe と NaI はアロカ社製オムニスコープ RRG-602 と接続し12秒間のシングルビート (SB) モードと60秒間のマルチビート (MB) モードである。CdTe プローブは、RMD 社製 A-116 型で、直径 16 mm、厚さ 2 mm、重量 17 gr を用いこれに内径 16 mm、高さ 16 mm のストレート型コリメータを装着したものをを用いた¹⁾。

* 東海大学医学部循環器内科

** 同 放射線科

受付: 61年2月21日

最終稿受付: 61年7月21日

別刷請求先: 神奈川県伊勢原市望星台 (☎ 259-11)

東海大学医学部循環器内科

井 出 満

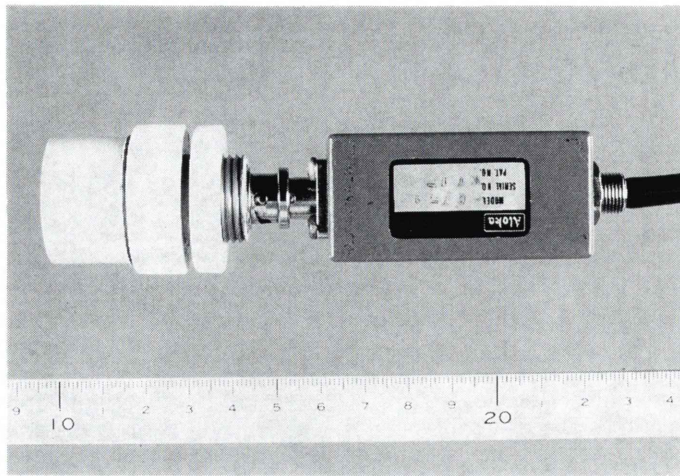


Fig. 1 The outlook of the CdTe probe and preamplifier.

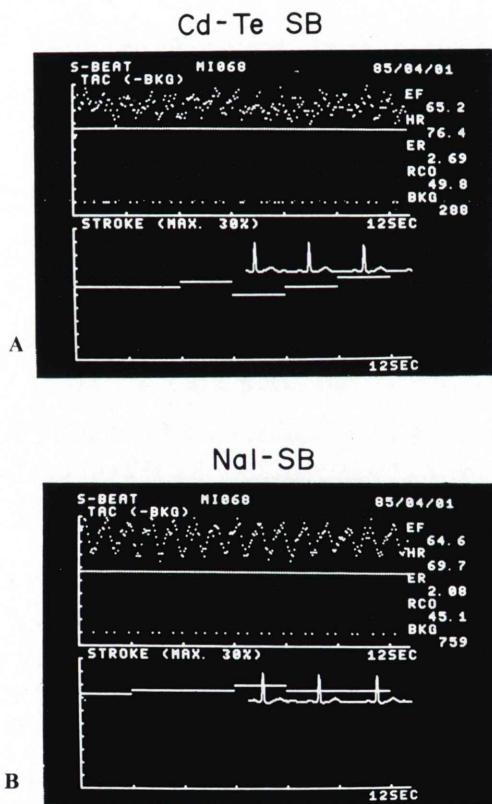


Fig. 2 Actual displays of the single-beat mode (SB-mode) studies obtained from the patient with angina pectoris. A. CdTe method, B. NaI method.

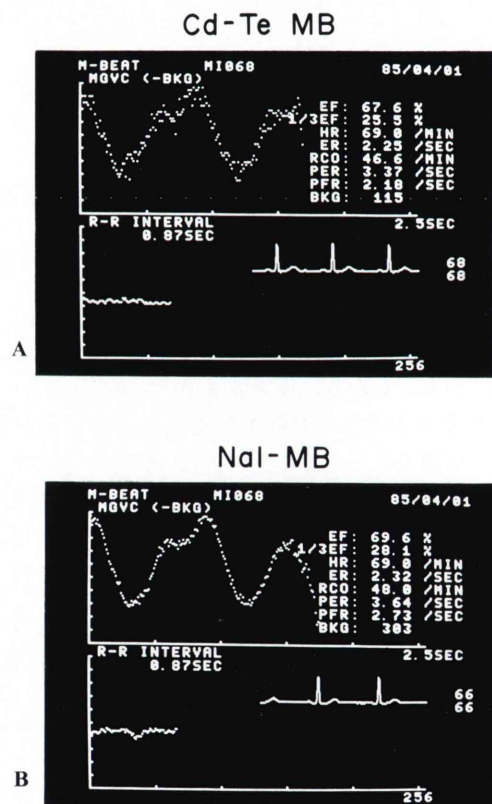


Fig. 3 Actual displays of the multi-beat mode (MB-mode) studies (same patient in Fig. 2). A. CdTe method, B. NaI method.

長時間モニタリングには、これをさらにマイクロコンピュータ (LSI-11/23) と接続し、データ収集、解析を行った。測定項目は、左室駆出率 (LVEF)、1/3 EF、最大駆出率 (PER) および最大拡張率 (PFR) である。Fig. 1 に CdTe プローブを示す。プリアンプリファイアーを含めて全長は約 12 cm で重量は約 300 gr である。

位置決めは左室の time-activity curve を見ながらそのストロークが最大になるところを ROI とし、さらにバックグラウンドはプローブを左側外方に移動しストロークが心拍動の影響を受けなくなったところで計測した。

Figure 2 に CdTe と NaI による SB モードでの LVEF 計測の代表例を示す。この症例の G による LVEF は 67% であったが、図示されているように LVEF は CdTe では 65.2% で NaI では 64.6% であった。Fig. 3 は同一症例での MB モードによるものであるが、CdTe では 67.6% で NaI では 69.6% であった。

III. 結 果

1) LVEF CdTe と G との比較では、SB モードで (Fig. 4) $y=0.94x+4.32$ ($r=0.935$, $p<0.01$, $n=21$), MB モードで (Fig. 5) $y=0.94x+3.75$ ($r=$

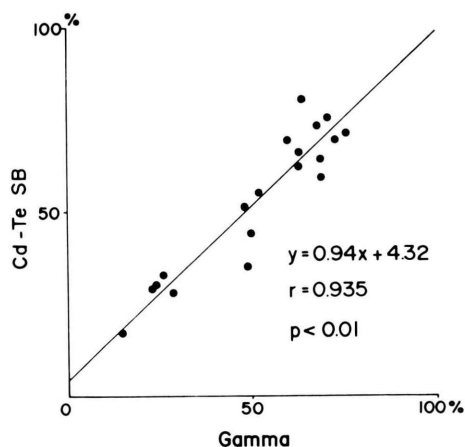


Fig. 4 Correlation of LVEFs determined by SB-mode of CdTe probe and gamma camera (multi-gated method).

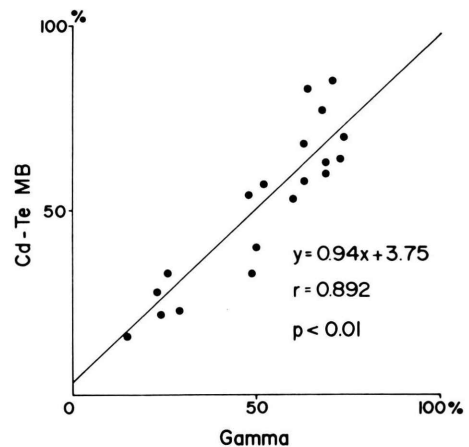


Fig. 5 Correlation of LVEFs determined by MB-mode of CdTe probe and gamma camera (multi-gated method).

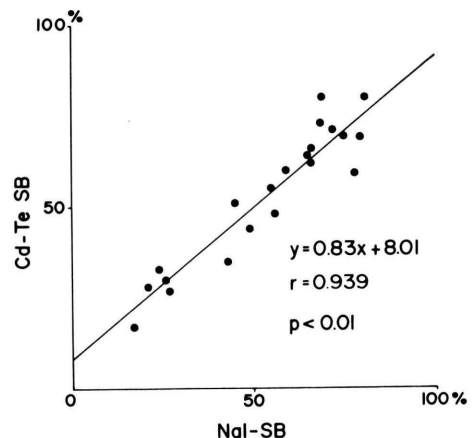


Fig. 6 Correlation of LVEFs determined by SB-mode of CdTe and NaI.

0.892, $p<0.01$, $n=21$) とともに密接な正相関関係が示された。CdTe と NaI とは、SB モードで $y=0.83x+8.01$ ($r=0.939$, $p<0.01$, $n=21$), MB モードで $y=0.78x+10.45$ ($r=0.896$, $p<0.01$, $n=21$) とこれとともに高い正相関関係がみられた (Figs. 6, 7)。

2) 1/3 EF CdTe (MB モード) と G との比較では $y=0.67x+9.89$ ($r=0.716$, $p<0.01$, $n=33$) と有意な正相関関係があった (Fig. 8)。

3) PER CdTe (MB モード) と G との比較では $y=0.60x+0.99$ ($r=0.682$, $p<0.01$, $n=33$) と有意な正相関関係があった (Fig. 9).

4) PFR CdTe (MB モード) と G との比較では $y=0.58x+0.61$ ($r=0.777$, $p<0.01$, $n=33$) と高い正相関関係があった (Fig. 10).

5) CdTe の再現性に関する検討 2 回連続で測定した LVEF は, SB モードで $y=0.93x+3.84$ ($r=0.949$, $p<0.01$, $n=21$), MB モードで $y=0.86x+5.90$ ($r=0.895$, $p<0.01$, $n=21$) とともにきわめて良好であった (Figs. 11, 12).

6) LVEF 連続モニタリングの試み CdTe を胸壁に固定するため Fig. 13 に示すベストを試作した. このベストを用いて 56 歳男性の狭心症患者の LVEF を連続測定した (Fig. 14). 安静仰臥位を取らせ, 16 分後に ISDN 5 mg を舌下投与した. 図の上段は左室の time activity curve (TAC), 中段はこの TAC から background count を減算したもの (TAC-BACK), および下段はこれらより算出した LVEF を示す. 図にみられるように最初の 16 分間は安定した左室の容量曲線カーブが得られ, LVEF も約 40% と一定の値を示している. ISDN 投与により 1-2 分後から左室の volume は収縮期, 拡張期ともに低下しそれに伴って LVEF の急激な増加がみられ, 最終的には 60% となった. この症例の G による LVEF は開始前で 42%, 終了後で 63% であった.

IV. 考 案

今回, われわれが使用したテルル化カドミウムを用いたシステムの計数率特性は 25 KeV 以上の積分計測で, 20% の数え落しは 100 Kcps で認められた¹⁾. コリメータの等反応曲線では, 最高カウントの 50% となる深さは 4.5 cm であった¹⁾. したがって臨床応用には十分な基本性能を持っていると考えられる.

CdTe プロープの位置決め法は従来の NaI によるシングルプローブと全く同一である.

NaI を用いたシングルプローブ法については多くの報告があり²⁻⁵⁾, 本邦でも西村ら⁶⁾, 稲垣ら⁷⁾

の報告がある. これらの報告では, LVEF の G と NaI との相関係数 (r) は 0.69 から 0.94 である. われわれの用いたオムニスコープも, すでに報告したように first-pass 法で $r=0.938$, SB 法で $r=0.932$, MB 法で $r=0.930$ であった^{8,9)}. このように NaI はその有用性が十分に確立されており, すでに日常臨床においても幅広く使用されている.

CdTe を用いたシングルプローブ法については, 未だ開発段階であり, その報告は散見されるのみであるが, Harrison らは G と SB 法で $r=0.7955$, MB 法で $r=0.8212$ であったと報告している¹⁰⁾. 同様に, Hoffer らの報告によると MB 法で $r=0.76$ であった¹¹⁾. われわれの今回の検討では SB 法で $r=0.935$, MB 法で $r=0.892$ であり, 彼らの成績よりも高い相関が得られた. また, CdTe と NaI との比較では, Harrison らは SB 法で $r=0.8057$, MB 法で $r=0.7751$ と報告している¹⁰⁾. これについても, われわれの成績は SB 法で $r=0.939$, MB 法で $r=0.896$ と彼らのものを凌駕している. しかも, 今回の対象者の G での LVEF は 15% から 74% であったことから, CdTe は幅広い範囲で従来の NaI と同様に LVEF を正確に測定することが可能であると考えられる.

1/3 EF, PER および PFR についての報告はほとんどみられないが, われわれの成績では CdTe と G との間には $r=0.682$ ないし 0.777 と LVEF より低いものの有意な正相関が得られた.

CdTe の再現性は未だ報告されていないが, われわれの成績では SB 法で $r=0.949$, MB 法で $r=0.895$ であった. NaI では, 西村らは標準偏差で 5% 以内⁶⁾, 稲垣らは $r=0.987$, 鈴木らは $r=0.958$ と報告している. したがって, われわれの成績は NaI とほぼ同等の再現性を示していると考えられる.

NaI を用いたシングルプローブ法によって LVEF のモニタリングを試みた報告は数多く見受けられる¹²⁻¹⁶⁾. Wagner¹²⁾ らはエルゴメータ負荷時の, Camargo¹³⁾ ら, Berger¹⁴⁾ らは心室性期外収縮時の, Schneider¹⁵⁾ らは心房細動時の, Giles¹⁶⁾ らは喉頭鏡施行時の LVEF の変化を報告

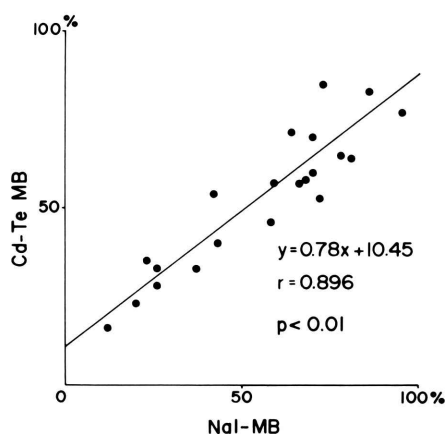


Fig. 7 Correlation of LVEFs determined by MB-mode of CdTe and NaI.

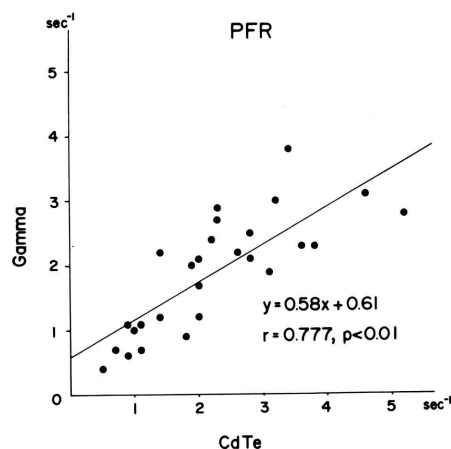


Fig. 10 Correlation of PFRs determined by CdTe and Gamma camera.

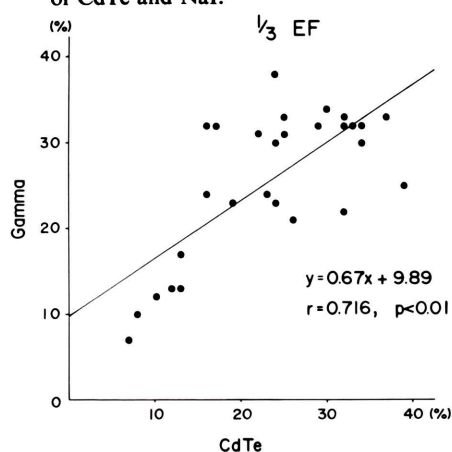


Fig. 8 Correlation of $1/3$ EFs determined by CdTe and Gamma camera.

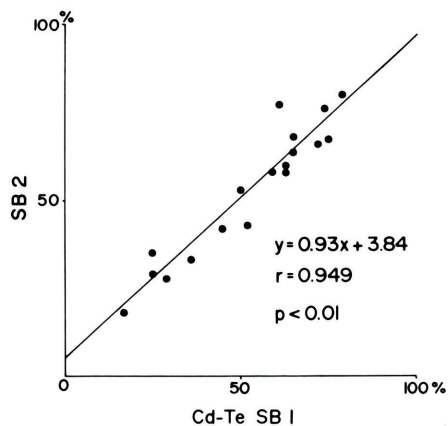


Fig. 11 Comparison of the LVEFs repeated continuously by SB-mode of CdTe probe.

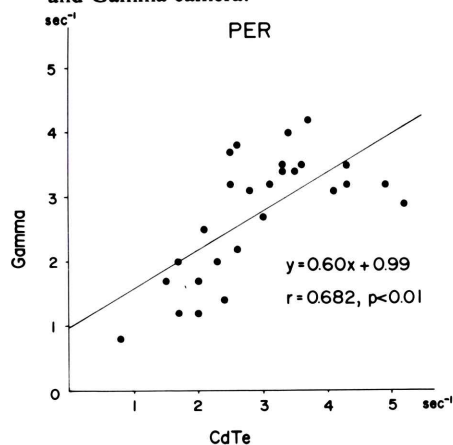


Fig. 9 Correlation of PERs determined by CdTe and Gamma camera.

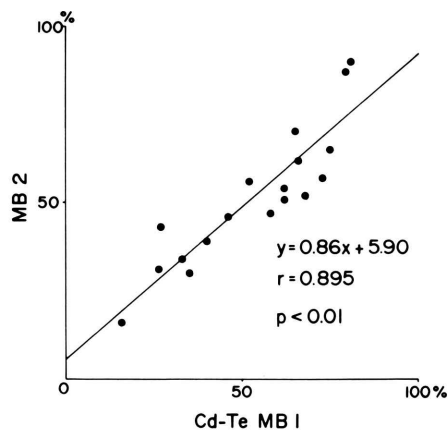


Fig. 12 Comparison of the LVEFs repeated continuously by MB-mode of CdTe probe.



Fig. 13 Our new vest-system for the attachment of the probe to the chest.

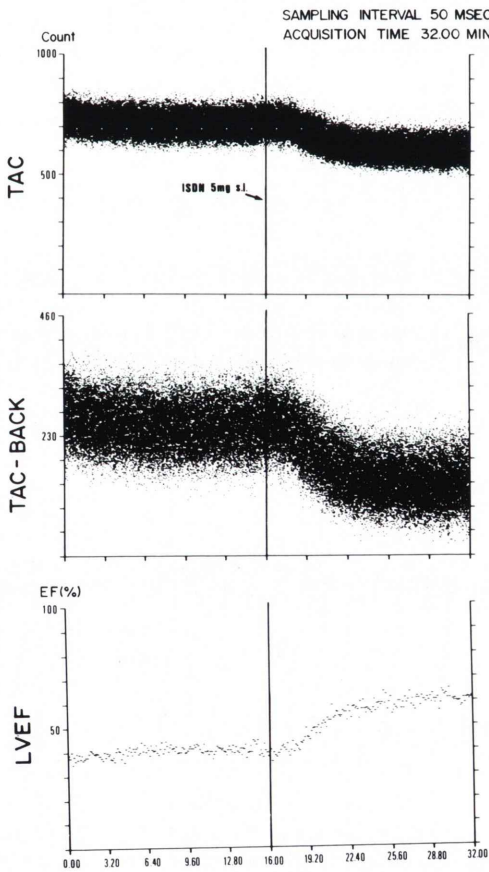


Fig. 14 Pilot long-term monitoring of LVEF. Effect of sublingual administration of ISDN on LVEF. TAC: time activity curve, BACK: background count.

している。しかしながら、これらのいずれもがプローブの大きさとハードウェアの制限などから、仰臥位での計測で、なおかつ10分間程度のモニタリングに留まっている。

これに対して、CdTeはNaIよりもはるかに小型軽量でありWilson¹⁷⁾らはこれを用いて日常労作時のLVEFをモニタリング可能な装置を試作している。この装置はCdTe結晶を7個用いており、全重量が約5.5 kgである。われわれの用いたCdTeは1個の結晶で、Fig. 13に示されるように胸壁固定用ベストにマジックテープで容易に固定できる。このプローブは有線でオムニスコプを介してマイクロコンピュータ(LSI-11/23)と接続することにより、長時間のLVEFをモニタリングすることが可能となった。バックグラウンドの計測は、LVEFのモニタリング開始前と後の2点で行った。しかしながらこの方法では、長時間に及ぶモニタリングの際には、バックグラウンドそのものが種々の負荷により変動する可能性もあるため、果たしてバックグラウンドの測定が2点間の減衰補正で良いのかという問題が残る。Wilson¹⁷⁾らは7個の結晶のうち2個をバックグラウンド測定専用として常時同時測定を行っている。したがって、われわれも将来は2個のプローブを同時に用いる必要があると考えている。

いずれにしても、CdTeプローブによりLVEFを連続的にモニタリングすることが可能であったことより、本法が各種薬剤負荷、体位変換、あるいは日常労作時などにおけるLVEFのモニタリングに応用されることが期待される。

V. 結 論

1) ガンマカメラ(G)とテルル化カドミウム(CdTe)とによるLVEFはSingle-beatモード(SB)で $r=0.935$, Multi-beatモード(MB)で $r=0.892$ と密接な正相関(ともに $n=21$, $p<0.01$)が示された。また、1/3 EF, PER および PFR はそれぞれ $r=0.716$, $r=0.682$, $r=0.777$ と有意な正相関(すべて $n=33$, $p<0.01$)があった。

2) ヨウ化ナトリウム(NaI)とCdTeとによる

LVEFはSBで $r=0.939$, MBで $r=0.896$ と高い正相関(ともに $n=21$, $p<0.01$)が認められた。

3) CdTeによるLVEFの再現性はSBで $r=0.949$, MBで $r=0.895$ ときわめて良好(ともに $n=21$, $p<0.01$)であった。

4) 筆者らの考案したベスト使用により左室駆出率の長時間連続的モニタリングが可能であった。

本論文の要旨は第25回日本核医学会総会(1985年10月, 徳島)および第50回日本循環器学会総会(1986年4月, 京都)において発表した。

文 献

- 1) 村上 剛, 福田利雄, 梅本 享, 他: テルル化カドミウム検出器を用いた動態機能検査装置. *Radioisotopes* **35**: 20-23, 1986
- 2) Wagner HN Jr, Wake R, Nikoloff E, et al: The Nuclear Stethoscope: A simple device for generation of left ventricular volume curves. *Amer J Cardiol* **38**: 747-750, 1976
- 3) Bacharach SL, Green MG, Borer JS, et al: ECG-gated scintillation probe measurement of left ventricular function. *J Nucl Med* **18**: 1176-1183, 1977
- 4) Strashun A, Horowitz SF, Goldsmith SJ, et al: Noninvasive detection of left ventricular dysfunction with a portable electrocardiographic gated scintillation probe device. *Amer J Cardiol* **47**: 610-617, 1981
- 5) Hoiland-Carlsen PH, Marving J, Jensen G: Accuracy of left ventricular ejection fraction determined by the nuclear stethoscope. *Int J Cardiol* **2**: 237-246, 1982
- 6) 西村恒彦, 植原敏勇, 小塚隆弘: シングル・プローベシステム(核聴診器)による左室機能の評価. *核医学* **18**: 215-220, 1981
- 7) 稲垣義明, 斉藤俊弘, 清水正比古: 核聴診器. *呼と循* **31**: 609-613, 1983
- 8) 鈴木 豊, 小野容明, 木下栄治, 他: シングルプローブ装置による左室駆出率測定法の基礎的研究. *核医学* **21**: 353-360, 1984
- 9) 井出 満, 兼本成斌, 五島雄一郎, 他: オムニスコプ(超音波心診断装置付シングルプローブ式シンチレーションカウンタ). *呼と循* **32**: 1039-1045, 1984
- 10) Harrison KS, Liu X, Han ST, et al: Evaluation of a miniature CdTe detector for monitoring left ventricular function. *Eur J Nucl Med* **7**: 204-206, 1982
- 11) 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
- 12) Wagner HN, Rigo P, Baxter R, et al: Monitoring ventricular function at rest and during exercise with a nonimaging nuclear detector. *Amer J Cardiol* **43**: 975-979, 1979
 - 13) Camargo EE, Harrison KS, Wagner HN, et al: Noninvasive beat to beat monitoring of left ventricular function by a nonimaging nuclear detector during premature ventricular contractions. *Amer J Cardiol* **45**: 1219-1224, 1980
 - 14) Berger HJ, Davies R, Batsford WP, et al: Beat-to-beat left ventricular performance assessed from the equilibrium cardiac blood pool using a computerized nuclear probe. *Circulation* **63**: 133-142, 1981
 - 15) Schneider J, Berger HJ, Sands MJ, et al: Beat-to-beat left ventricular performance in atrial fibrillation: Radionuclide assessment with the computerized nuclear probe. *Amer J Cardiol* **51**: 1189-1195, 1983
 - 16) 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. *Amer J Cardiol* **50**: 735-741, 1982
 - 17) Wilson RA, Sullivan PJ, Moore RH, et al: An ambulatory ventricular function Monitor: Validation and preliminary clinical results. *Amer J Cardiol* **52**: 601-606, 1983

Summary

Evaluation of Left Ventricular Functions Using a Cadmium Telluride Probe

Michiru IDE*, Nariaki KANEMOTO*, Yuichiro GOTO* and Yutaka SUZUKI**

**Department of Cardiology, **Radiology,
Tokai University, School of Medicine, Isehara, Japan*

We developed a new single cardiac probe system made by cadmium telluride (CdTe). The advantage of this system is in the small and light equipment and its easy attachment to the chest wall. With this system, left ventricular functions can be evaluated by the following two modes; beat-to-beat (SB) mode and ECG multigated (MB) mode, using an equilibrium radionuclide red blood cell label. The purposes of this study are to evaluate the feasibility of newly developed CdTe probe system 1) comparing the left ventricular functions obtained from the CdTe probe and those from the gamma camera (G), and 2) monitoring LVEF continuously.

In 33 patients (pts) with various heart diseases, the left ventricular functions were estimated with CdTe, NaI and G. Significantly close correlations were elicited between the LVEFs obtained by CdTe and G; the correlation coefficients (r) were 0.935 in SB mode and 0.892 in MB mode respectively (both $p < 0.01$); the correlation coefficients

between LVEFs obtained by CdTe and NaI were 0.939 in SB mode and 0.896 in MB mode (both $p < 0.01$). Samely, 1/3 EF had a good correlation ($r = 0.716$, $p < 0.01$), PER and PFR had significant correlations ($r = 0.682$ and 0.777 ; both $p < 0.01$). The inter-record reproducibility of LVEFs obtained by CdTe were reasonably good ($r = 0.949$ in SB mode, $r = 0.895$ in MB mode; both $p < 0.01$).

The continuous monitoring of LVEF was tested using a newly designed vest system for 30 minutes, which was enable to detect the effect of ISDN on LVEF.

We conclude, therefore, that the CdTe probe system was proved to be useful for the evaluation of LVEF not only in ambulatory patients but also in acutely ill patients in intensive and coronary care units.

Key words: Cadmium telluride, Natrium iodide, Single probe, Gamma camera, Radionuclide angiography.