

《原 著》

^{81m}Kr およびシングルプローブシステム(核聴診器) を用いた右心機能の評価

西村 恒彦* 植原 敏勇* 林田 孝平* 大嶺 広海*
木村 元政* 林 真* 山田 幸典* 小塙 隆弘*

要旨 ^{81m}Kr と核聴診器を用いて連続的に右心機能を測定する方法を開発した。^{81m}Kr は、持続注入法とし、肘静脈より注入、本装置の有する position/monitor mode を用いて検出器を移動させながら、右室、パックグランドを正確に設定、次いで右室駆出分画 (RVEF) を算出した。

核聴診器による RVEF は position/monitor mode, ventricular function mode にて $r=0.88$ (16 症例) と良好な相関を示した。また、カメラコンピュータシステムによるマルチゲート法による RVEF とは $r=0.74$ (11 症例) の相関であった。なお、カメラコンピュータシステムによるファーストパス法で求めた RVEF と、核聴診器およびマルチゲート法との相関は、それぞれ 0.68 (16 症例), 0.87 (11 症例) であった。核聴診器による RVEF の算出は、他法と比較しても良好な相関を示したが、ファーストパス法に比し、三尖弁の動きなどを考慮しないため多少低値を示した。また、本法を用いて、負荷前後における RVEF の変動、不整脈における右室容積の変動など 2~3 の臨床応用を行った。

I. 緒 言

^{81m}Kr は稀ガスの性質を有し、かつ半減期が 13 秒と短かいことから急速注入、持続注入法による右心系における負荷試験への応用測定が可能である^{1~3)}。

一方、シングルプローブシステムを用いた心臓核医学専用機として注目されている核聴診器 (BIOS 社製) は、駆出分画を初めとする心機能に関するパラメータを定量的に、しかもリアルタイムで測定できる。本装置は取扱いが簡便で、あたかも聴診器を用いる手軽さで非観血的に心拍ごと (beat-to-beat) の心機能の測定が行える^{4~6)}。

本研究では、^{81m}Kr 持続注入法と核聴診器を用いることにより連続的に右心機能を計測する方法を開発、本装置による右心機能の測定について検

討するとともに 2~3 の臨床応用について報告する。

II. ^{81m}Kr および核聴診器による右心機能の測定

核聴診器はすでに報告したように検出器およびマイクロプロセッサーの 2 つのユニットで構成されている^{5,6)}。検出器は 2 インチの NaI (Tl) 結晶に焦点型コリメータを付けたものであり、一方マイクロプロセッサーはリアルタイムの位置データ、心拍ごとの容積変化および算出した心機能を表示する CRT ディスプレイを有する。本装置は心機能算出に際し、first transit mode, position/monitor mode, ventricular function mode の 3 つの測定を行える。first transit mode は、心拍出量算出に用いるが、^{81m}Kr の半減期が短すぎるため実際には困難である。そこで、本報告では、position/monitor mode と ventricular function mode による右心機能の測定について述べる。

1. Position/monitor mode

Position/monitor mode は検出器を移動させる

* 国立循環器病センター放診部

受付：57年6月21日

最終稿受付：57年10月4日

別刷請求先：吹田市藤白台 5-125 (番 565)

国立循環器病センター 西 村 恒 彦

ことにより右心室およびバックグラウンドの位置ぎめや心拍ごとの容積変化にもとづく右室駆出分画(RVEF)の測定に用いる(Fig. 1). 本モードは50 msecの間隔にてCRTに心拍ごとの容積変化をモニターすることが可能である.

右心室、バックグラウンドの設定に関しては、CRTに表示される indicator bar, すなわちストローク量曲線の変動を検出器を移動させながら、最大(右心室), 最小(バックグラウンド)として設定する. Fig. 2 に、右室、右房、肺動脈、バックグラウンドなどの各部位におけるストローク量曲線の変化を示す. したがって、position/monitor mode を用いることにより、Fig. 3 に示すように心拍ごとの RVEF を算出することができる.

2. Ventricular function mode

Ventricular function mode はマルチゲート法と同様にして右室容積曲線を求め、RVEF を算出することができる. 心拍同期は2心拍ごととし、かつデータ収集は、30, 60, 120, 240 秒と適宜選択できる. Ventricular function mode により得られた右室容積曲線を Fig. 4 に示す. なお、本法は RVEF の他に右室容積、分時拍出量などをカウント数の変化として相対的に算出できる.

III. 方法および対象

1. 右心機能の測定

被検者を仰臥位にして ^{81m}Kr (10 mCi) を持続注入ポンプを用いて 1 ml/sec の流量で肘静脈より注入する. 次いで検出器を正面ないし右前斜位 30° に設定、前述した indicator bar をしながら検出器を移動させ、最大(右心室)、最小(バックグラウンド)になる位置を正確に設定する.

正常および各種心疾患16症例において、position/monitor mode にて心拍ごとの容積変化から RVEF の算出を行った. 次いで、ventricular function mode を用いて右室容積曲線を求め RVEF を算出し、両者を比較した.

また、14症例にて、引き続きシンチカメラ(Ohio-Nuclear Σ410S 型)とオンラインで接続したミニコンピュータシステム(PDP 11/60, GAMMA 11)を用いて ^{81m}Kr 持続注入法によるマルチゲート法を行い RVEF を算出し、核聴診器による RVEF と比較した.

さらに、著者らが開発した ^{81m}Kr 急速流入法^{1,2)}を用いたファーストパス法による RVEF の算出を16症例にて行い、核聴診器および、シンチカメ

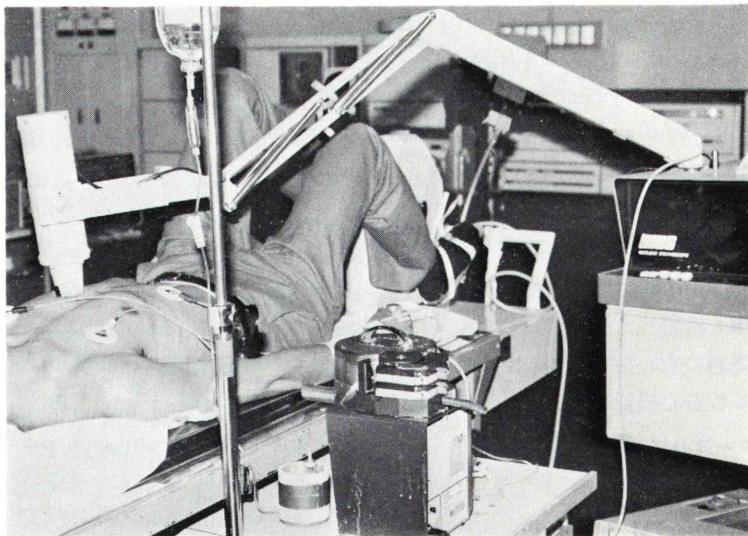


Fig. 1 Measurement of right ventricular function by nuclear stethoscope and ^{81m}Kr .

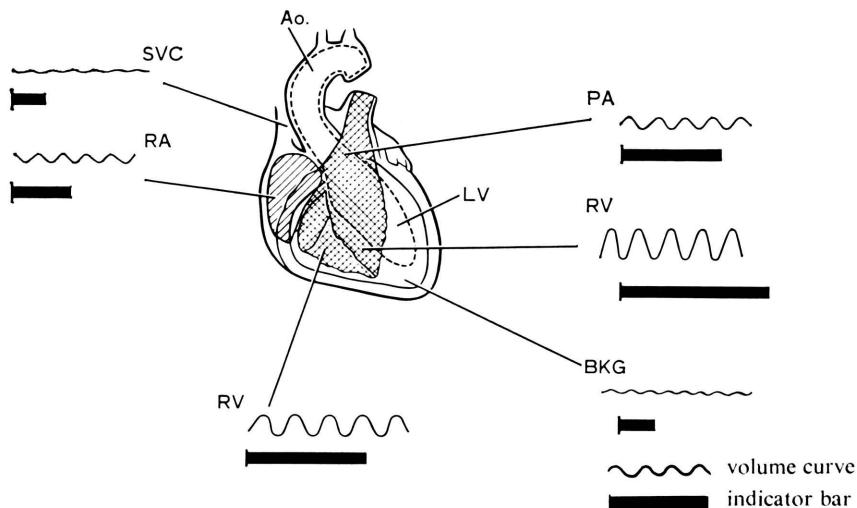
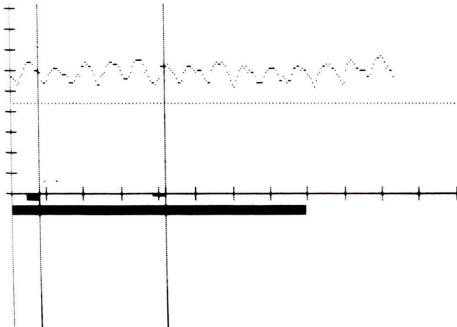


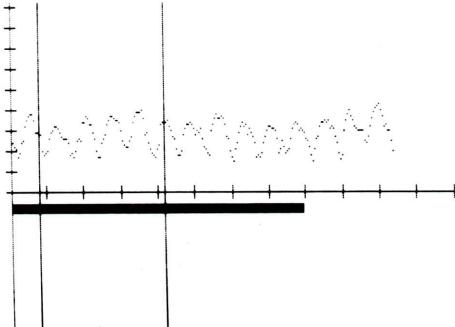
Fig. 2 Optimal positioning of the nuclear stethoscope for right ventricle and background by position/monitor mode.

```
-READ- POSITION/MONITOR
US= 20280/50MS BKG= 19400C/SEC
RCO= 40.5/MIN SU=0.57 EDU=1.28
HR= 71/MIN T1= 4.40SEC RATIO=655.35
FR=1.62/S T2= 0.80SEC T2-T1= 3.60SEC
EF= 44% T3= 0.80SEC T3-T2= 0.00SEC
```



(a)

```
-READ- POSITION/MONITOR
US= 20280/50MS BKG= 19400C/SEC
RCO= 40.5/MIN SU=0.57 EDU=1.28
HR= 71/MIN T1= 4.40SEC RATIO=655.35
FR=1.62/S T2= 0.80SEC T2-T1= 3.60SEC
EF= 44% T3= 0.80SEC T3-T2= 0.00SEC
```



(b)

Fig. 3 Calculation of RVEF by (a) position monitor mode and (b) background subtraction.

ラ・コンピュータシステムを用いたマルチゲート法による RVEF との比較を、それぞれ 16, 11 症例にて行った。

なお、これらの症例の内訳は正常 5 例、虚血性心疾患(狭心症 4 例、心筋梗塞 6 例)および肺梗塞症 1 例であり、すべて整脈を有するものである。

2. 運動負荷における右心機能の測定

1 と同様の虚血性心疾患 10 例(右冠動脈閉塞群 3 例を含む)、正常 5 例にて、自転車エルゴメータによる多段階漸増負荷法を行い、負荷前後における

RVEF の変動について検討した。

3. 不整脈における右心機能の測定

さらに心房細動など不整脈を有する 5 症例において心拍ごとの右室容積変化をストリップチャートに心電図と同時記録した。

IV. 結 果

1. 右心機能の測定

核聴診器における position/monitor mode および ventricular function mode を用いて求めた

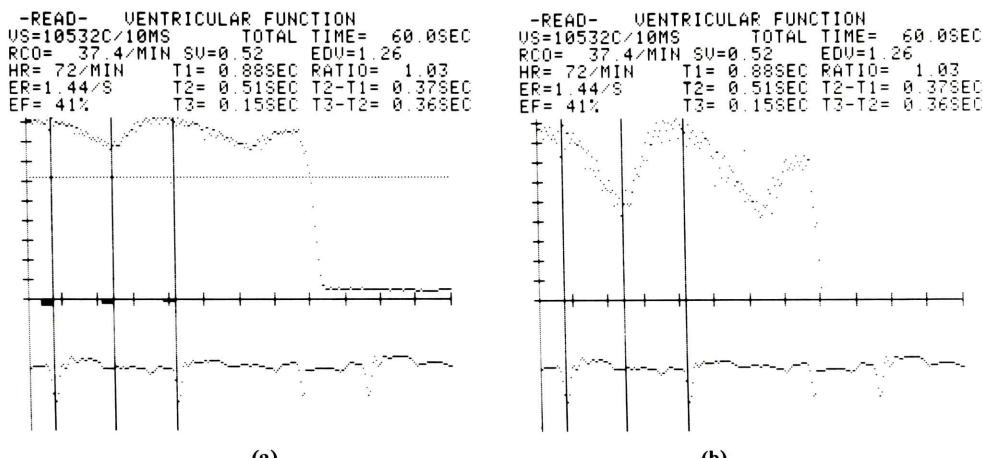


Fig. 4 Calculation of RVEF by (a) ventricular function mode and (b) background subtraction.

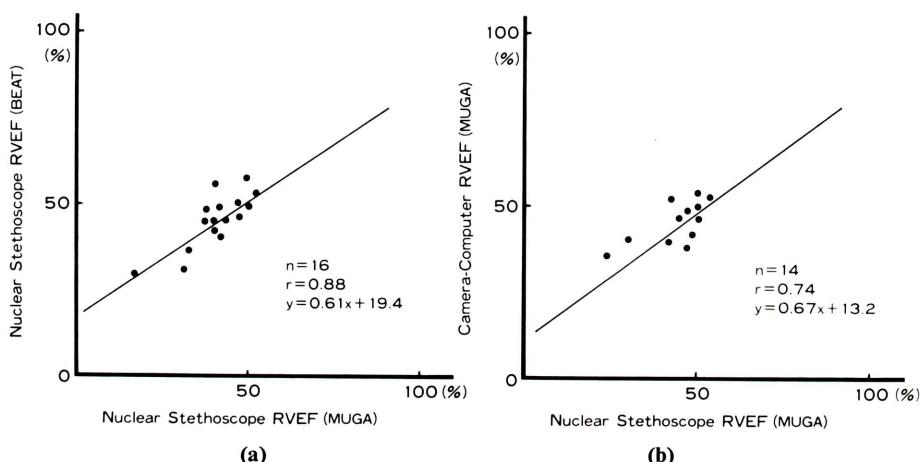


Fig. 5 (a) Correlation between nuclear stethoscope RVEF (MUGA) and nuclear stethoscope RVEF (beat-to-beat), and (b) correlation between nuclear stethoscope RVEF (MUGA) and camera-computer RVEF (MUGA).

RVEF の相関は 16 症例にて $r=0.88$ であった。また、シンチカメラ・コンピュータシステムを用いて求めたマルチゲート法による RVEF と、核聴診器における ventricular function mode による RVEF との相関は 14 症例にて $r=0.74$ であった (Fig. 5)。

^{81m}Kr 急速流入法によるファーストパス法から求めた RVEF と核聴診器およびカメラ・コンピュータシステムを用いて求めたマルチゲート法による RVEF との相関は、それぞれ 16, 11 症例に

て $r=0.68$, $r=0.87$ であった (Fig. 6)。

また、任意に選んだ 8 症例にて、2人の検査者により、position/monitor mode による RVEF の算出を行い、その再現性を検討したが、全症例において RVEF は最大 8 %以内の変動 (平均 5.2%) であった。

2. 運動負荷時における右心機能の測定

Fig. 7 に運動負荷前後における RVEF の変動を示す。運動負荷法は多段階漸増負荷法とし、EX-1, EX-2 はそれぞれ 25 watt 3 分間, 50 watt

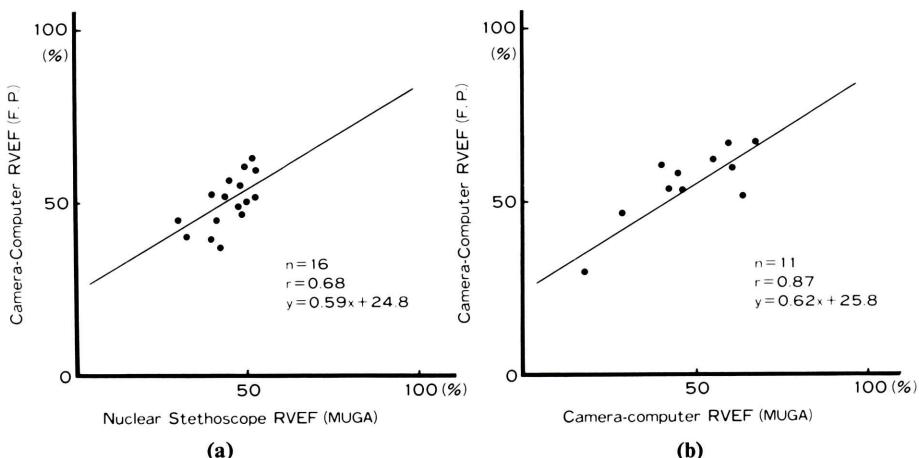


Fig. 6 (a) Correlation between camera computer RVEF (first-pass method) and nuclear stethoscope RVEF (MUGA), and (b) correlation between camera-computer RVEF (first-pass method) and camera-computer RVEF (MUGA).

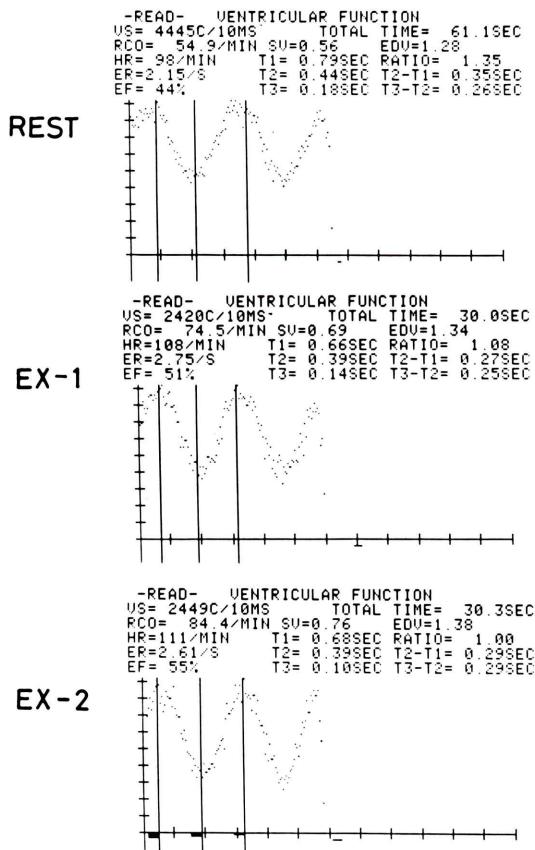


Fig. 7 Exercise/rest RVEF by nuclear stethoscope and $^{81}\text{m}\text{Kr}$. EX 1 and EX 2 showed exercise capacity $25 \text{ watt} \times 3 \text{ minutes}$ and $50 \text{ watt} \times 3 \text{ minutes}$, respectively (normal case).

3分間である。本症例は正常例であり、RVEFは44%（安静時）から51%（Ex-1）、55%（Ex-2）と増加を示す。また右冠動脈閉塞3例にて、RVEF（平均）は、安静時から運動負荷時に、48%から46%へと、右冠動脈非閉塞群（54%から60%に増加）に比し増加を認めなかった。さらに、Fig. 8は、1～2分ごとにおける運動負荷中のRVEFの変動を観察したものである。正常例(a)に比し、3枝病変を有する下壁梗塞例(b)では、負荷後RVEF、相対的心拍出量(relative C.O.)の増加を認めない。

3. 不整脈における右心機能の測定

正常洞調律(a)および心房細動(b)における心電図、右室容積変化をFig. 9に示す。心房細動症例では心拍ごとのR-R間隔の長短に伴う右室容積変化が明瞭にとらえられた。

V. 考 案

すでに報告したように、核聴診器の利点は $^{99}\text{m}\text{Tc}$ -in vivo赤血球標識を用いることにより心拍ごとの左心機能を連続的に測定できることである^{5,6)}。欠点としては空間的イメージングとしての局所壁運動の観察が不可能なことである。しかし、本装置に有するposition/monitor modeの独創性にもとづいて心室の位置ぎめをかなり正確に行うことができる特徴を有する。

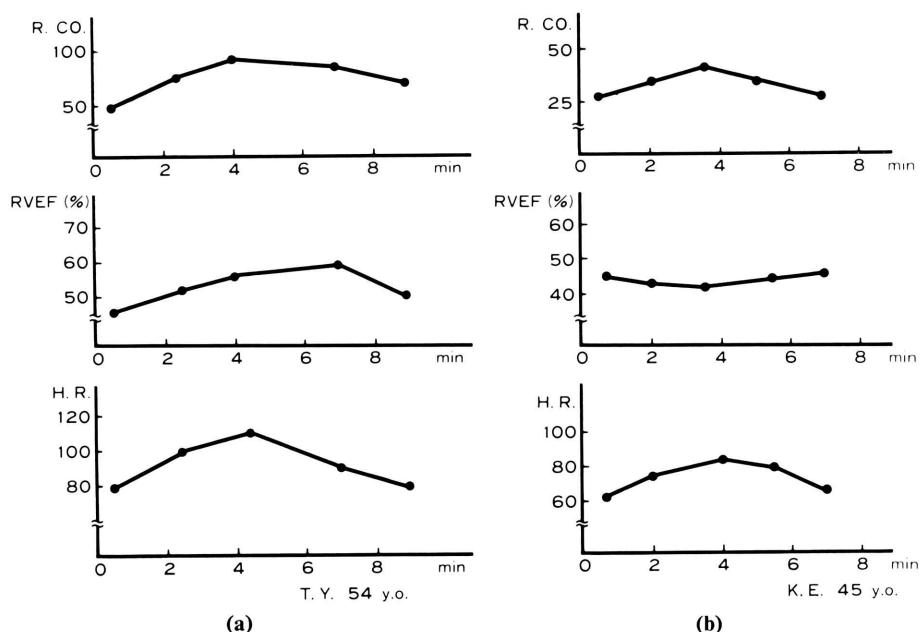
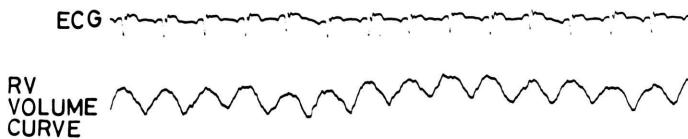


Fig. 8 Serial measurement of right ventricular function during exercise by nuclear stethoscope and ^{81m}Kr . (a) normal case and (b) inferior infarction (triple vessel diseases).

NORMAL SINUS RHYTHM



ATRIAL FIBRILLATION

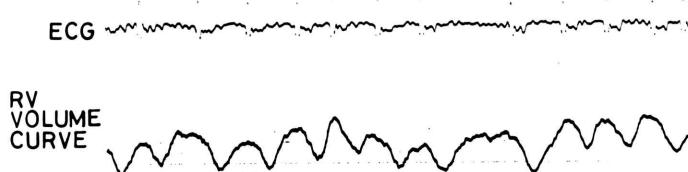


Fig. 9 Beat-to-beat RVEF by nuclear stethoscope and ^{81m}Kr . (a) normal sinus rhythm and (b) atrial fibrillation.

著者らは、核聴診器による左心機能の評価に加え、 ^{81m}Kr の有する特性を利用して、右心機能の連続的観察が可能な方法を開発した。

^{81m}Kr による右心機能に関しては、著者らはす

でに急速流入法を用いたファーストパス法により虚血性心疾患や三尖弁閉鎖不全症例の重症度評価に応用してきた^{1,2)}。本法は、これに加えて、心拍ごとの RVEF を初め、右心機能を連続的に観

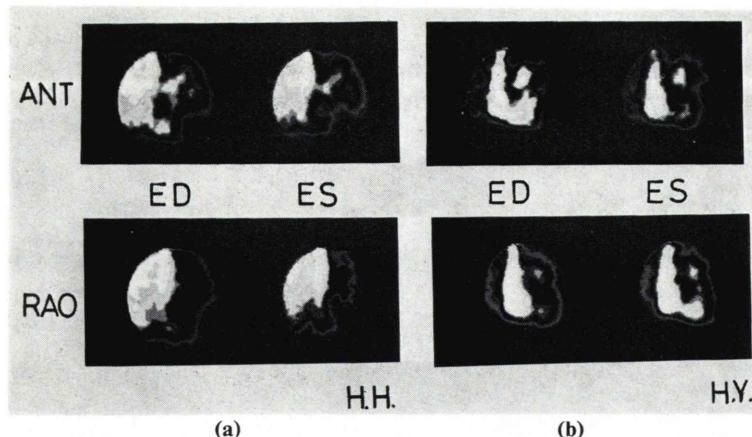


Fig. 10 Right ventricular wall motion by multi-gated ^{81m}Kr infusion method. (a) normal and (b) reduced right ventricular wall motion by pulmonary embolism.

察できる利点を有する。

ところで、持続注入法を用いる場合、シンチカメラ・コンピュータシステムを使用することも可能であるが、核聴診器に比較して、検出器の感度が低いため、持続注入時に多くの輸液量を必要とすること、また肺動脈部位に ^{81m}Kr が達するまでに減衰が大きく、また肺野がつねに描出されるため時として明瞭な右心系のイメージが得られないことがある。

核聴診器による RVEF の測定に関しては、position/monitor mode, ventricular function mode の両者において RVEF は $r=0.88$ と良好な相関を有していた。またカメラ・コンピュータシステムによるマルチゲート法と ventricular function mode は $r=0.74$ と良好な相関を認めた。

一方、カメラ・コンピュータシステムによるファーストパス法を用いた RVEF と、核聴診器、およびカメラ・コンピュータシステムによるマルチゲート法による RVEF とは、それぞれ 0.68, 0.87 の相関であった。とくに、Fig. 6 の回帰式において (a), (b) ともファーストパス法による RVEF が高く算出されるのは、著者ら⁷⁾のファーストパス法による RVEF の算出では肺野のバックグラウンド、三尖弁の動きの補正を行っているのに対し、マルチゲート法、核聴診器では行っていないためと考えている。

いずれにしろ、核聴診器による RVEF の算出は position/monitor mode を活用することにより、再現性も高く、かつリアルタイムで観察できることになる。このことは Fig. 10 に示すようなマルチゲート法で得られる空間的イメージングによる右室局所壁運動の評価⁸⁾が行えなくとも臨床的には十分に価値がある。ちなみに、Fig. 10 は (a) 正常例と (b) 右心機能低下例における右室拡張末期、収縮末期像であるが、(b) では右室局所壁運動の低下および RVEF の低下 (26%) を認めている。

このように、核聴診器を用いた RVEF の算出は、第 1 に、運動、薬剤、ペーシング負荷などに伴う RVEF の変動を計測するのに有用である。著者らの成績でも、右冠脈閉塞群における RVEF の増加が運動負荷時に少ないことを認めており、虚血心のみならず各種心疾患における右心予備能の評価に役立つであろう^{9,10)}。第 2 は、Fig. 9 のように、心拍ごとの変化に伴う右室容積変化を視覚的にとらえられることは不整脈における右心機能の解釈に有用であろう。

VI. 結 論

- 1) 超短半減期核種である ^{81m}Kr と核聴診器を同時に使用することにより右心機能を連続的に観察する方法を開発した。^{81m}Kr は、持続注入ポンプを用いた持続注入法とし、右室、バックグラウ

ンドの設定は position/monitor mode にて正確な位置ぎめを行い RVEF を算出した。

2) 核聴診器による RVEF の測定は、カメラ・コンピュータシステムによる測定と比較すると、マルチゲート法では $r=0.74$ 、ファーストパス法では $r=0.68$ との相関を示した。したがって、核聴診器による RVEF の算出は、臨床的に十分使用できると考えられる。

3) 本法は連続的に右心機能を測定できるため第1に運動、薬剤など各種負荷に伴う右心予備能、第2に不整脈時における心拍ごとの右室容積変化の評価に有用であろう。

文 献

- 1) 西村恒彦、植原敏勇、林田孝平、他: ^{81m}Kr による右房・右心機能に関する研究—intervention study への応用—。核医学 **18**: 1431-1436, 1981
- 2) 西村恒彦、植原敏勇、林田孝平、他: ^{81m}Kr による右房・右心機能の評価。第3回心臓核医学研究会発表 1982年6月(大阪), 心臓 **14**: 印刷中
- 3) Knapp WH, Helus F: Short-lived radionuclides for

assessment of rapid cardiovascular drug effects. Nuclear Medizin **19**: 161-165, 1980

- 4) Wagner HN, Rigo P, Alderson PO, et al: Monitoring ventricular function at rest and during exercise with a nonimaging nuclear detector. Am J Cardiol **43**: 975-979, 1979
- 5) 西村恒彦、植原敏勇、小塚隆弘: シングルプローブシステム(核聴診器)による左心機能の評価。核医学 **17**: 699-705, 1980
- 6) 西村恒彦: Nuclear Stethoscope による左心機能の評価。臨放 **6**: 355-363, 1981
- 7) 植原敏勇、西村恒彦、林田孝平、他: 心 RI アンジオグラフィによる RVEF の算出および急速流入効果について。核医学 **18**: 917-927, 1981
- 8) 西村恒彦、植原敏勇、林田孝平、他: 心 RI アンジオグラフィによる右室局所壁運動の評価。核医学 **18**: 427-440, 1980
- 9) Berger HJ, Johnstone DE, Zaret BL, et al: response of right ventricular ejection fraction to upright bicycle exercise in coronary artery disease. Circulation **60**: 1292, 1979
- 10) 西村恒彦、植原敏勇、林田孝平、他: 負荷心 RI アンジオグラフィによる虚血性心疾患における右心予備能の評価。第50回日循地方会発表(京都)1980年12月

Summary

Monitoring of Right Ventricular Function by Single Probe System (Nuclear Stethoscope) and ^{81m}Kr

Tsunehiko NISHIMURA, Toshiisa UEHARA, Kohei HAYASHIDA, Hiromi OHMINE, Motomasa KIMURA, Makoto HAYASHI, Yukinori YAMADA and Takahiro KOZUKA

Division of Nuclear Medicine, Department of Radiology, National Cardiovascular Center, Suita, Osaka

A single probe system (nuclear stethoscope) was developed to evaluate the monitoring of right ventricular function by ^{81m}Kr continuous infusion method. Optimal right ventricular and background positions were determined by position/monitor mode on beat-to-beat basis, and right ventricular ejection fraction (RVEF) was calculated by multi-gated method (MUGA). The correlation coefficient of nuclear stethoscope RVEF and camera-computer RVEF (MUGA) was 0.82, while the correlation coefficient of nuclear stethoscope RVEF and camera-computer RVEF (first-pass method) was 0.64. Therefore, the RVEF by nuclear

stethoscope is useful for monitoring of right ventricular function. Clinical applications by ^{81m}Kr and nuclear stethoscope were as follows.

1. Exercise/rest RVEF is an extremely sensitive indicator to discriminate coronary artery disease (RCA occlusion) from normal subjects.

2. Beat-to-beat right ventricular volume response is useful for the monitoring of arrhythmia such as atrial fibrillation.

Key words: ^{81m}Kr infusion method, nuclear stethoscope, right ventricular ejection fraction, beat-to-beat right ventricular function.