

《原 著》

初回通過時稀釈法による右室駆出分画測定の見直し

滝 淳一* 四位例 靖* 分校 久志* 中嶋 憲一*
 山田 正人** 南部 一郎* 多田 明*** 谷口 充*
 利波 紀久* 久田 欣一*

要旨 初回通過時稀釈法 (FTC) による右室駆出分画 (RVEF) 測定法の基礎的検討を行った。RVEF は上大静脈の時間放射能曲線 (TAC) を入力関数とした deconvolution 後の右心室 TAC の下降部を指数関数近似して得られた減衰定数 k を心拍数で割ることにより求めた。検者内 ($n=12$) および検者間 ($n=18$) の再現性は良好であり、その相関係数 r はそれぞれ 0.93, 0.97 であった。本法による RVEF と従来からの first pass (FP) 法および平衡時心電図同期法 (GBP) による RVEF の間には、 $EF(FTC)=0.95EF(FP)+2.9\%$ ($r=0.86$) および $EF(FTC)=0.89EF(GBP)+3.3\%$ ($r=0.90$) の良好な相関関係を認めた。関心領域 (ROI) の設定の違いによる RVEF 値の変化は少なく、正確に右室に ROI を設定した場合と右房をも含めた場合の RVEF 値には有意差はなく $r=0.96$ と良好な相関をみた。以上より FTC 法による RVEF 算出は簡便かつ ROI 設定による影響の少ない有用な方法と結論された。

I. はじめに

右室駆出分画 (RVEF) は右室梗塞や右室負荷をきたす種々の病態で変化を示してることが報告されている¹⁻³⁾。右室造影による RVEF 測定は、右室の解剖学的複雑性のために誤差が多く十分確立された方法がないのが現状である。一方核医学検査法としてはファーストパス法、平衡時心電図同期法が用いられ、いずれもカウント法によるためにより簡便で正確な方法と考えられる。今回われわれはこれらの方法に加えて Tc-99m pertechnetate ボーラス注入後の右室時間放射能曲線 (TAC) より簡単に RVEF を算出できる初回通過時稀釈法を開発し比較検討を加えたので報告する。

II. 理 論

一回拍出量を SV 、右室拡張末期容積を EDV 、右室を通過する RI の平均通過時間を MTT 、心拍出量を CO 、心拍数を HR とすると、

$$RVEF=SV/EDV \dots\dots\dots(1)$$

と表わされる。

ここで

$$SV=CO/HR \dots\dots\dots(2)$$

であり、またコンパートメント解析の考え方に従えば、 RI の通過する分布容積は流量と平均通過時間の積となる。したがって、

$$EDV=CO \times MTT \dots\dots\dots(3)$$

となる。

(2), (3) 式を (1) 式に代入し

$$RVEF=(CO/HR)/(CO \times MTT) \\ = (1/HR)/MTT \dots\dots\dots(4)$$

となる。

一方ある瞬間に全 RI が右室に注入されたとし、その右室 TAC が指数関数 Ce^{-kt} (C は定数, $k>0$) と表わされるとすると MTT の定義式より

* 金沢大学医学部核医学科

** 同 付属病院アイソトープ部

*** 国立金沢病院放射線科

受付: 60年9月2日

最終稿受付: 60年11月5日

別刷請求先: 金沢市宝町13-1 (☎920)

金沢大学医学部核医学科

滝 淳 一

$$\begin{aligned}
 MTT &= \int_0^{\infty} tCe^{-kt}dt / \int_0^{\infty} Ce^{-kt}dt \\
 &= \int_0^{\infty} te^{-kt}dt / \int_0^{\infty} e^{-kt}dt \dots\dots\dots(5)
 \end{aligned}$$

となる。

ここで

$$\begin{aligned}
 \int_0^{\infty} te^{-kt}dt &= \left[-\frac{t}{k}e^{-kt} \right]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} \frac{1}{k}e^{-kt}dt \\
 &= \frac{1}{k} \int_0^{\infty} e^{-kt}dt \dots\dots\dots(6)
 \end{aligned}$$

となり

(6) 式を (5) 式に代入し $MTT=1/k$ となる。

これを (4) 式に代入し

$$RVEF=k/HR$$

と計算される。

III. 対象, 方法

陳旧性心筋梗塞, 狭心症, 大動脈弁および僧帽弁閉鎖不全症の症例を対象とした。

スラントホールコリメータを装着したガンマカメラ (Ohio-Nuclear Σ 410s) および核医学データ処理装置 (Ohio-Nuclear, VIP-450) を使用した。

ファーストパス (FP) 法は RI ボーラス注入後より右前斜位 (RAO) 30度から 0.05 秒ごとにデータ

収集し, 右室に設定した固定 ROI 内の TAC より 1-3 心拍の EF を平均して RVEF とした。

初回通過時希釈 (first transit clearance, FTC) 法では FP 法で得られたデータを 0.5 秒ごとに再編集し, 上大静脈部 ROI の TAC をガンマ関数近似し, これを入力関数として deconvolution して得られた右室 TAC の下降部を指数関数近似して

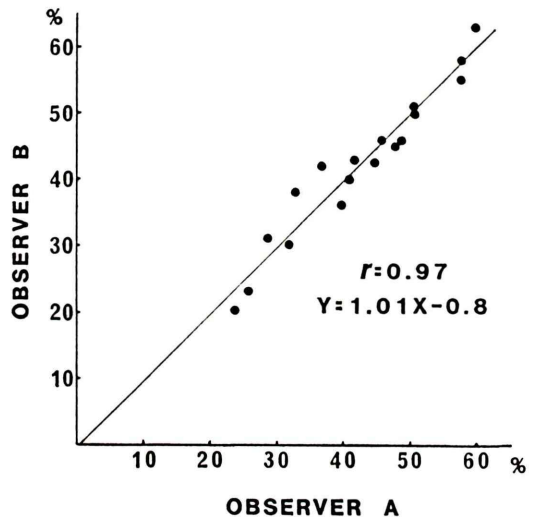


Fig. 2 RVEF values calculated by two observers. Interobserver reproducibility was good.

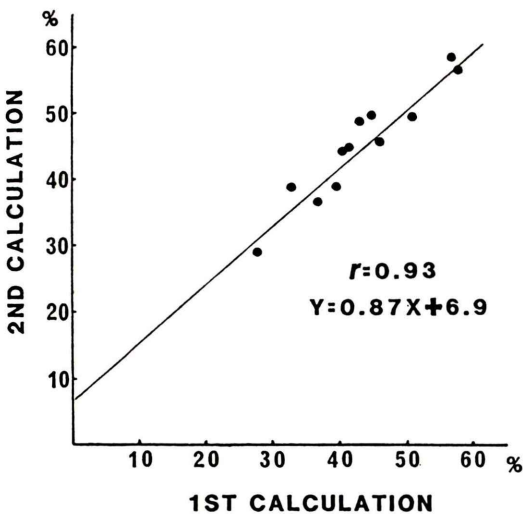


Fig. 1 RVEF values calculated two times by one observer. Intraobserver reproducibility was good.

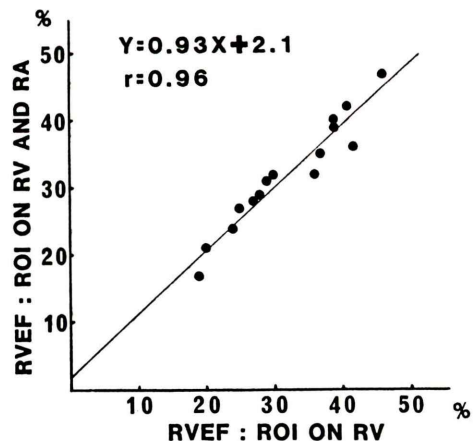


Fig. 3 Correlation between the RVEF values calculated by the precise right ventricular ROI setting and by the ROI containing right ventricle and right atrium. There was good correlation between these two methods.

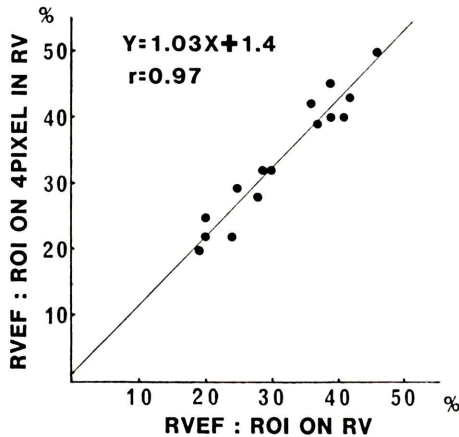


Fig. 4 Correlation between the RVEF values calculated by the precise right ventricular ROI setting and by the ROI of only 4 pixels in right ventricle. There was also good correlation between these two methods.

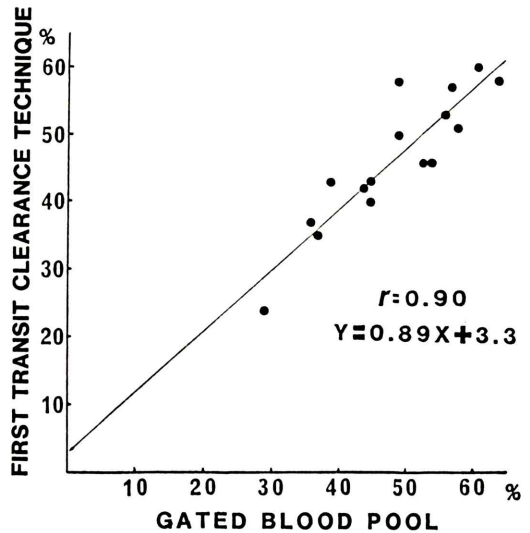


Fig. 6 In calculation of RVEF there was good correlation between the gated blood pool method and first transit clearance technique.

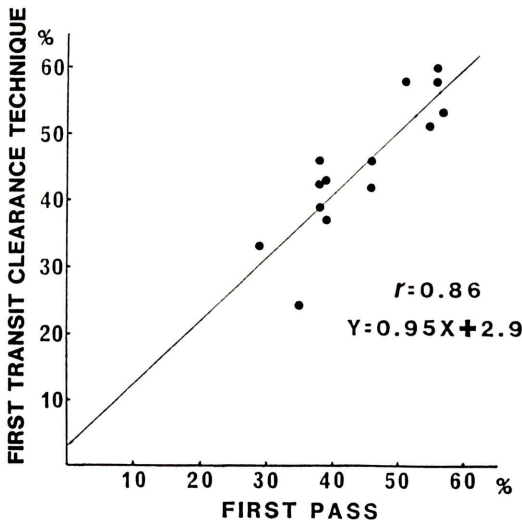


Fig. 5 Good correlation of RVEF values was obtained by first pass method and first transit clearance technique.

減衰定数 k を求めた。RVEF は上記のごとく $RVEF = k/HR$ の式から求めた。

平衡時心電図同期法はピロリン酸による体内赤血球標識法を用いた。35度の caudal tilt をかけて左前斜位35度よりデータを収集した。Goris の変

法によるバックグラウンド除去後の右室 ROI の TAC より拡張および収縮末期のフレームを決定しそれぞれに右室 ROI を設定し RVEF を求めた。

FTC 法において ROI の設定のしかたによる RVEF の変化をみるために右室のみに ROI を設定した場合と右房をも含めて ROI を設定した場合および右室内の 4 画素に設定した場合の RVEF を比較した。

IV. 結 果

検者内 ($n=12$) および検者間 ($n=18$) の再現性は良好であり相関係数 r はそれぞれ 0.93, 0.97 であった (Figs. 1, 2)。ROI を右室に設定した場合 (RV) と右房をも含めて設定した場合 (RV, RA) の RVEF 値の間には $EF(RV, RA) = 0.93 EF(RV) + 2.1 (\%)$, $r = 0.96$ ($n=15$) の良好な相関を認め (Fig. 3) また両者の RVEF の平均値はそれぞれ $32.1 \pm 8.4 (SD)\%$, $32.0 \pm 8.1\%$ であり有意差を認めなかった。ROI 設定を右室にした場合 (RV) と右室内の 4 画素のみにした場合 (4 pixels) の RVEF 値の間には $EF(4 \text{ pixels}) = 1.03 EF(RV) + 1.4 (\%)$, $r = 0.97$ ($n=15$) の良好な相関を認め (Fig.

4), 平均値はそれぞれ $31.7 \pm 8.9\%$, $33.9 \pm 9.5\%$ で有意差を認めなかった。

FP 法との比較では良好な相関を認め $r=0.86$ ($n=14$) であり $EF(FTC)=0.95 EF(FP)+2.9(\%)$ の関係が成立した (Fig. 5)。また FTC, FP 法の平均値はそれぞれ $45.2 \pm 10.3\%$, $44 \pm 9.2\%$ と有意差を認めなかった。GBP 法との比較では $EF(FTC)=0.98 EF(GBP)+3.3(\%)$, $r=0.90$ ($n=16$) の良好な相関を認め (Fig. 6) それぞれの方法の平均値は GBP 法 $48.5 \pm 9.9\%$, FTC 法 $46.5 \pm 9.9\%$ であり有意差を認めなかった。

V. 考 察

平衡時心電図同期法による RVEF の算出の問題点は、左前斜位方向よりデータを収集するために右房と右室の重なりが避けられないことにある⁴⁻⁶⁾。これに対してファーストパス法では右前斜位よりデータを収集するために右房と右室の重なりはかなり除去できる。しかしながらいずれの方法においても三尖弁および肺動脈弁口部を常に正確に決定することは難しく、不適切な ROI 設定により RVEF の過大または過少評価を生じることになる⁴⁻⁶⁾。これに対して初回通過時稀釈法はボーラス注入された RI 濃度の変化により RVEF を求めるので、右室内での RI の混合が十分であれば理論的には右室内のいずれの場所の濃度変化のデータからも同一の RVEF 値を得ることができると考えられる⁶⁾。また右室と右房はとなりあっており右房の血流は右室から肺動脈への血液の拍出に依存するところが大きいと考えられ、右房と右室の RI 濃度の変化には大きな差はないと思われる。したがって ROI に右房が含まれても RVEF 値に大きな変化は生じないと考えられる。これらのことは ROI を右室内の 4 画素にとった場合および右房を含めた場合にもその RVEF 値は本来の右室に ROI を設定した RVEF 値と良好な相関を示し良く一致したことで実証された。

本法は右室内にボーラス注入された RI の稀釈過程より RVEF を算出するために RI のボーラス性に影響されると考えられる。そこでこの影響

を除くために上大静脈を入力関数として右室 TAC を deconvolution し、得られた右室 TAC を解析の対象とし RVEF の過少評価を押えることができた。

再現性は検者内、検者間とも良好でそれぞれ $r=0.93, 0.97$ であり、また FP 法および GBP 法とも良く相関しその平均値にも有意差を認めなかった。本法は 0.5 秒ごとのイメージが 60 枚もあれば十分であり、FP 法に比してコンピュータの記憶容量が少量でよく、ROI 設定の変化による誤差が少ない簡便で再現性の良い RVEF 算出法と結論できた。

VI. ま と め

1. 右室 TAC 下降部の指数関数近似で求めた減衰定数 k を心拍数で除して RVEF を算出する初回通過時稀釈法 (FTC) の基礎的検討を行った。

2. 検者内、検者間の再現性 ($r=0.93, 0.97$) は良好であった。

3. ROI を右室に設定した場合とそれぞれ右房を含めた場合および右室内の 4 画素のみにとった場合の RVEF 値は良く相関し ($r=0.96, 0.97$) 有意の変化を示さず ROI の設定による誤差の少ない方法と考えられた。

4. GBP 法および FP 法とも良く相関し ($r=0.90, 0.86$) 平均値にも有意差を認めなかった。

5. 以上より本法は簡便で有用な RVEF 算出法と結論できた。

文 献

- 1) Korr KS, Gandsman EJ, Winkler ML, et al: Hemodynamic correlates of right ventricular ejection fraction measured with gated radionuclide angiography. *Am J Cardiol* 49: 71-77, 1982
- 2) Winzelberg GG, Boucher CA, Pohost GM, et al: Right ventricular function in aortic and mitral valve disease. Relation of gated first-pass radionuclide angiography to clinical and hemodynamic findings. *Chest* 79: 520-528, 1981
- 3) Berger HJ, Matthay RA, Marshall TC, et al: Assessment of cardiac performance with quantitative radionuclide angiography: Right ventricular ejection fraction with reference to findings in

- chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Cardiol* **41**: 897-905, 1978
- 4) Legrand V, Chevigne M, Foulon J, et al: Evaluation of right-ventricular function by gated blood-pool scintigraphy. *J Nucl Med* **24**: 886-893, 1983
- 5) Holman BL, Wynne J, Zielonka JS, et al: A simplified technique for measuring right ventricular ejection fraction using the equilibrium radionuclide angiogram and the slant-hole collimator. *Radiol* **138**: 429-435, 1981
- 6) Aswegen AV, Herbst CP, Otto AC, et al: Determination of right ventricular ejection fraction utilising a radionuclide washout technique. *Eur J Nucl Med* **8**: 477-481, 1983

Summary

Determination of Right Ventricular Ejection Fraction Using First Transit Clearance Technique

Junichi TAKI*, Yasushi SHIIRE*, Hisashi BUNKO*, Kenichi NAKAJIMA*,
Masato YAMADA**, Ichiro NANBU*, Akira TADA***,
Mitsuru TANIGUCHI*, Norihisa TONAMI* and Kinichi HISADA*

*Department of Nuclear Medicine, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa, Japan

**Department of Radioisotope Technology, Kanazawa University Hospital

***Department of Radiology, Kanazawa National Hospital

First transit clearance technique (FTC) for calculation of right ventricular ejection fraction (RVEF) was evaluated and compared with first pass technique (FP) and gated blood pool technique (GBP). Data were obtained as a series of 0.5 second images in the 30 degrees right anterior oblique projection using slant-hole collimator. Right ventricular (RV) region of interest (ROI) was outlined on the image during the RV stage of transit. Down slope of RV time activity curve generated by deconvolution analysis was fitted by exponential function and obtained clearance rate constant (k). RVEF was calculated by following equation. $RVEF = k/HR$, where HR is heart rate. Good intra and interobserver reproducibilities were obtained and the correlation coefficients (r)

were 0.93, 0.97 respectively. RVEF values calculated by FTC and FP showed good correlation ($r=0.86$, $p<0.001$) and also good correlation ($r=0.90$, $p<0.001$) was obtained between FTC and GBP. There were no significant differences among RVEF values calculated from these three methods. There was strong correlation between the RVEF values calculated by precise RV ROI setting and rough ones (containing right atrium in ROI ($r=0.96$) or only 4 pixels in RV ($r=0.97$)). We concluded that this first transit clearance technique was simple and accurate method for RVEF calculation, and the RVEF values were not affected significantly by the way drawing RV ROIs.

Key words: Right ventricular ejection fraction, First transit clearance technique.