

《原 著》

Count-based 法を用いた平衡時心電図同期心プールシンチ グラフィによる左室絶対容積の算出

— 第一報 ファントム実験による検討 —

安野 泰史* 竹内 昭* 江尻 和隆* 古田 敏也**
 下方 辰幸** 黒川 洋** 近藤 武** 渡辺 佳彦**
 水野 康** 古賀 佑彦*

要旨 平衡時心電図同期心プールシンチグラフィから count-based 法により左室絶対容積を算出するためには、どのような線減弱、散乱線補正が必要であるかについて水ファントム実験を行って検討した。補正しない場合 Transmission Factor 1 (TF1)=1, TF を水深 (d) の関数として補正する場合 TF2= $e^{-0.15d}$, TF3= $e^{-0.13d}$, TF4= $1-(1-e^{-0.125d})^{1.26}$ として容積を算出し、実測した容積と比較した。その結果、TF1 の場合は回帰直線 $Y=0.33X+0.51$, $r=0.999$ であり、著明に過小評価された。TF2 の場合は $Y=1.27X+1.99$, $r=0.999$ であり過大評価された。TF3 の場合は $Y=1.06X+1.66$, $r=0.999$ であり最も実測値に近い値を算出できた。TF4 の場合 $Y=0.84X+0.51$, $r=0.999$ であり過小評価された。また深さを変化させた場合 TF3 の補正が最も実測値に近い値であり変動が少なかった。これらのファントム実験から count-based 法により絶対容積を算出するためには、TF3= $e^{-0.13d}$ の線減弱補正が必要であると思われた。

I. 緒 言

左室容積は心機能を評価する上で重要な情報の一つであり、この測定のために心室造影法、心エコー図法などの種々の検査法が試みられているが、多くの場合左室を回転楕円体と仮定して容積を算出するため¹⁾、左室壁運動異常が存在する場合には誤差を生じやすい。これに対して Slutsky ら²⁾ が確立した count-based 法を用いた平衡時心電図同期心プールシンチグラフィによる心室容積の算出は、比較的幾何学的影響を受けにくく、しかも非侵襲的で簡便な方法の一つであると思われる。

しかし線減弱、散乱線などの問題もある。このため、Links ら³⁾ は ^{99m}Tc (140 keV) の水中での線減弱係数 ($\mu=0.15 \text{ cm}^{-1}$) を用いて補正を加え、Nickoloff ら⁴⁾ は CT 画像より人体の平均線減弱係数 ($\mu=0.13 \text{ cm}^{-1}$) を算出して補正している。また、Siegel ら^{5,6)} はさらに水中の散乱線補正を加味して左室容積の算出を試みている。そこでわれわれは、まず Links ら、Nickoloff らの補正方法について追試を行い、さらに水ファントム実験から Transmission Factor (TF) を独自に求め、count-based 法により算出された容積を TF で補正し、実測値と比較検討した。

II. 方 法

1. 装 置

高分解能パラレルホールコリメータを装着した日立製ガンマカメラを用い、140 keV を中心にウインドウ幅 20% で撮像した。その画像データを ADAC 製システム IV に取り込み、容積計算に

* 藤田学園保健衛生大学医学部放射線科

** 同 内科

受付：62年5月8日

最終稿受付：62年8月21日

別刷請求先：愛知県豊明市杣掛町田楽ケ窪 1-98

(☎ 470-11)

藤田学園保健衛生大学医学部放射線科

安野 泰 史

は NEC 製 PC-9801E マイクロコンピュータを使用した。

2. 水の Transmission Factor の測定

直径 8 cm の円形ろ紙に $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 約 1 mCi (37 MBq) を均等に浸し、その上に $15 \times 15 \times 15$ cm の立方体アクリル製容器を置いた。ろ紙とコリメータとの距離を一定として、容器内に水を入れ、その深さ (d) を 1 cm から 13 cm まで 1 cm 刻みで変化させてスタティックイメージ (128×128 マトリックス) を撮像した。さらに、この水ファントムを除いてろ紙だけのイメージも撮像した。これらの画像上でろ紙を十分に取り囲む円形関心領域 (ROI) をそれぞれ設定し、ROI 内のカウントを測定した。この際、時間減衰補正も行った。そして同距離における空中のカウントに対する水中でのカウントの比を TF とし、各深さ (d) で TF を求め、深さ (d) に対する TF の近似式を求めた。

3. 容積算出

ゴム製のバルーンを上記のアクリル製容器に取り付け、そのバルーン内に約 $100 \mu\text{Ci/ml}$ (3.7 MBq/ml) の濃度の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を入れ、同アクリル製容器に約 $10 \mu\text{Ci/ml}$ (370 KBq/ml) の濃度に希釈調製した $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を水面からバルーン中心までの深さ (d) が 9 cm になるように満たした。バ

ルーン内の容積を 25 ml から 150 ml まで 7 段階に変化させ、臨床で使用されている撮像条件と同様にするため、それぞれの容積において、模擬心電図発生装置 (日本光電製) を用い心拍数 60/分 で同期を行い、R-R 間隔を 32 分割するダイナミックイメージ (64×64 マトリックス) として撮像した (Fig. 1)。任意の 1 フレームの画像の各ピクセルごとの値を二乗し、その画像を微分して辺縁を決定する AUTO-ROI 法にて ROI を設定し、その外縁にバックグラウンド (BG) ROI を設定してそれぞれのカウントを測定した (Fig. 2)。

次にバルーンファントム内よりサンプル 5 ml を採取して直径 9 cm のシャーレに移した。ガンマカメラを天井に向け、コリメータ上に厚さ 5 cm の発泡スチロールを置き、さらにシャーレをその上に置いてスタティックイメージ (64×64 マトリックス) を撮像した。そして円形 ROI を設定し、この ROI 内のカウントと BG-ROI 内のカウントを測定し、BG 補正と時間減衰補正を行った。1) 線減弱補正、散乱線補正を全く行わず下式のごとく count-based 法³⁾ を用いて容積を算出した場合 (TF=1)、2) 線減弱係数 μ を 0.15 cm^{-1} とした場合

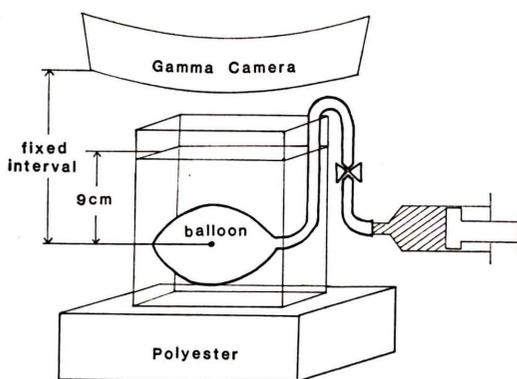


Fig. 1 Diagram of the balloon phantom for determination of the absolute volume. To simulate heart-to-background ratios in patient study, Tc-99m pertechnetate was distributed in the balloon $100 \mu\text{Ci/ml}$ and the chamber $10 \mu\text{Ci/ml}$.



Fig. 2 Auto ROIs are drawn around the balloon phantom and a semi-auto ROI is drawn at background.

($TF=e^{-0.15d}$), 3μ を 0.13 cm^{-1} とした場合 ($TF=e^{-0.13d}$), さらに 4) 本ファントム実験から得られた TF の近似式を用いて散乱線も加味して補正した場合についてそれぞれ実測値と対比検討した。

Count-based 法は下式のようになる。

$$LV\ volume = \frac{\text{total activity in the LV}}{\text{activity concentration of the blood}} \dots\dots\dots (A)$$

A 式を具体的に述べると

$$LV\ EDV = \frac{\left(\frac{\text{count rate from the LV in ED (ES) frame}}{\text{count rate/ml from the blood sample}}\right) \dots\dots(1)}{\dots\dots(2)}$$

$$(1) = \frac{\text{BG corrected the LV counts in ED (ES) frame}}{\text{time per frame} \times \text{number of cycles acquired}} \times \frac{1}{TF}$$

$$(2) = \frac{\text{BG corrected the blood sample counts}}{\text{time per frame} \times \text{volume of the sample}} \times e^{\frac{(\ln 2) \times T}{362}}$$

- LV: left ventricle
- TF: transmission factor
- EDV: end diastolic volume
- ESV: end systolic volume
- T: interval time (min) from imaging the

- LV to imaging the sample
- BG: background
- TF は, 下式のような関係がある。
- $TF=e^{-\mu d}$
- $C=C_0 \times TF$
- μ : narrow-beam linear attenuation coefficient
- d: source depth in cm
- C: count rate measured for a depth (d) in the phantom
- C_0 : count rate measured in air at the same source to collimator distance

次に $30 \times 30 \times 35\text{ cm}$ アクリル製容器に水を満たし, 同バルーンファントム内に約 $100\ \mu\text{Ci/ml}$ ($3.7\ \text{MBq/ml}$) の濃度の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を $100\ \text{ml}$ 入れ, ガンマカメラを側面に向けて設置した。アクリル製容器側面よりの距離(深さ)を 5.5 cm から 11.5 cm までの 1 cm 刻みにて, 上記と同方法でカウントを測定した。同様に 4 つの TF で補正した算出値について, 深さによる影響を検討した。

III. 結 果

1. 水の Transmission Factor の測定

Figure 3 は, TF を縦軸とし水中の深さ (d) を横軸としたグラフである。深さ (d) に対する TF の近似式は $TF=1-(1-e^{-0.125d})^{1.26}$ であった。同

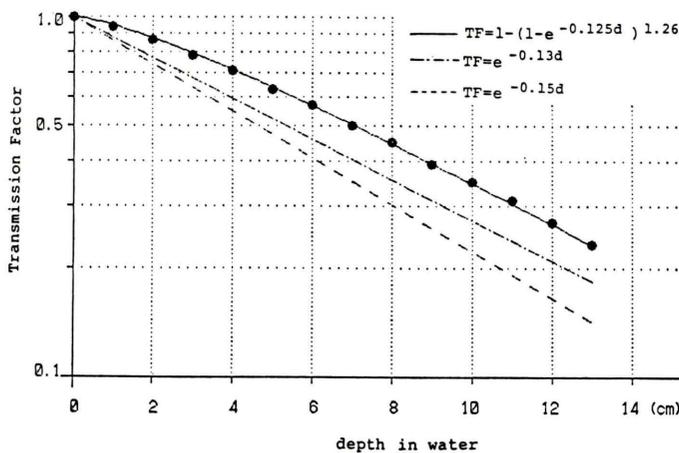


Fig. 3 Transmission factor (TF) as function of depth (d) obtained in water by phantom study. $TF=1-(1-e^{-0.125d})^{1.26}$, $TF=e^{-0.13d}$ and $TF=e^{-0.15d}$

グラフには $TF=e^{-0.15d}$ (破線) と $TF=e^{-0.13d}$ (一点破線) の直線も同時に記入した. ファントム実験から求めた近似曲線は $TF=e^{-0.15d}$ の傾きよりも緩やかで上に凸のカーブを示した.

2. 容積算出

バルーンファントム内の各容積を 4 つの TF を

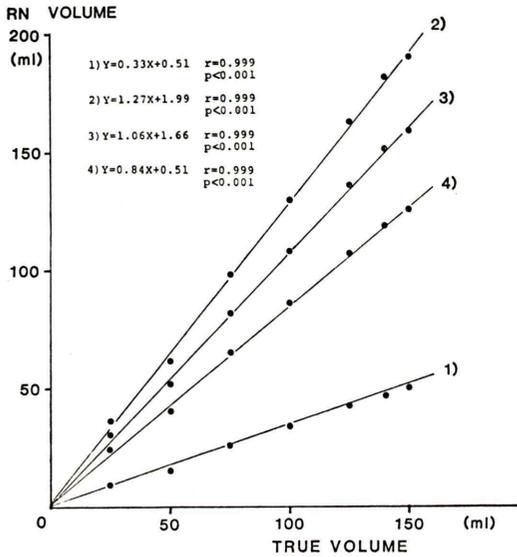


Fig. 4 Relationship between true volume and radio-nuclide (RN) volume by the use of four TFs. 1) $TF=1$, 2) $TF=e^{-0.15d}$, 3) $TF=e^{-0.13d}$ and 4) $TF=1-(1-e^{-0.125d})^{1.26}$

用いて算出した. Fig. 4 は, count-based 法により算出した容積を縦軸とし, 容積の実測値を横軸としたグラフである. 1) $TF=1$ の場合は, 回帰直線 $Y=0.33X+0.51$, 相関係数 $r=0.999$ ($p<0.001$) であり容積は著明に過小評価された. 2) $TF=e^{-0.15d}$ の場合は, $Y=1.27X+1.99$, $r=0.999$ ($p<0.001$) であり過大評価された. 3) $TF=e^{-0.13d}$ の場合は, $Y=1.06X+1.66$, $r=0.999$ ($p<0.001$) であり実測値とほぼ等しい関係であった. 4) 水ファントムから求めた $TF=1-(1-e^{-0.125d})^{1.26}$ の場合は, $Y=0.84X+0.51$, $r=0.999$ ($p<0.001$) であり過小評価された.

Figure 5 は, 算出した容積を縦軸とし, 深さを横軸としたグラフである. 1) $TF=1$ の場合は, 容積は著明に過小評価され, かつ深さとともに小さくなった. 2) $TF=e^{-0.15d}$ の場合は, 過大評価されたが深さによる変化は少なかった. 3) $TF=e^{-0.13d}$ の場合は, 5.5 cm から 7.5 cm では軽度過大評価され, 8.5 cm から 11.5 cm では軽度過小評価された. 深さに伴い軽度減少傾向にあった. 4) $TF=1-(1-e^{-0.125d})^{1.26}$ の場合は過小評価され, さらに深さに伴い軽度減少傾向にあった.

IV. 考 察

Count-based 法に, Links ら³⁾, Nickoloff ら⁴⁾ は種々の線減弱補正を加え, Siegel ら^{5,6)} はさらに

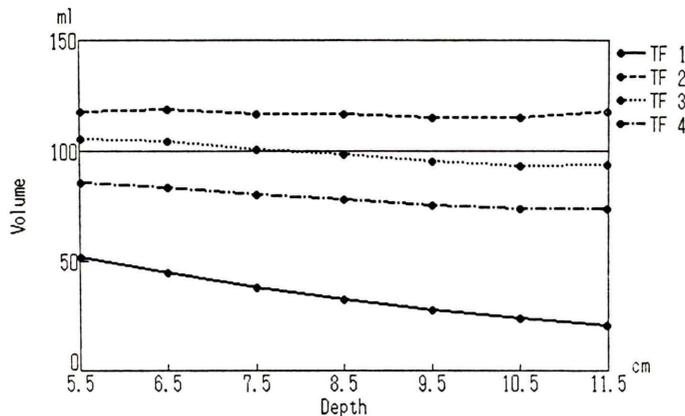


Fig. 5 Relationship between depth (d) in water and RN volume by the use four transmission factors. $TF1=1$, $TF2=e^{-0.15d}$, $TF3=e^{-0.13d}$ and $TF4=1-(1-e^{-0.125d})^{1.26}$

水中の散乱線補正も加味して、左室絶対容積の算出を試みている。また線源のカウントロス⁹⁾、大きさ⁶⁾、形¹⁰⁾などが容積算出に影響するとの報告もある。しかし、これらのどの補正方法が最も優れているかについて対比した検討はほとんどない。そこで、Links ら³⁾、Nickoloff ら⁴⁾の補正方法を追試し、さらに水ファントム実験を行い、線減弱、散乱線を加味した TF の近似式を求め、その TF による補正法とも対比検討した。

すでに Siegel ら⁶⁾が報告しているように、Links らの補正方法では実測値より過大評価される傾向を認めた。これは深さに伴う散乱線の影響を加味していないためと思われる。

Figure 3 に示したように TF の近似曲線が上に凸の曲線を描いた原因は散乱線の影響であると思われる。また水中の線減弱係数 ($\mu=0.15 \text{ cm}^{-1}$) の傾きより緩やかになったのは、本来線減弱係数は点線源より得られる値であり、これを平面線源であるろ紙に適用したためコリメータの特性が影響したと思われる。したがってこの近似曲線は各装置によって異なるもので、われわれの施設における近似曲線は Siegel ら⁶⁾の結果と比較すると、上に凸の程度は同程度であったが傾きはより緩やかであった。本実験から得られた TF を用いた場合は、count-based 法から算出された容積と実測値とは理論的には等しく、傾きは45度を示すべきである。これが過小評価された理由には AUTO-ROI 法による ROI の設定法と BG 補正法に問題があると思われる。特に BG 補正ではバルーン ROI 内に含まれている BG カウントはバルーン ROI 外の BG カウントより小さい。しかし本法ではバルーン外の BG-ROI 内の単位面積あたりのカウントをバルーン ROI 内のカウントから引いたため過小評価したと思われる。

4つの補正式全てにおいて算出した容積が実測値に対して $r=0.999$ と高い相関を示したことは、深さが一定であれば容積の変化はカウントの変化として測定可能であることを示している。

さらに深さ (d) を 5.5 cm から 11.5 cm に変化させた場合、深さによる容積の変化が少なく真の容

積に最も近い算出値が得られたのは $TF=e^{-0.13d}$ であった。

これらより絶対容積を算出するためには、本ファントム実験で示したとおり Nickoloff らの補正方法が最も適当であった。

本論文の要旨は昭和 60 年 10 月 9 日、第 25 回日本核医学会総会において報告した。

文 献

- 1) Dodge HJ, Sandler H, Ballew DW, et al: The use of biplane angiocardiology for measurement of left ventricular volume in man. *Am Heart J* **60**: 762-776, 1960
- 2) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, et al: Left Ventricular Volumes by Gated Equilibrium Radionuclide Angiography: A New Method. *Circulation* **60**: 556-564, 1979
- 3) Links JM, Becker BC, Shindlecker JG, et al: Measurement of Absolute Left Ventricular Volume from Gated Blood Studies. *Circulation* **65**: 82-91, 1982
- 4) Nickoloff EL, Perman WH, Esser PD, et al: Left Ventricular Volume: Physical Basis for Attenuation Corrections in Radionuclide Determinations. *Radiology* **152**: 511-515, 1984
- 5) Siegel JA, Maurer AH, Wu RK, et al: Absolute Left Ventricular Volume by an Interactive Build-Up Factor Analysis of Gated Radionuclide Images. *Radiology* **151**: 477-481, 1984
- 6) Siegel JA, Wu RK, Maurer AH, et al: The Build-up Factor: Effect of Scatter on Absolute Volume Determination. *J Nucl Med* **26**: 390-394, 1985
- 7) Maurer AH, Siegel JA, Denenberg BS, et al: Absolute Left Ventricular Volume from Gated Blood Pool Imaging with Use of Esophageal Transmission Measurement. *Am J Cardiology* **51**: 853-858, 1983
- 8) Fearnow III EC, Jaszczak RJ, Harris CC, et al: Esophageal Source Measurement of Tc-99m Attenuation Coefficients for Use in Left Ventricular Volume Determinations. *Radiology* **157**: 517-520, 1985
- 9) Schwaiger M, Ratib O, Henze E, et al: Left Ventricular Stroke Volume Determinations from Radionuclide Ventriculogram: The Effects of Photon Attenuation. *Radiology* **153**: 235-240, 1984
- 10) Fearnow III EC, Stanfield JA, Jaszczak RJ, et al: Factors Affecting Ventricular Volumes Determined by a Count-Based Equilibrium Method. *J Nucl Med* **26**: 1042-1047, 1985

Summary

Evaluation of Absolute Left Ventricular Volume by Gated Equilibrium Blood Pool Scintigraphy Using Count-Based Method: Phantom Study

Hirofumi ANNO*, Akira TAKEUCHI*, Kazutaka EJIRI*, Toshiya FURUTA**, Tatsuyuki SHIMOKATA**, Hiroshi KUROKAWA**, Takeshi KONDO**, Yoshihiko WATANABE**, Yasushi MIZUNO** and Sukehiko KOGA*

*Department of Radiology, **Department of Internal Medicine,
Fujita-Gakuen Health University School of Medicine

The phantom study was performed in order to determine the absolute left ventricular volume by gated equilibrium blood pool scintigraphy using the count-based method. A thin, circular source was prepared containing 1 mCi (37 MBq) of Tc-99m pertechnetate. The source was counted in air and at multiple depths in a water phantom for a 20% window setting and the transmission factor (TF) was determined ($TF4 = 1 - (1 - e^{-0.125d})^{1.26}$ d: depth). Further, the volume sources of water in balloon containing Tc-99m pertechnetate were prepared and counted. The volume was calculated by the count-based method using each TF (TF1 = 1, TF2 (water) = $e^{-0.15d}$, TF3 = $e^{-0.13d}$ and TF4).

The each volume by radionuclide (RN) was significantly correlated with true volume:

$$TF1 (V (RN) = 0.33 \times V (\text{true}) + 0.51, r = 0.999, \\ V: \text{volume}),$$

$$TF2 (V (RN) = 1.27 \times V (\text{true}) + 1.99, r = 0.999),$$

$$TF3 (V (RN) = 1.06 \times V (\text{true}) + 1.66, r = 0.999)$$

and

$$TF4 (V (RN) = 0.84 \times V (\text{true}) + 1.51, r = 0.999),$$

respectively.

In conclusion, the count-based method using TF was reliable to estimate the absolute volume.

Key words: Count-based method, Gated equilibrium blood pool scintigraphy, Left ventricular volume, Heart, Phantom study.