

左室容積計測における Dodge 法と Chapman 法の比較

(2) 臨床左室造影からの比較検討

(福島県シネ撮影技術研究会)

星総合病院 放射線科 佐藤 政 春

1. はじめに

左室造影から容積を求める手法としては、左室を楕円体と見立てた Dodge¹⁾ の area-length 法がその簡便さから広く用いられてきた。最近の解析システムには Chapman²⁾ の Simpson 近似公式による積分法を用いる装置もある。前回³⁾ はコンピュータシミュレーションにより左室近似幾何学体について Dodge 法と Chapman 法を比較検討した。

今回は左室形ファントム及び臨床左室造影から両者を比較検討し、両者の相互関係を明らかにした。

2. 方法

1) トレースデータはグラフテック製デジタルタイザ (KW4620) を用い座標データ (xi, yi) を PC-9801RA にファイル、自作プログラムにより後処理する。Dodge 法及び Chapman 法ともに同一座標データ (xi, yi) を使用した。Chapman 法の分割数は (n = 40) とし分割毎の座標点 (xi, yi) はスプライン補間により求め、左室容積積分は台形近似により求めた。補間の計算を簡単にするためにトレース座標データを移動と回転により、各径 L_{RAO}、L_{LAO} を x 軸に重ねて計算させた。

2) 拡大、歪み補正

歪みと拡大の補正について Grossman⁴⁾ らは次の方法を推奨している。格子を撮影して左室像に重ね左室辺縁に重なるように格子の升目をトレースして面積 (歪んだ面積 Ap) を求める。この升目の数を数えて真の面積 (Atrue) とする。この2つの面積比の平方根を拡大率と歪みの補正係数とする。(格子升目トレース-面積比平方根法)

$$CF = (Atrue / Ap)^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{歪みを含む拡大率} : MF = (1 / CF) \dots \dots \dots (2)$$

左室像のエリアで歪みが少なければ、拡大率の

補正のみ行う2点間距離法が簡便である。2点間距離法と升目トレース面積比平方根法を簡単に比較したのが表1である。両者の値に大きな差がないので今回のキャリブレーションには2点距離法を用いた。撮影に使用した装置はGE社製 ADVANTX LU/C バイプレーン装置、I. I. の製造元はトムソン社である。

幾何学的容積 V_G (geometric volume) は線形補正により次式のようにになる。

RAO/LAO 二方向の線形補正

$$V_G = V_P \cdot (CF_{RAO})^2 \cdot (CF_{LAO}) \dots \dots \dots (3)$$

RAO 一方向の線形補正

$$V_G = V_P \cdot (CF_{RAO})^3 \dots \dots \dots (4)$$

ここで V_G は解剖学的補正前の容積であり左室容積 V_{LV} (left ventricular volume) とは区別する。

また V_P はトレース面から算出した幾何学的容積であり calibration factor : CF を乗じる (線形補正) 前の値である。

3) 解剖学的補正

左室の乳頭筋及び肉柱により容積が過大に計算されることが解り、補正のための様々な回帰式が報告されている。今回用いた Wynne⁵⁾ の回帰補正式を次に示す。

$$RAO/LAO \text{ Biplane} : V_{LV} = 0.989V_G - 8.1 \dots \dots \dots (5)$$

$$RAO \text{ Singleplane} : V_{LV} = 0.938V_G - 5.7 \dots \dots \dots (6)$$

V_G : 計算で求めた容積、V_{LV} : 左室容積

3. 粘土ファントムによる比較

油粘土を用いて体積及び形状の異なる5つの左室形状ファントムを作り撮影した。Dodge 法及び

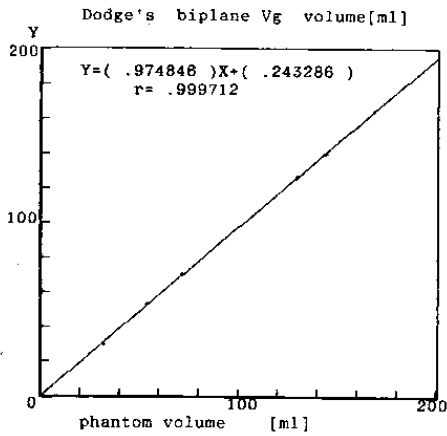


図1 Dodge法2方向解析 (ファントム撮影) true volume- V_G

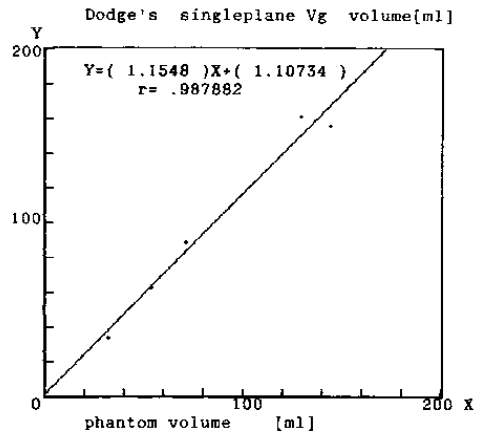


図4 Dodge法1方向解析 (ファントム撮影) true volume- V_G

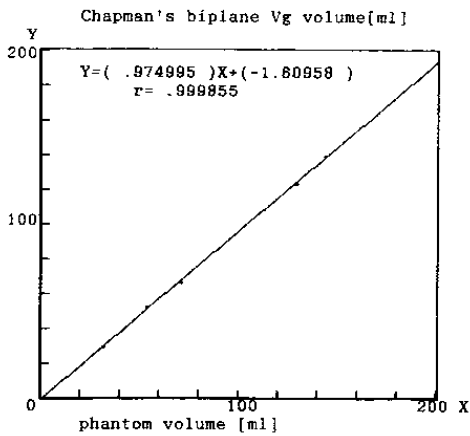


図2 Chapman法2方向解析 (ファントム撮影) true volume- V_G

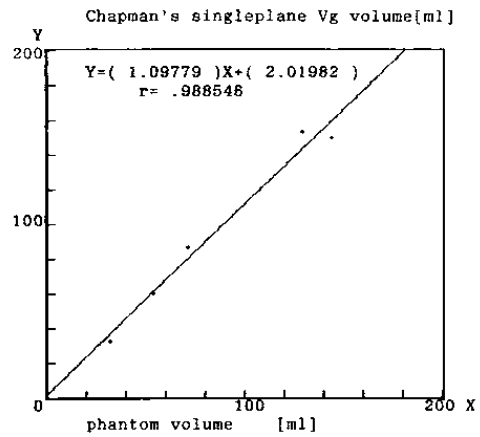


図5 Chapman法1方向解析 (ファントム撮影) true volume- V_G

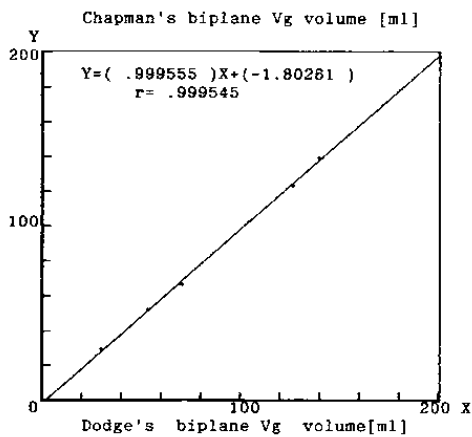


図3 Dodge法2方向解析とChapman法2方向解析の相関 (ファントム撮影) V_G - V_G

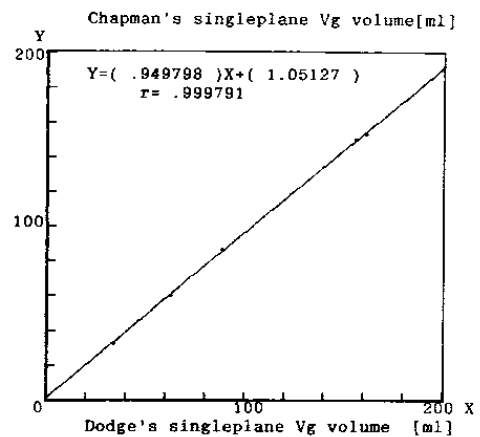


図6 Dodge法1方向解析とChapman法1方向解析の相関 (ファントム撮影) V_G - V_G

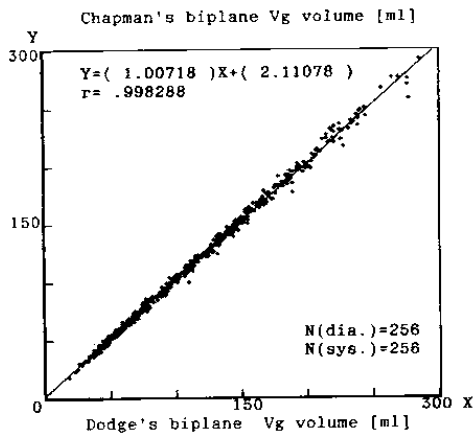


図7 Dodge法2方向解析とChapman法2方向解析の相関(左室造影) V_G-V_G

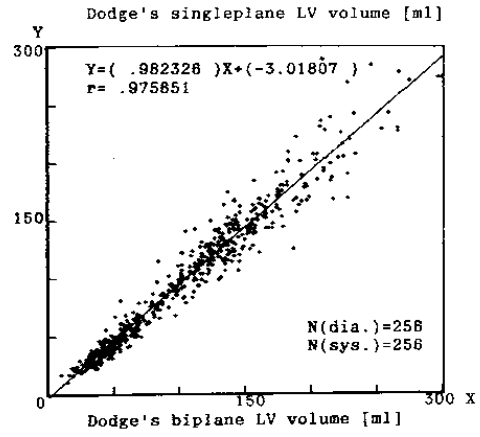


図10 Dodge法2方向解析と1方向解析の相関(左室造影) $V_{LV}-V_{LV}$

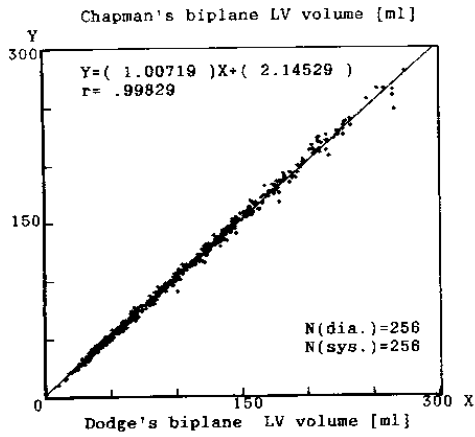


図8 Dodge法2方向解析とChapman法2方向解析の相関(左室造影) $V_{LV}-V_{LV}$

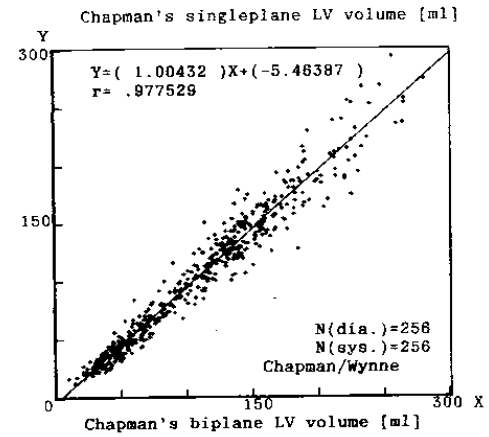


図11 Chapman法2方向解析と1方向解析の相関(左室造影) $V_{LV}-V_{LV}$

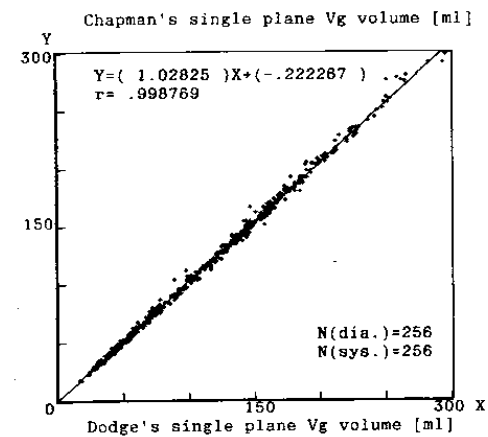


図9 Dodge法1方向解析とChapman法1方向解析の相関(左室造影) V_G-V_G

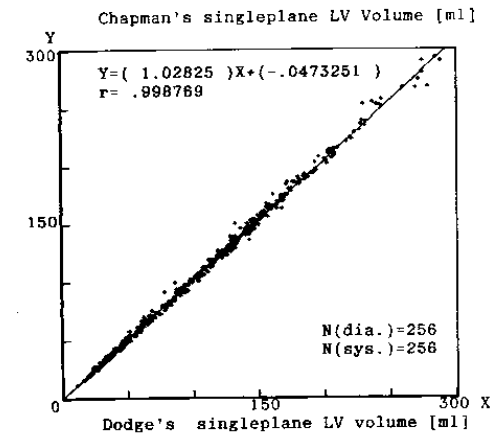


図12 Dodge法1方向解析とChapman法1方向解析の相関(左室造影) $V_{LV}-V_{LV}$

chapman 法の結果を表 2 に示す。図 1、図 2 はファントムの真の容積と二方向解析による V_0 との相関を表すが良く相関し真の値に近い。図 4、図 5 は一方向解析による V_0 との相関であるが回転体から外れたものは真の値との誤差が大きい。図 3、図 6 は二方向解析、一方向解析について Dodge 法と Chapman 法の V_0 の相関である。ファントムの場合は解剖学的補正である回帰補正は必要無い。一方向同士、二方向同士で Dodge 法と Chapman 法はそれぞれ良く一致した。

4. 左室造影臨床データにおける比較

1996 年 11 月から 97 年 3 月までの心臓カテーテル検査データの中で、左室造影トレースデータをフロッピディスクから読み込み可能なもの、及び Chapman 法解析における座標の補間において error を生じなかったデータを対象に比較した。データ数は拡張終期 256、収縮終期 256 計 512 例である。RAO 及び LAO における長径 L_{RAO} 、 L_{LAO} はそれぞれ A 弁の midpoint から心尖部に向かって最大長を自動計算させ、Chapman 法の LAO においては楕円最大長を manual にて設定した。Chapman 法においては辺縁に凹部分があると分割径の切り出しにおいて後述するカットオフ部分が生じる。容積計算にはこのカットオフ部分は無視している。

5. 結果

二方向解析における Dodge 法と Chapman 法の幾何学的容積 V_0 の相関を図 7 に示す。非常に良く相関している。従って Chapman 法において回帰補正式は報告されていないが Wynne の回帰補正式 (5) を用いることにした。左室容積 V_{LV} での相関を図 8 に示す。Dodge 法と Chapman 法は非常に良く一致している。

一方向解析における幾何学的容積 V_0 の相関を図 9 に示す。非常に良く相関している。Chapman 法にも Wynne の回帰式 (6) を用いた。Dodge 法と Chapman 法について一方向解析と二方向解析との相関を図 10、図 11 に示す。左室容積 V_{LV} について両者とも相関は $r=0.975$ 、 $r=0.977$ と良いが回転体から外れたものは、一方向解析の V_{LV} は二方向解析の値と違いが大きくなる。

Dodge 法と Chapman 法について一方向解析における相関は図 12 に示す様に非常に良く一致している。臨床データの解析例を図 13 に示す。分割径を簡単に計算させるため長軸を x 軸に重ねている。左室辺縁に凹部分があるとその部分にカットオフ、エリアが生じる場合がある。Chapman 法の LAO 像においてはその形態からしばしば起こりうる。RAO 像においては殆ど起こらない。従って一方向では問題無いが二方向においてはその扱いに問題を生じた。

今回のアルゴリズムでは図 14 に示すように分割計算上一部無視して計算した。

6. 考察

Dodge 法と Chapman 法の比較では一方向、二方向それぞれ殆ど一致した。これはその計測原理がともに左室を楕円体と見立てていることに起因していると思われる。一方向計測は回転体と仮定しているために、回転体から外れると二方向計測に比して誤差が大きくなる。二次元情報から三次元情報を得るため誤差を生じるのは当然である。

Chapman 法においてトレース座標に凹凸部分があると分割径の切り出し上その部分に問題を生じる。即ち切り出した分割径の座標は二つ以下でなければならない。分割径は一つの座標 (x_{ia}, y_{ia}) と、もう一つの座標 (x_{ib}, y_{ib}) を結んだ線分となる。しかし凹部分があると座標が 3 つ以上になりどの線分を用いるか問題となる。図 14 の LAO を例にとる。線分 L_{LAO} を x 軸に重ね、線分 L_{LAO} を左から 40 分割した。即ち線分 L_{LAO} の開始座標を x_0 とすると x_i は x_0 に分割幅 dx を順次加算して行く。

$$x_i = x_0 + dx + dx + dx + \dots + dx \dots \dots \dots (7)$$

y_i については線分 L_{LAO} を境として上下別々に計算する。分割ピッチ dx ごとに、スプライン補間により y_i を求める。 x_i に対して、上側の y 座標を y_m 、下側の y 座標を y_n とすると、計算に必要な分割径 b_i は y_m と y_n を結んだ長さとなる。

$$b_i = |y_m| + |y_n| \dots \dots \dots (8)$$

凹、凸部の分割アルゴリズムについて線分 L_{LAO} (x 軸) の上側のトレース座標データを例にとる。

(1) 左から右に向かって座標データの周上を順次スプライン補間を行うと問題の凹部分に達するが x

9インチ I. I. 拡大率と歪

横×縦	2点間距離法(中心部)		面積比(マス目トレス平方根)
	横の拡大率	縦の拡大率	面積比の平方根からの拡大率
3cm×3cm	1.57	1.58	1.57
5cm×5cm	1.59	1.59	1.58
7cm×7cm	1.59	1.59	1.59
9cm×9cm	1.60	1.60	1.60

7インチ I. I. 拡大率と歪

横×縦	2点間距離法(中心部)		面積比(マス目トレス平方根)
	横の拡大率	縦の拡大率	面積比の平方根からの拡大率
3cm×3cm	2.13	2.12	2.12
5cm×5cm	2.14	2.13	2.13
7cm×7cm	2.14	2.14	2.14
9cm×7cm	2.16	...	2.15

表1 2点間距離法と格子トレス/面積比平方根法の比較

Chapman法の値
 VCB= 1.6608E+09
 VCB= 1.6608E+03
 VCS= 1.8224E+03
 N = 40.
 XF = 2.217 1.996
 Chapman VBP=169.392
 Chapman VSP=167.349

A-L法パイプレン
 LS = 13.91
 ARAO 216.31
 ALAO 122.82
 XF = 2.217 1.996
 A-L Bp=165.360
 回帰補正(155.441)

A-L法シングルプレーン
 LD = 22.22
 ARAO 216.31
 XF = 2.217 1.996
 A-L Sp=164.171
 回帰補正(148.293)

phantom volume ml	Dodge法 Vg [ml]		Chapman法 Vg [ml]	
	1方向	2方向	1方向	2方向
#1 32	33.8	30.0	32.4	29.2
#2 54	62.5	53.6	60.2	52.2
#3 71	88.5	70.7	86.6	66.9
#4 144	155.9	139.7	149.8	139.3
#5 129	161.4	126.4	153.1	123.6

表2 粘土ファントムによる比較

NO: 8
 CINENO: 9506
 DATE: 96/11/25
 NAME: 水 進

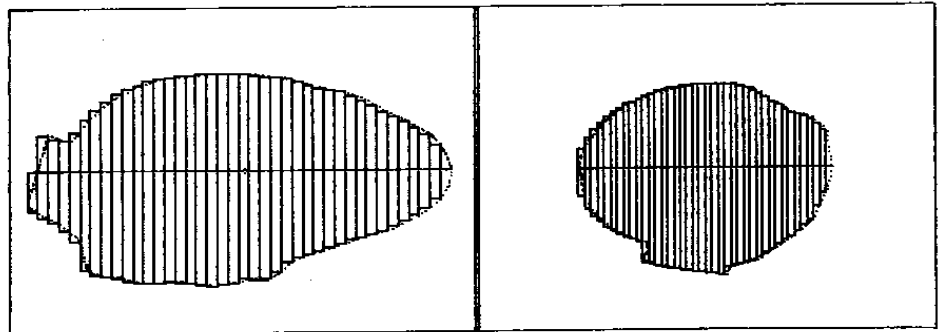


図13 Chapman法解析：臨床例

収縮期の計算に進む [RETURN]

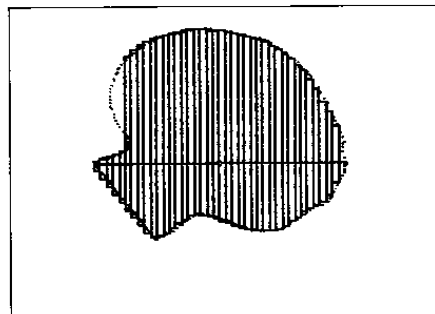


図14 Chapman法解析の問題
 積分において計算からカットされる部分が生じた例。

が dx 増加するまで座標の補間を行わない。この場合図 14 のようにこの凹部分の凸部にカットオフを起こした。この場合座標が三つあるうちの短い線分径を用いたことになる。 $b_{i(short)}$

(2)一方、長い線分径を用いることもできる。これは線分 L_{LAO} を (1) の方法で右から左に向かって分割した場合に起こる。この場合は凹部分が分割した線分で充満する。 $b_{i(long)}$

(3)凹部分が深いと、長い線分径と短い線分径の間にもう一つの座標が存在する。 $b_{i(mid)}$

以上のことは凹凸の大きさの他に分割数によってもその影響の度合いが変わってくる。また分割アルゴリズムを適当に決めておかないと計算途上でエラーを生じたりすることもある。

この様に Chapman 法においては凹凸部分の扱いには問題があるが、今回用いた分割アルゴリズムは凹部分の凸部をカットしたにも関わらず Dodge 法とは殆ど一致しており実用上問題無いと思われる。

この様な凹凸部分は LAO 像において大きさに大小あるものの多く見受けられるが、RAO 像においては少ないか、あっても小さい。従って Chapman 法一方向解析においてはほとんど問題とならない。

7. まとめ

左室容積計測において Dodge 法と Chapman 法の違いは殆ど見られないが Chapman 法においては凹凸部分があると分割径の取り方に問題を生じることがある。1 方向からの計測では、回転体から外れることにより、両者とも過大評価や過小評価が起こる。また精度的にはどちらが良いとは言いきれず、今回の結果より精度は同程度と考えられる。

Chapman 法においては補正式の報告は無いが左室容積 V_{LV} を算出するには、 V_G からの補正が必要である。これには Dodge 法の回帰補正式がそのまま流用できる。一般に左室計測システムではファントムを撮影すると、自動的に回帰補正された左室容積 V_{LV} を表示してしまい真の容積より少ない値となる。(ファントム容積が V_G ではなく V_{LV} として表示されてしまう。)ファントムの真の容積と比較するならば、システムに使われている補正式から逆に V_G を計算する必要がある。また極端な歪みが無ければ像歪拡大の補正には 2 点距離法でも充分である。

参考文献

- 1) Dodge, H. T., Sandler, H., and Baxley, W, A. : Usefulness and limitation of radiographic methods for determining left ventricular volume. Am. J. Cardiology. 18 : 10, 1966
- 2) Chapman, C. B, Baker, O, Reynolds, J, and Bonte, F. J. : Use of biplane cineangiography for measurement of ventricular volume. Circulation, 18 : 1105, 1958
- 3) 佐藤 政春 左室容積計測における Dodge 法と Chapman 法の比較 (第 1 報) 全循研誌 Vol. 10 : 79 - 86
- 4) 杉本 恒明=監訳 グロスマン心臓カテーテル検査造影法 P246-252 南江堂 東京 (1988)
- 5) Wynne J. et al. : Estimation of left Ventricular volume in Man From Biplane Cineangiograms Filmed in Oblique Projection. Am. J. Cardiology Vol. 41 : 726 - 732 April 1978