

短径および長径計測による 左室容量：心エコー図とシネ アンジオグラフィとの対比

Echocardiographic left ventricular volume deter- mination by direct mea- surements of the major and minor axes

田村 勤
夏目 隆史
西田 研治
町井 潔
山口 徹*
梅田 徹*
松田 光生*

Tsutomu TAMURA
Takashi NATSUME
Kenji NISHIDA
Kiyoshi MACHII
Tetsu YAMAGUCHI*
Toru UMEDA*
Mitsuo MATSUDA*

Summary

Left ventricular volume was determined by single beam echocardiography in 22 patients without asynergy of the left ventricle, and the results were compared with the cineangiographic estimates.

Echocardiographic minor axis dimension (D) was measured in 22 patients, and end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV), stroke volume (SV) and ejection fraction (EF) were calculated by the formula $V=D^3$. In 10 of the 22 patients, echocardiographic major axis dimension was determined by placing the transducer in the apex. Distance between the mitral valve ring and the apical anterior endocardial echo was assumed to be the major axis of the left ventricle. In these 10 patients EDV, ESV, SV and EF were also calculated by the formula $V=\pi/6 D^2L$.

There were good correlations between echocardiographic and angiographic end-diastolic major axis dimension ($r=0.774$), end-diastolic minor axis dimension ($r=0.954$), end-systolic major axis dimension ($r=0.794$), end-systolic minor axis dimension ($r=0.896$), end-diastolic volume by $V=\pi/6 D^2L$ ($r=0.966$), end-diastolic volume by $V=D^3$ ($r=0.989$), end-systolic volume by $V=\pi/6 D^2L$ ($r=0.905$), end-systolic volume by $V=D^3$ ($r=0.900$), ejection fraction by $\pi/6 D^2L$ ($r=0.693$).

Although echocardiographic EDV, ESV and EF by both formula $V=D^3$ and $V=\pi/6 D^2L$ showed significant correlation with angiographic estimates, figures by formula $V=\pi/6 D^2L$ had better correlations than those by $V=D^3$ [$r=0.989, 0.966$ for EDV (D^3) and ($\pi/6 D^2L$), $r=0.900, 0.0905$ for ESV (D^3) and ($\pi/6 D^2L$), $r=0.583, 0.693$ for EF (D^3) and ($\pi/6 D^2L$)], and the left ventricular volume by $V=D^3$ had a tendency to overestimate where D exceeded 6.5 cm.

These data indicate that in the presence of marked left ventricular enlargement, the use of the formula $V=\pi/6 D^2L$ with direct measurements of major and minor axes is more accurate predictor of volumes than the formula $V=D^3$.

三井記念病院 循環器センター
東京都千代田区神田和泉町1 (〒101)
* 東京大学医学部 第一内科
東京都文京区本郷 7-3-1 (〒113)

Center for Cardiovascular Disease, Mitsui Memorial Hospital, Kanda Izumi-cho 1, Chiyoda-ku, Tokyo, 101
*The First Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113

Key words

echocardiography
left ventricular volume
long axis

はじめに

左心機能を表わすパラメーターの1つに左室容量があるが、心エコー図（以下 UCG と略）で左室容量を計測する場合、従来種々の方法がおこなわれている。現在、最も広くかつ簡便におこなわれているのは、左室長径を短径の2倍と仮定し、左室容量 V を UCG による左室短径 D の3乗として計算する方法である。²⁾しかし、この方法では左室が著明に拡大した場合には、長径が短径の2倍より小さくなるため左室容量を過大評価することになる。今回、我々は心尖部よりエコービームを入射し、UCG 上左室の長径を直接測定し、それを利用して左室容量の計測を試み、左室造影によるそれと比較検討した。

対 象

対象は、左室 asynergy のない虚血性心疾患 8 例、弁膜症 7 例、心筋症 7 例の計 22 例で、男 18 例、女 4 例、年齢 19 歳～62 歳で、そのうち長径を UCG で計測したものは、虚血性疾患 4 例、弁膜症 4 例、心筋症 2 例の計 10 例である。

方 法

装置は Aloka 製 SSD-90 を用い、トランスジューサーは 2.25MHz 焦点距離 10 cm または 3.75 MHz 焦点距離 5 cm の凹面振動子を使用した。**Figure 1** に示すごとく、左室拡張末期短径 Dd 、左室収縮末期短径 Ds は通常の前胸壁からの方法で求めた。また、心尖拍動触知部位より 1 肋間下からビームを内側上方背方に入射し、僧帽弁輪部エコーを記録し、左室前壁心内膜面エコーと弁輪部エコーとの距離から拡張末期長径 Ld 、および

収縮末期長径 Ls を測定した。UCG による左室容量 V は、 $V=D^3$ および $V=\pi/6 D^2L$ の方法で求めた。また、第 1 斜位にて、cineangiography により左室造影をおこない、長径 Ld , Ls を測定し、area-length 法にて短径 Dd , Ds を求め、左室拡張末期容量 EDV、左室収縮末期容量 ESV を求めた。以上の方法により左室内径と容量につき、UCG と左室造影法を比較検討した。

結 果

Table 1 に左室造影および UCG によって得られた左室短径、長径、容量を示す。

UCG と左室造影とを比較すると、 Dd は相関係数 $r=0.954$ と良く相関し (**Figure 2**)、UCG の値の方が左室造影に比してわずかに小さく ($y=0.91x+0.3$)、 Ds は $r=0.896$ で UCG の方が小さい値を得た ($y=0.81x+0.7$)。両者とも 1% 以下の危険率で有意であった。

拡張末期長径 Ld は $r=0.774$ で UCG の方がわずかに小さい ($y=1.1x-1.2$) (**Figure 3**)。 Ls も $r=0.794$ で UCG の方が小さく ($y=0.65x+2.5$)、いずれも 1% 以下の危険率で有意であった。

拡張末期長短径比 Ld/Dd は、左室造影と UCG とでは $r=0.794$ で UCG の方が左室造影に比して小さい傾向にあった ($y=0.80x+0.3$)。収縮末期長短径比 Ls/Ds もやはり UCG の方が小さかった。また、左室造影上 Ld/Dd は EDV が 180 ml 未満の場合には 1.9 ± 0.1 であり、180 ml 以上の場合は 1.6 ± 0.1 で両者は 0.5% 以下の危険率で有意差が認められた。

UCG による短径 Dd を用い、 $EDV=Dd^3$ により求めた拡張末期容量と左室造影によって求めたものと比較すると、 $r=0.989$ で有意の相関があ

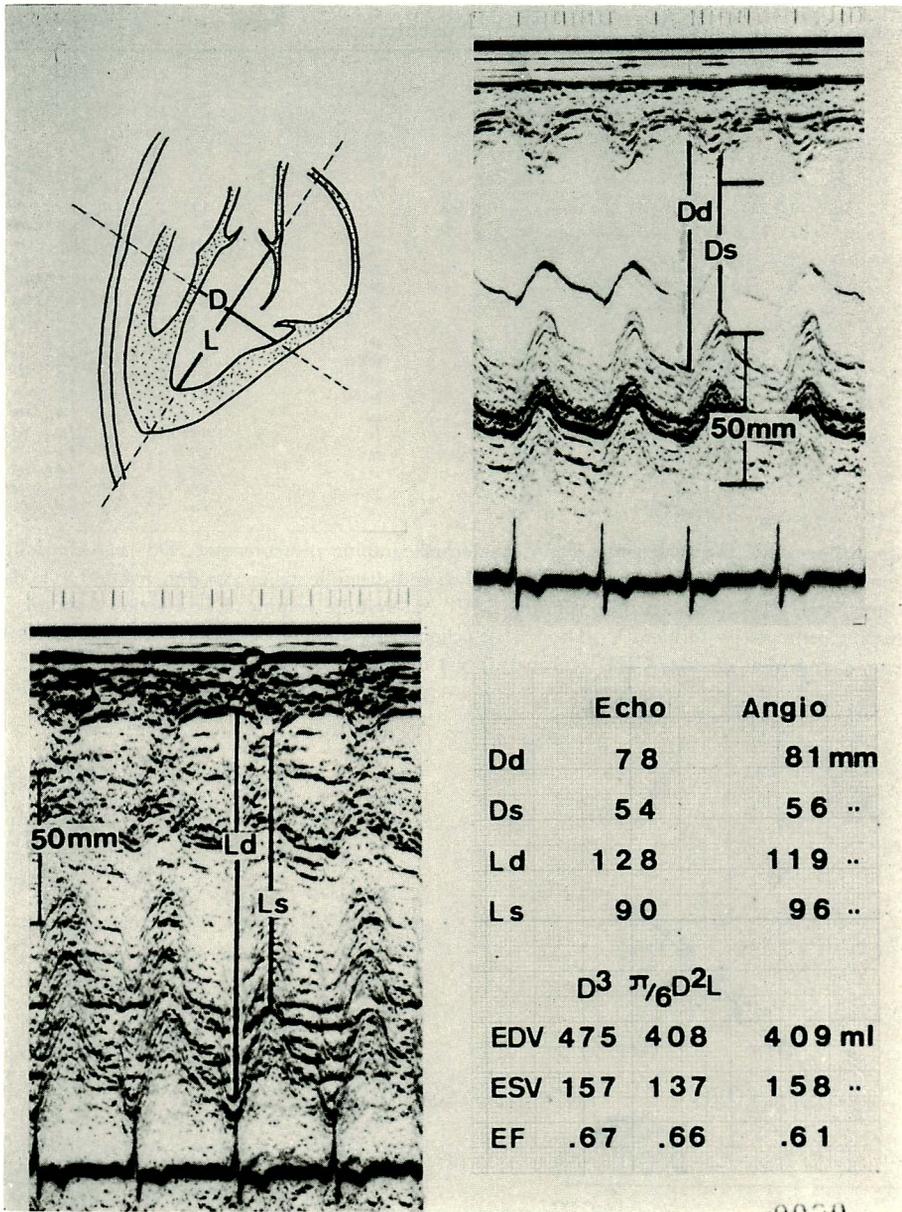


Figure 1. Echocardiographic measurements of the minor and major axes dimensions of the left ventricle (Case 7).

り、回帰式 $y=1.21x-32$ で UCG の方が大きい値を得るが、UCG の長径 Ld を用いた $EDV = \pi/6 Dd^2 Ld$ によって求めた EDV と左室造影によ

るものとを比較すると、 $r=0.966$ で有意の相関があり、 $y=0.96x-11$ でわずかに UCG の方が左室造影よりも小さい値を得るが、 $EDV = Dd^3$ に

Table 1. Ages, diagnoses, echocardiographic and angiocardigraphic measurements of left ventricular dimensions, and estimates of left ventricular volumes

Case No.	Age	Diag.	Echo				Angio												
			Dd	Ds	Ld	Ls	Dd	Ds	Ld	Ls									
1	36	CHD	5.5	3.5	8.5	6.7	166	135	43	43	74	68	6.2	4.2	9.2	8.1	189	75	60
2	44	PMD	4.3	2.7	8.7	7.0	80	84	20	27	75	68	4.5	2.9	9.1	7.4	96	33	66
3	44	CHD	4.8	2.7	8.6	6.2	111	104	20	24	73	77	5.1	1.9	9.0	5.3	123	10	92
4	22	VD	6.3	4.7	10.7	7.7	250	222	104	89	58	60	6.2	3.9	11.1	7.6	223	61	73
5	27	VD	8.3	5.7	12.9	10.0	572	465	185	170	68	63	8.6	6.3	13.5	11.0	523	229	56
6	55	CHD	4.7	3.3	8.7	6.7	104	101	36	38	65	62	5.2	3.1	9.8	7.7	141	39	73
7	57	VD	8.0	5.0	12.8	9.0	475	408	157	137	76	75	8.1	5.6	11.9	9.6	409	158	61
8	49	CHD	5.7	4.7	9.4	8.0	185	160	104	93	43	46	5.2	5.0	10	8.9	144	117	19
9	39	PMD	7.8	6.6	9.5	8.2	474	302	287	187	29	38	7.8	6.2	12.0	11.2	382	226	41
10	19	VD	7.6	5.0	12.5	9.2	474	398	125	120	74	70	8.7	3.9	10.9	7.7	431	61	86
11	56	PMD	4.5	2.8			91		22		76		5.7	3.7	8.8	5.7	156	41	73
12	43	PMD	4.7	3.0			104		27		74		4.7	2.9	9.2	5.8	106	26	75
13	62	CHD	4.8	3.2			111		33		70		4.9	3.0	8.8	6.3	111	30	73
14	32	PMD	4.7	2.7			104		20		81		4.7	2.5	8.0	5.6	93	18	81
15	50	CHD	5.1	4.2			133		74		44		5.1	3.7	8.6	6.9	117	49	58
16	43	PMD	4.7	3.0			104		27		74		4.7	2.7	8.9	6.8	103	26	75
17	34	PMD	4.7	2.5			104		88		85		5.1	3.1	8.7	6.8	118	34	71
18	29	CHD	5.6	3.6			176		47		74		6.2	4.2	9.7	7.6	195	70	64
19	59	CHD	5.0	3.0			125		27		78		5.1	2.5	8.5	5.6	116	18	84
20	30	VD	6.9	4.2			329		74		78		6.8	4.7	10.0	8.4	242	97	60
21	48	VD	6.0	3.8			216		55		70		5.9	3.6	11.2	7.5	204	51	75
22	24	VD	6.3	3.9			250		59		76		6.9	4.0	10.5	8.0	262	67	74

Echo: echocardiographic measurement, Angio: angiocardigraphic measurement, Dd: end-diastolic minor axis dimension, Ds: end-systolic minor axis dimension, Ld: end-diastolic major axis dimension, Ls: end-systolic major axis dimension, EDV: end-diastolic volume, ESV: end-systolic volume, EF: ejection fraction, V (D³): echocardiographic estimate by formula $V=D^3$, V (L): echocardiographic estimate by formula $V=\pi/6 D^2L$, PMD: primary myocardial disease, CHD: coronary heart disease, VD: valvular disease.

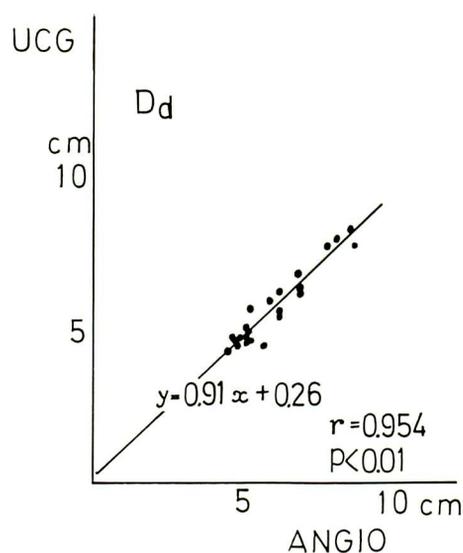


Figure 2. Echocardiographic and angiocardigraphic correlation of left ventricular end-diastolic dimension (Dd).

The solid line shows the least square fit of the data between echocardiographic and angiocardigraphic determination ($y=0.91x+0.3$; $r=0.954$, $p<0.01$).

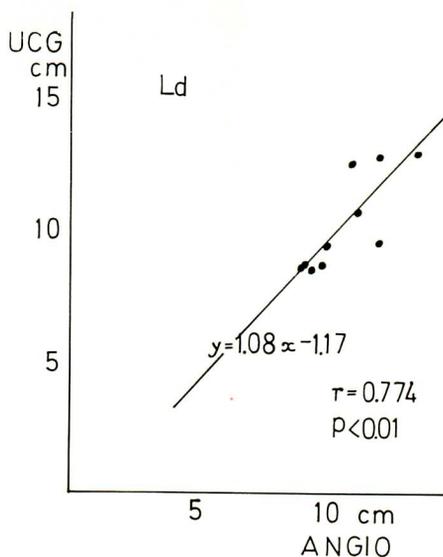


Figure 3. Echocardiographic and angiocardigraphic correlation of end-diastolic major axis dimension (Ld).

Regression equation for echocardiographic against angiocardigraphic measurement is given by $y=1.08x-1.2$ ($r=0.774$, $p<0.01$).

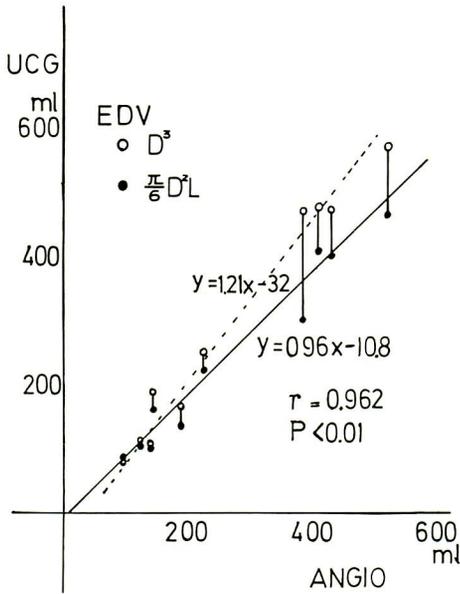


Figure 4. Echocardiographic and angiographic left ventricular end-diastolic volume correlation.

The open circles represent the volume calculated by formula $V=D^3$. The closed circles represent the volume calculated by formula $V=\pi/6 D^2L$. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=1.21x-32$ ($r=0.989$, $p<0.01$), and that for echocardiographic ($V=\pi/6 D^2L$) against angiographic estimate by $y=0.96x-11$ ($r=0.966$, $p<0.01$).

より求めた値よりは左室造影の値により近い値を得た (Figure 4).

収縮末期容量 ESV について、UCG の $ESV=Ds^3$ によるものと、左室造影によるものとを比較すると、 $r=0.900$ 、回帰式 $y=0.97x+10$ で UCG の方がやや大きい。UCG の長径を用いた ESV と左室造影によるものとの比較では $r=0.905$ 、 $y=0.67x+23$ で左室造影に比して小さく、 $ESV=Ds^3$ により得たものの方が左室造影により近い値を示した (Figure 5).

1 回心拍出量 SV は UCG の $V=D^3$ により求めたものと、長径を用いて計算したものとをそれぞれ左室造影と比較すると、各々 $r=0.982$ 、 $r=$

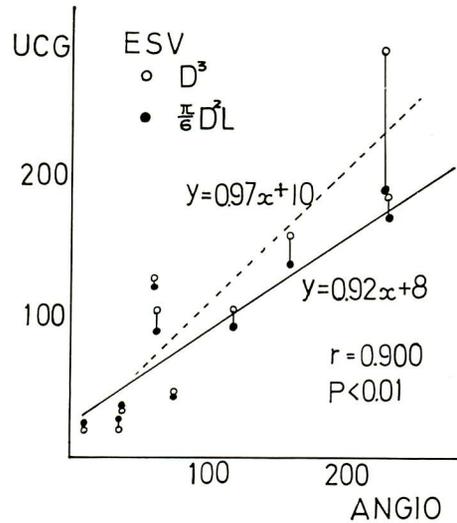


Figure 5. Echocardiographic and angiographic left ventricular end-systolic volume correlation.

The open circles represent the volume calculated by formula $V=D^3$. The closed circles represent the volume calculated by formula $V=\pi/6 D^2L$. Regression equation for echocardiographic ($V=D^3$) against angiographic estimate is given by $y=0.97x+10$ ($r=0.900$, $p<0.01$), and that for echocardiographic ($V=\pi/6 D^2L$) against angiographic estimate is given by $y=0.67x+23.3$ ($r=0.905$, $p<0.01$).

0.983 とほとんど差はないが、UCG の長径を利用した方法の方が左室造影により近い値を得た。SV が大きくなるとその傾向は強くなる (Figure 6).

駆出率 EF は UCG の $V=D^3$ により求めたものは左室造影により計算した EF と有意の相関を示さず ($r=0.583$)、UCG の長径を用いた方法では左室造影の値と有意の相関を示した ($r=0.693$) (Figure 7).

考案

従来、UCG による左室容量の算出に関する研究が数多くあり、Pombo ら²⁾ は $EDV=D^3d$ で表

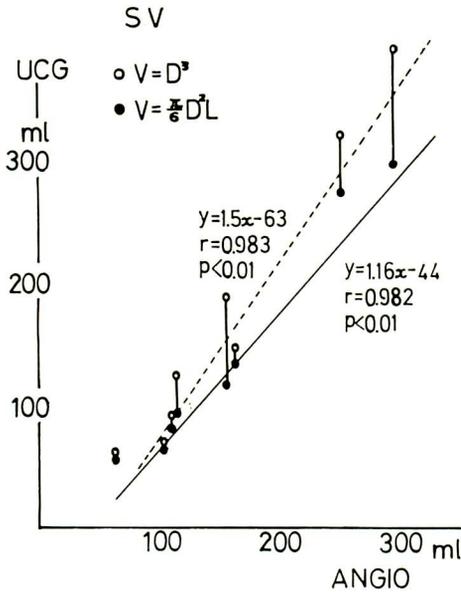


Figure 6. Echocardiographic and angiographic stroke volume correlation.

The open circles represent the volume calculated by formula $V=D^3$. The closed circles represent the volume calculated by formula $V=\pi/6 D^2L$. Regression equation for echocardiographic ($V=D^3$) against angiographic estimate is given by $y=1.5x+63$ ($r=0.982$, $p<0.01$), that for echocardiographic ($V=\pi/6 D^2L$) against angiographic estimate is given for $y=1.16x+44$ ($r=0.983$, $p<0.01$).

わし, また $V=D^3$ による左室容量は cineangiography による左室容量の値と良い相関を得ている。^{5,7)} この場合には左室長径 L が短径 D の 2 倍という仮定に基づいている。しかし長短径比 Ld/Dd は EDV が大きくなるに従い減少してくる。我々の結果も, EDV が 180 ml 未満では Ld/Dd は 1.9 ± 0.1 で $Ld\approx 2 Dd$ とみなせるが, EDV が 180 ml 以上になると Ld/Dd は 1.6 ± 0.1 となり長径を短径の 2 倍とする仮定では左室容量を過大評価することになる。また, Fortuin ら¹⁾ は $EDV=59 Dd-153$ で表わし, さらに真城ら⁶⁾ は $EDV=D^3d\times 0.837$ の式を得ている。また, Gibson³⁾ は左室造影と UCG を用い左室造影の長径 L と

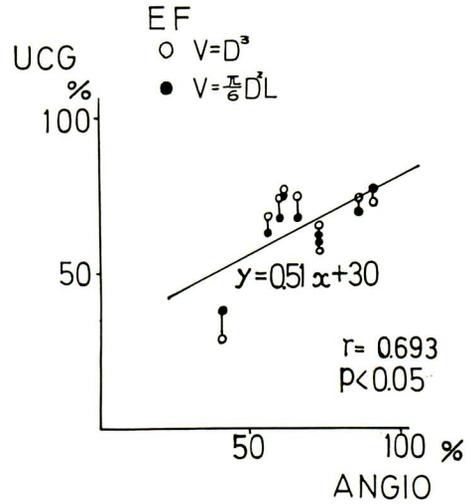


Figure 7. Echocardiographic and angiographic correlation of left ventricular ejection fraction.

The open circles represent the estimate calculated by formula $V=D^3$. The closed circles represent the estimate calculated by formula $\pi/6 D^2L$. Regression equation for echocardiographic ($V=D^3$) against angiographic estimate is given for $y=0.56x+28$ ($r=0.583$, $p<0.05$), and that for echocardiographic ($V=\pi/6 D^2L$) against angiographic estimate is given for $y=0.51x+30$ ($r=0.693$, $p<0.05$).

UCG の短径 D との関係を求め, $Ld=0.98 Dd+5.9$, $Ls=1.14 Ds+4.18$ の回帰式を得ている。これを利用すれば, UCG 上の短径より長径を算出し, 左室容量の算出が可能となる。Figure 8 から明らかのように, Fortuin らの式では左室拡大例において左室容量を実際より過小評価する。一方, Gibson の方法は, 左室造影と UCG の結果に基づく長短径比を利用し, 長径による補正がおこなえる点はすぐれており, それを用いて算出する EDV は, 今回の我々の左室造影との対比でもかなり良い成績を示している。しかし, 左室拡大のしかたは疾患により必ずしも一定ではなく, この点長径を短径の一次式であらわす方法には限界があるといえる。

Feigenbaum ら⁴⁾ は心尖部よりビームを入射し僧帽弁輪部までの距離を長径と考え, 弁輪部の偏

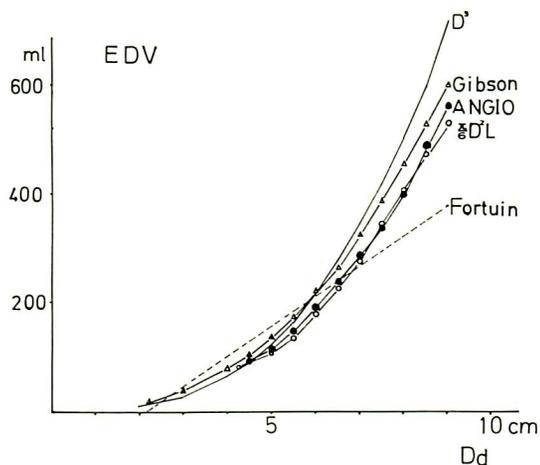


Figure 8. Comparison between left ventricular end-diastolic volume estimates by various methods plotted against minor axis dimension.

The dotted line represents the estimate calculated by Fortuin's method, the open circles with solid line represent the echocardiographic estimate by $V=\pi/6 D^2L$, the closed circles with solid line represent the estimate by angiography, the open triangles with solid line represent the estimate by Gibson's method, and the solid line represents the estimate by $V=D^3$.

位で心拍出量を求めている。今回、我々は心尖部心内膜面より僧帽弁輪部までの距離を長径に近似できるものと考え、長径による左室容量の補正をおこなったが、Figure 8のごとく、左室造影によるものと良い一致をみた。我々の方法では、個々の症例に応じて長径による補正が可能である点がすぐれていると考えられる。我々の方法においても左室拡大がなく、心尖拍動の触れにくい症例では良好な記録が得られず、1つの限界と考えられるが、このような症例では従来の $EDV=D^3d$ により得られる方法で誤差が少なく問題はない。

一方、心拡大例では心尖拍動の明らかな例がほとんどであり、我々の方法を十分応用しうると考えられる。我々は心尖部よりビームを入射するさいに、心尖拍動部より1肋間下でおこなったが、拡張末期長径 Ld は左室造影のそれとよく一致したが、収縮末期長径 Ls の UCG と左室造影との

一致はあまり良くなかった。これは拡張末期には心尖部が心尖拍動部よりやや下方にあり、このため拡張期には心尖部よりビームが入射し、良好な結果が得られると考えられるが、収縮末期長径に関しては今後の検討が必要である。また、心尖拍動が広い範囲で触れる場合にはトランスデューサーの位置により長径に多少の差を生じ、僧帽弁輪部のエコーを得る位置の固定基準化に工夫が必要であると思われる。

結 語

UCG による長径計測を併用した左室容量の算出は、心拡大が著明な場合に有用である。

要 約

22例の asynergy のない患者（虚血性心疾患8例、弁膜症7例、心筋症7例）に左室造影および UCG を施行し、両者による左室容量を比較した。

左室造影上、左室短径 D 、長径 L を、また、UCG 上左室短径 D をそれぞれ拡張末期および収縮末期において計測した。10例では心尖部よりエコービームを入射し、UCG により長径 L を拡張末期および収縮末期において計測した。全例について短径 D より $V=D^3$ の計算式を用いて左室容量を計算、長径 L を計測し得た10例については、さらに、 $V=\pi/6 D^2L$ の計算式でも容量を求め左室造影による値と比較した。

D 、 L とも左室造影と UCG とで良く相関した。拡張末期容量 EDV 、収縮末期容量 EDV とも左室造影と UCG の $V=D^3$ 、 $V=\pi/6 D^2L$ による容量とそれぞれよく相関したが、 ESV は D^3 によるものより UCG の長径 L を使ったものの方が左室造影に近い値を得た ($y=0.96x-11$)。また駆出率も同じく D^3 によるものより長径 L を使った方が良い相関を示した ($r=0.693$)。従来 $V=D^3$ にて左室容量が計測されていたが、左室拡大が著明になると、左室容量を過大評価することになり、長径による補正が必要となる。

田村, 夏目, 西田, 町井, 山口, 梅田, 松田

文 献

- 1) Fortuin NJ, Hood WP, Sherman ME, Craig E: Determination of left ventricular volumes by ultrasound. *Circulation* **44**: 575, 1971
- 2) Pombo JF, Troy BL, Russell RO: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* **43**: 480, 1971
- 3) Gibson: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128, 1973
- 4) Feigenbaum H, Zaky A, Nasser WK: Use of ultrasound to measure left ventricular stroke volume. *Circulation* **35**: 1092, 1967
- 5) Feigenbaum H, Wolfe SB, Popp RL, Haine CL, Dodge HT: Correlation of ultrasound with angiography in measuring left ventricular diastolic volume. *Amer J Cardiol* **23**: 111, 1969
- 6) Mashiro I, Kinoshita M, Tomonaga G, Hoshino T, Kusakawa R: Comparison of measurements of left ventricle by echography and cineangiography. *Jap Circulat J* **39**: 23, 1975
- 7) Ludbrook P, Karliner JS, Peterson K, Leopold G, O'Rourke RA: Comparison of ultrasound and cineangiographic measurements of left ventricular performance in patients with and without wall motion abnormalities. *Brit Heart J* **35**: 1026, 1973