

心エコー図による左室容量：長径直接測定および長径推定による補正

Left ventricular volume determination by echocardiography: Correction by direct measurement and indirect estimation of major axis dimension of the left ventricle

田村 勤
夏目 隆史
町井 潔
梅田 徹*
山口 徹*
松田 光生*

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

Summary

Echocardiographic and angiographic determination of the left ventricular dimensions and volume were performed in 32 patients (24 with valvular heart disease, 6 with coronary heart disease without asynergy, and 2 with congestive cardiomyopathy). Echocardiographic left ventricular minor axis dimension (D) was measured at end-diastole (Dd) and end-systole (Ds) with the hitherto described method in all the 32 patients. In 14 patients echocardiographic major axis dimensions (Ld and Ls) were determined directly with the transducer placed near the apex beat directing to the base of the heart. The distance between the endocardial echo of the apical wall and the mitral valve ring echo was assumed as the major axis of the left ventricle.

Cineangiographic minor and major axis dimensions were determined with the single plane area-length method at end-diastole and end-systole. Regression equation between angiographically determined Ld and Dd was given by $Ld = 0.97 \times Dd + 3.8$ cm and that between Ls and Ds was given by $Ls = 1.1 \times Ds + 3.12$ cm. These equations were used for the estimation of Ld and Ls from the echocardiographically determined Dd and Ds.

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 (〒100)
*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 100
*The First Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113

Presented at the 13th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 25-26, 1976
Received for publication August 8, 1977

Echocardiographic left ventricular volume was calculated by three methods—(1) formula $V=D^3$, (2) $V=\pi/6 D^2L$, where L was directly measured by echocardiography, (3) $V=\pi/6 D^2L'$, where L' was calculated from the echocardiographically determined minor axis dimension using regression equations described above. Angiographic left ventricular volume was calculated by area-length method. Echocardiographic left ventricular volumes by the three methods were compared with angiographic estimates, respectively.

Although favorable correlations were obtained between echocardiographic estimates by these three formulas and angiographic estimates in EDV and ESV, in the presence of enlarged left ventricle where D_d exceeded 6.5 cm, formula $V=D^3$ had a tendency to overestimate the volumes through overestimation of the major axis dimension. This tendency was corrected by formula $V=\pi/6 D^2L$ or $V=\pi/6 D^2L'$, and the former (direct echocardiographic determination of the major axis) showed the best correlation with the angiographic estimation ($r=0.979$, $y=0.98x-5$ for EDV).

A less but significant correlation was also obtained between echocardiographic and angiographic estimates of ejection fraction, and the correlation was not improved by direct or indirect measurement of major axis dimension.

Direct measurement of L was not achieved in 18 of 32 cases because of difficulties either in the determination of endocardial echo of the apical wall or in identification of the mitral ring echo.

These data indicate that in cases with markedly enlarged left ventricle, the use of formula $V=\pi/6 D^2L$ (L is given either directly or indirectly) is a more accurate predictor of volumes than formula $V=D^3$.

Indirect determination of L from echocardiographic D is a simple and practical method when direct measurement is difficult to be achieved.

Key words

Echocardiography Left ventricular volume Long axis

はじめに

左室容量は左室機能を現す重要なパラメーターの1つである。左室容量は従来観血的な左室造影法により算定されてきた。近年心エコー図(UCG)の発達により、非観血的に種々の計算式を用いて左室容量が求められている。その中で最も一般的なのは、左室容量 V を UCG の左室短径 D の3乗として求める計算式である。この式では左室長径 L を短径 D の2倍と仮定している。左室の拡張が認められないときには、この仮定がほぼ正しいとみなせるが、左室拡張が著明になると L が D の2倍より小さくなるため、この式では左室容量を過大評価することになり、何らかの補正が必要となる。

今回我々は心尖部よりエコービームを入射し、

UCGにより直接左室長径を測定し、左室容量の算定を試み、左室造影による左室容量と比較検討した。さらに、長径を短径の一次式として表わし、UCGの短径より長径を推定し、それによる左室容量の補正を試みた。

対 象

対象は種々の心疾患32例で、内訳は弁膜症24例(僧帽弁狭窄、僧帽弁閉鎖不全、僧帽弁狭窄兼閉鎖不全、大動脈弁閉鎖不全、連合弁膜症)、心筋梗塞のない虚血性心疾患6例、うっ血型心筋症2例で、左室造影上 asynergy を示す例、右心負荷のある例、心電図上脚ブロックを示す例は含まれていない。性別は男17例、女15例、年齢17~65歳(平均38歳)であった。

方法

第一斜位にて cineangiography による左室造影を行い、大動脈弁輪部より心尖部までの距離を長径 L とし、拡張末期長径 L_d 、収縮末期長径 L_s を測定した。Area-length 法²⁾により、拡張末期短径 D_d および収縮末期短径 D_s 、左室拡張末期容量 EDV 、左室収縮末期容量 ESV 、1回心拍出量 SV ($SV=EDV-ESV$)、駆出率 EF ($EF=SV/EDV$) を求めた。また、左室造影上、長径 L と短径 D の関係を拡張末期、収縮末期につき求め、長径 L を短径の一次式として表わした。

UCG は Aloka 製 SSD-90 型を用い、トランスデューサーは 2.25 MHz、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。Fig. 1 に示すごとく、トランスデューサーを第3ないし第4肋間胸骨左縁にあて、僧帽弁前尖先端付近で心室中隔、左室後壁心内膜面のエコーが明瞭に得られるところで記録した¹⁾。そのエコー図より、心室中隔左室内面から左室後壁までの距離を左室短径 D とし、拡張末期短径 D_d 、収縮末期短径 D_s を求めた。さらに、心尖拍動の触れる位置より1肋間下からエコービームを内側上方背方に入射し、まず僧帽弁をとらえ、ついでトランスデューサーの角度をわずかに変えて、僧帽弁輪部エコーを記録した。左室心尖部心内膜面エコーと、僧帽弁輪部エコーとの距離を左室長径とみなし、拡張末期および収縮末期に左室長径 L を測定し、それぞれ L_d 、 L_s とした。UCG による左室容量は、④ $V=D^3$ の式によるもの、⑤

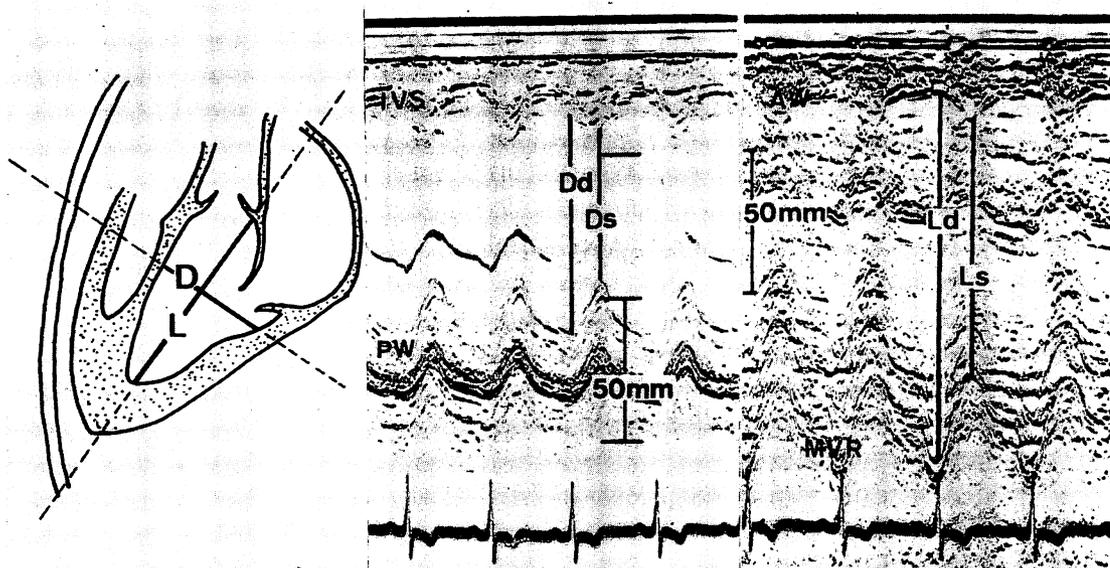


Fig. 1. Echocardiographic measurements of the minor and major axis dimensions of the left ventricle.

Minor axis dimension was measured by the conventional method. Major axis dimension was determined with the transducer placed near the apex beat directing to the base of the heart. The distance between the endocardial echo of the apical wall and the mitral valve ring echo was assumed as the major axis.

D_d : end-diastolic minor axis dimension, D_s : end-systolic minor axis dimension, L_d : end-diastolic major axis dimension, L_s : end-systolic major axis dimension, IVS: interventricular septum, PW: posterior wall, AW: anterior wall, MVR: mitral valve ring.

Table 1. Ages, diagnoses, echocardiographic and angiographic measurements

Case No.	Age	Sex		Cineangiography											
				Dd	Ld	Ds	Ls	EDV	ESV	SV	EF	Dd	Ld	Ds	Ls
1	44	F	CHD	5.1	9.0	1.9	5.3	123	10	113	92	4.8	8.6	2.7	6.2
2	48	M	VD	5.4	10.0	2.5	7.6	153	25	128	84	5.5	9.7	3.3	7.0
3	34	F	VD	5.8	7.8	3.3	7.0	137	40	97	69	5.5	8.0	4.0	6.3
4	22	F	VD	6.2	11.1	3.9	7.6	223	61	162	73	6.3	10.7	4.7	7.7
5	39	M	CCM	7.8	12.0	6.2	11.2	382	226	156	41	7.8	9.5	6.6	8.2
6	19	F	VD	8.2	10.0	5.7	7.7	352	131	221	63	7.8	10.5	5.0	7.2
7	27	M	VD	8.4	12.9	6.2	10.9	476	219	257	54	8.3	12.9	5.7	10.0
8	57	M	VD	8.1	11.9	5.6	9.6	409	158	251	61	8.0	12.8	5.0	9.0
9	22	F	VD	7.1	10.3	5.0	7.9	272	103	169	62	7.0	10.3	4.7	7.7
10	65	M	CCM	6.6	11.7	5.3	10.1	267	149	118	44	7.3	10.2	6.3	9.4
11	27	M	VD	8.2	11.8	6.3	10.8	415	224	191	47	8.2	12.3	5.8	9.8
12	17	F	VD	7.6	11.4	5.2	9.9	345	140	205	59	7.2	12.0	5.2	9.2
13	25	F	VD	7.1	9.9	4.2	8.0	261	74	187	72	6.8	10.0	4.2	6.2
14	62	M	CHD	6.0	9.3	4.5	8.6	175	91	84	48	5.8	9.2	4.2	7.7
15	41	F	VD	4.9	8.0	2.9	6.4	101	28	73	72	4.8		3.2	
16	54	F	VD	6.0	9.5	4.3	7.2	179	70	109	61	6.2		3.8	
17	26	M	VD	6.0	10.9	3.6	8.1	205	55	150	73	6.2		4.5	
18	54	M	CHD	4.8	8.4	2.7	5.4	101	21	80	79	4.5		2.7	
19	45	M	VD	6.9	12.5	5.4	9.3	312	142	170	54	7.0		5.2	
20	39	F	VD	7.3	8.4	4.6	6.6	234	73	161	69	6.8		4.5	
21	33	F	VD	5.6	9.8	4.3	8.4	161	81	80	50	5.5		3.7	
22	50	M	VD	6.7	9.8	5.1	8.1	230	110	120	52	6.8		5.7	
23	24	M	VD	6.6	9.5	4.2	6.4	217	59	158	75	6.2		4.2	
24	59	F	VD	4.1	6.6	2.6	5.9	58	21	37	63	4.0		2.5	
25	38	F	VD	6.4	10.7	4.6	8.5	229	95	134	59	6.3		4.3	
26	45	F	CHD	5.7	7.3	4.1	5.5	124	48	76	61	5.3		3.5	
27	30	M	VD	6.8	10.0	4.7	8.4	242	97	145	60	6.9		4.2	
28	32	M	VD	8.1	11.1	5.5	7.7	381	122	259	68	7.8		5.7	
29	62	M	CHD	4.9	8.8	3.0	6.3	111	30	81	73	4.8		3.2	
30	24	F	VD	6.9	10.5	4.0	8.0	262	67	195	74	6.3		3.9	
31	29	M	CHD	6.2	9.7	4.2	7.6	195	70	125	64	5.6		3.6	
32	48	M	VD	5.9	11.2	3.6	7.5	204	51	153	75	6.0		3.8	

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, SV: stroke volume, EF: ejection fraction, $V(D^3)$: echocardiographic estimate by formula $V=D^3$, $V\left(\frac{\pi}{6}D^2L\right)$: echocardiographic estimate by formula

of left ventricular dimensions, and estimates of left ventricular volumes

Echocardiography											
EDV (D ³)	EDV ($\pi/6 D^2L$)	EDV (our method)	ESV (D ³)	ESV ($\pi/6 D^2L$)	ESV (our method)	SV (D ³)	SV ($\pi/6 D^2L$)	SV (our method)	EF (D ³)	EF ($\pi/6 D^2L$)	EF (our method)
ml	ml	ml	ml	ml	ml	ml	ml	ml	%	%	%
111	103	102	20	24	23	94	79	79	85	77	77
166	154	144	36	40	39	130	114	105	78	74	73
166	127	144	64	53	63	102	74	81	61	58	56
250	222	206	104	89	96	146	133	110	58	60	53
474	302	363	287	187	237	118	115	126	29	38	35
474	334	363	125	94	113	349	240	250	74	72	69
572	465	429	185	170	160	387	295	269	68	63	63
475	408	389	157	137	113	318	271	276	76	75	71
343	264	272	104	89	96	239	175	176	70	66	65
389	285	304	250	195	210	139	90	70	36	32	25
551	433	415	195	173	167	356	260	248	65	60	60
373	326	293	141	130	125	232	196	168	62	60	57
314	242	252	85	62	71	229	180	181	73	74	72
195	162	167	72	71	72	123	91	95	63	56	57
111		102	33		35	78		67	70		66
238		197	55		55	183		142	77		72
238		197	91		86	147		111	62		56
91		87	20		23	71		64	78		74
343		272	141		125	202		147	59		54
314		252	91		86	223		166	71		66
166		144	51		52	115		92	69		64
314		252	185		160	129		92	41		37
238		197	74		71	164		126	69		64
64		64	16		19	48		45	75		70
250		206	80		76	170		130	68		63
149		131	43		45	106		86	71		66
329		262	74		71	255		191	78		73
475		363	185		160	290		203	61		56
111		102	33		35	78		67	70		66
250		206	59		59	191		147	76		71
176		151	47		48	129		103	74		68
216		181	55		55	161		126	70		70

$V = \frac{\pi}{6} D^2 L$, where L was measured directly by our method: echocardiographic estimate by our method $V = \frac{\pi}{6} D'^2 L'$, where L' was indirectly determined from echocardiographic D, VD: valvular heart disease, CCM: congestive cardiomyopathy, CHD: coronary heart disease.

UCGにて左室長径を直接測定したものは長径を使用し $V = \pi/6 D^2 L$ の式によるもの, © 左室造影から求めた D と L の関係より UCG の短径から長径 L' を推定し, $V = \pi/6 D^2 L'$ の式によるものの合計3通りの方法を用いて計算した. 上記3通りの方法により, EDV, ESV, SV (EDV-ESV), EF (SV/EDV) を計算した.

以上の方法により求めた左室内径と容量につき, UCG と左室造影法を比較検討した.

成績

UCG および左室造影による成績を Table 1 に示す. UCGにて左室長径を測定できたのは14例であった.

1. UCG による左室短径 Dd, Ds と左室造影法によるものとの比較 (Fig. 2)

左室拡張末期短径 Dd は $r=0.971$, 回帰式 $y=0.98x$ (y : UCG による値, x : 左室造影法による値) の良い相関を示し (Fig. 2-A), 左室収縮末期短径 Ds は $r=0.895$, 回帰式 $y=0.82x+0.8$ の良い相関を示した (Fig. 2-B). 両者とも

0.1% 以下の危険率で有意であり, UCG の値のほうが左室造影に比して小さい傾向にあった.

2. 長径 Ld, Ls の UCG と左室造影法の比較 (Fig. 3)

拡張末期長径 Ld は $r=0.819$, 回帰式 $y=0.89x+1.0$ (Fig. 3-A), 収縮末期長径 Ls は $r=0.864$, 回帰式 $y=0.67x+2.2$ (Fig. 3-B) と良い相関を示し, 両者とも 0.1% 以下の危険率で有意であった. Ld, Ls とも UCG のほうが左室造影法に比して小さい傾向にあった.

3. 左室造影における短径 D と長径 L の関係 (Fig. 4)

拡張末期長径 Ld と拡張末期短径 Dd との間には, $Ld=0.97Dd+3.8$ ($r=0.714$) の関係があり, 収縮末期長径 Ls と収縮末期短径 Ds の間には, $Ls=1.10Ds+3.1$ ($r=0.808$) の関係があった.

4. UCGによる左室容量と左室造影による容量との比較 (Fig. 5~8)

UCG による左室容量は, つぎの3とおりの方法で算出した. ㊶ $V=D^3$, ㊷ UCG で直接長径

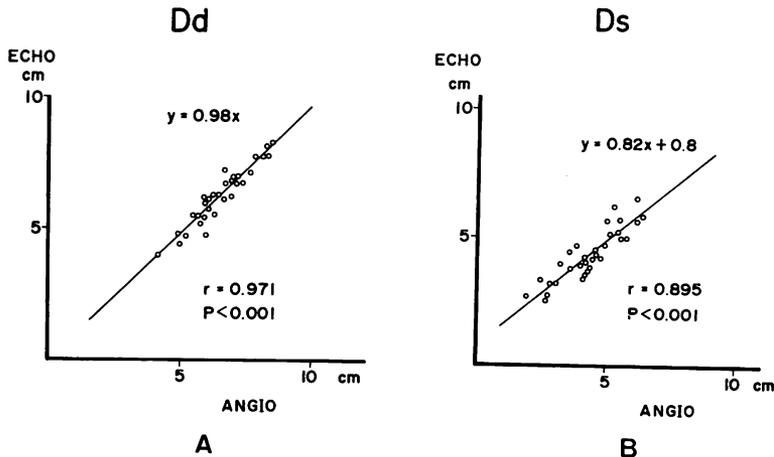


Fig. 2. Echocardiographic and angiographic correlation of the left ventricular end-diastolic minor axis dimension (Dd) and end-systolic minor axis dimension (Ds).

The solid lines show the least square fit of the data between echocardiographic and angiographic determination.

$$y=0.98x, r=0.971, p<0.001 \text{ for Dd.}$$

$$y=0.82x+0.8, r=0.895, p<0.001 \text{ for Ds.}$$

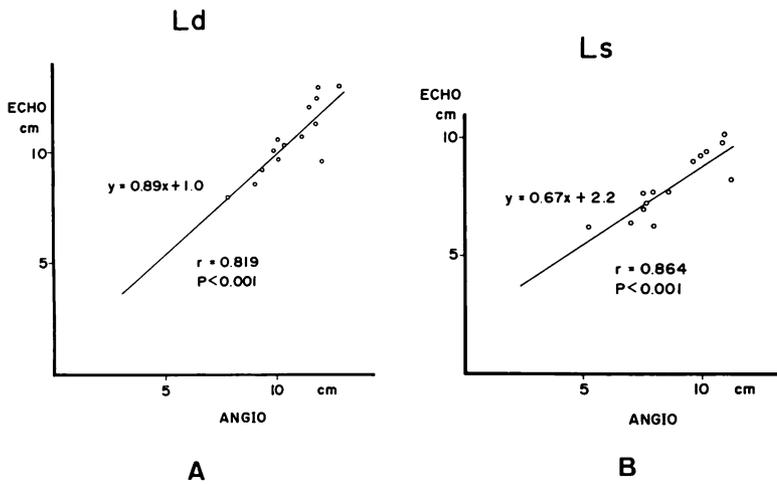


Fig. 3. Echocardiographic and angiographic correlation of end-diastolic and end-systolic major axis dimension (Ld and Ls).

Regression equation for echocardiographic against angiographic measurement is given by $y=0.89x+1.0$ ($r=0.819$, $p<0.001$) for Ld and $y=0.67x+2.2$ ($r=0.864$, $p<0.001$) for Ls.

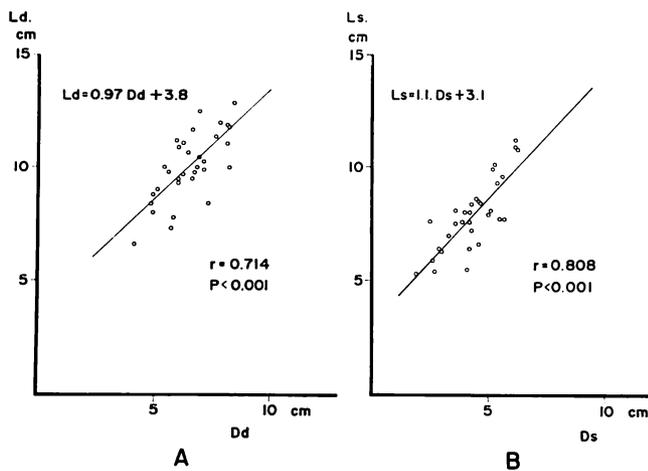


Fig. 4. Correlation of angiographic major axis dimension (L) and minor axis dimension (D) (our method).

A. Correlation of end-diastolic major axis dimension (Ld) and minor axis dimension (Dd). Regression equation is given by $Ld=0.97 Dd+3.8$ ($r=0.714$, $p<0.001$).

B. Correlation of end-systolic major axis dimension (Ls) and minor axis dimension (Ds). Regression equation is given by $Ls=1.1 Ds+3.1$ ($r=0.808$, $p<0.001$).

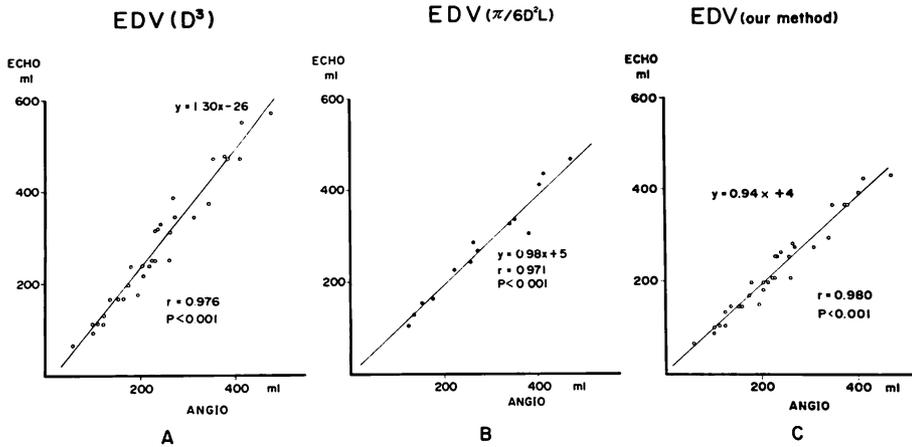


Fig. 5. Echocardiographic and angiographic correlation of end-diastolic volume (EDV).

A. Echocardiographic EDV is calculated by formula $V=D^3$. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=1.30x-26$ ($r=0.976$, $p<0.001$).

B. Echocardiographic EDV is calculated by formula $V=\pi/6 D^2L$ where L is measured directly. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=0.98x+5$ ($r=0.971$, $p<0.001$).

C. Echocardiographic EDV is calculated by our method, $V=\pi/6D^2L'$, where L' is given by formula $Ld=0.97Dd+3.8$. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=0.94x+4$ ($r=0.980$, $p<0.001$)

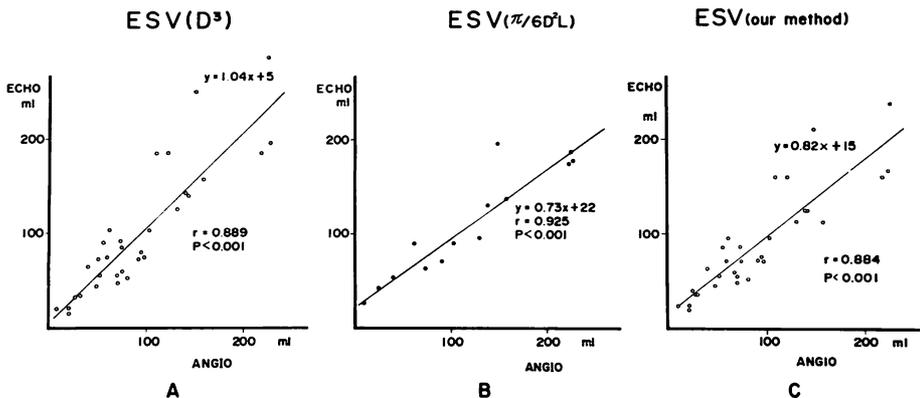


Fig. 6. Echocardiographic and angiographic correlation of end-systolic volume (ESV).

A. Echocardiographic ESV is calculated by formula $V=D^3$. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=1.04x+5$ ($r=0.889$, $p<0.001$).

B. Echocardiographic ESV is calculated by formula $V=\pi/6 D^2L$ where L is measured directly. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=0.73x+22$ ($r=0.925$, $p<0.001$).

C. Echocardiographic ESV is calculated by our method $V=\pi/6 D^2L'$ where Ls is given by formula $Ls=1.1 Ds+3.1$. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=0.82x+15$ ($r=0.884$, $p<0.001$).

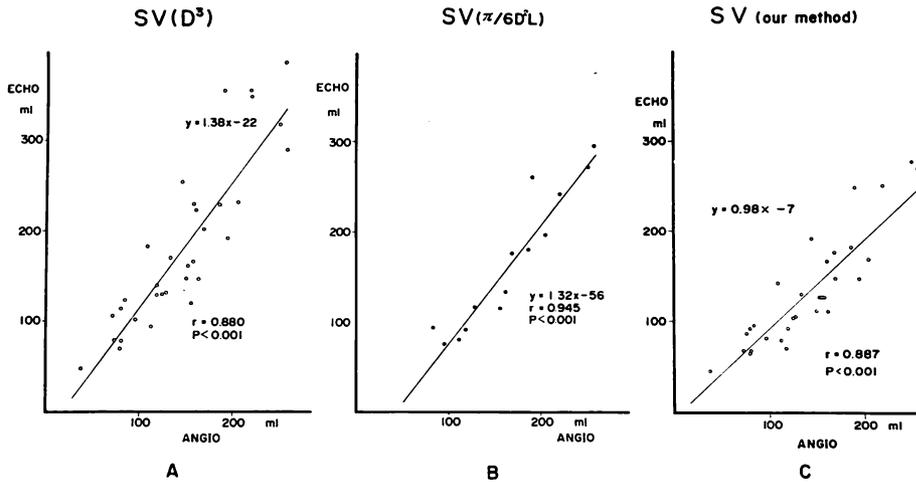


Fig. 7. Echocardiographic and angiographic correlation of left ventricular stroke volume (SV).

A. Echocardiographic left ventricular volume is calculated by formula $V=D^3$. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=1.38x-22$ ($r=0.880$, $p<0.001$).

B. Echocardiographic left ventricular volume is calculated by formula $V=\pi/6 D^2L$ where L is measured directly. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=1.32x-56$ ($r=0.945$, $p<0.001$).

C. Echocardiographic left ventricular volume is calculated by $V=\pi/6 D^2L'$, where L' is obtained by our method ($Ld=0.97Dd+3.8$, $Ls=1.1Ds+3.1$). Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=0.98x-7$ ($r=0.887$, $p<0.001$).

L を測定し、 $V=\pi/6 D^2L$ の式を用いたもの、㊦上記 3 で左室造影にて求めた長径 L と短径 D の関係 ($Ld=0.97Dd+3.8$, $Ls=1.1Ds+3.1$) を用いて、UCG の短径 D より長径 L' を求め、 $V=\pi/6 D^2L'$ の式を用いたもの。これらの方法により EDV, ESV, SV, EF を算出した。

1) EDV (Fig. 5)

UCG の $V=D^3$ の式による EDV と左室造影によるものを比較すると、 $r=0.976$, $y=1.30x-26$ の良い相関を得た。UCG のほうが左室造影法に比して大きい (Fig. 5-A)。UCG の直接長径測定による EDV と左室造影法とを比較すると、 $r=0.971$, $y=0.98x+5$ の相関を得た。UCG のほうがわずかに小さい値をとった (Fig. 5-B)。UCG 上 $V=\pi/6 D^2L'$ により求めた EDV と左室造影法とを比較すると、 $r=0.980$, $y=0.94x+4$ の相関を示し、UCG のほうがやや小さい傾

向にあった (Fig. 5-C)。いずれの方法も 0.1% 以下の危険率で有意であった。これらの方法の中では UCG の直接長径測定による方法が左室造影法との一致は最も良かった。

2) ESV (Fig. 6)

UCG の $V=D^3$ の式による ESV と左室造影法との比較は、 $r=0.889$, $y=1.04x+5$ の相関を示し、UCG のほうが左室造影法に比して大きい傾向にあった (Fig. 6-A)。UCG の長径直接測定による ESV と左室造影法との比較は、 $r=0.925$, $y=0.73x+22$ と UCG の値のほうが小さい傾向にあった (Fig. 6-B)。UCG の $V=\pi/6 D^2L'$ の式により求めた ESV と左室造影法とを比較すると、 $r=0.884$, $y=0.82x+15$ と左室容量が大きいときに、UCG のほうが左室造影法に比して小さくなる傾向にあった (Fig. 6-C)。いずれも 0.1% 以下の危険率で有意であった。

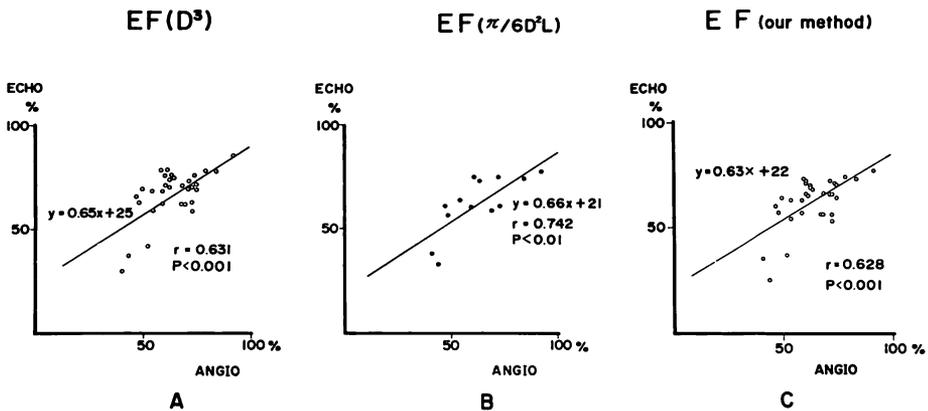


Fig. 8. Echocardiographic and angiographic correlation of left ventricular ejection fraction (EF).

A. Echocardiographic left ventricular volume is calculated by $V=D^3$. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=0.65x+25$ ($r=0.631$, $p<0.001$).

B. Echocardiographic left ventricular volume is calculated by $V=\pi/6 D^2L$, where L is measured directly in from the echocardiogram. Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=0.66x+21$ ($r=0.742$, $p<0.01$).

C. Echocardiographic left ventricular volume is calculated by $V=\pi/6 D^2L'$ where L' is obtained by our method ($L_d=0.97D_d+3.8$, $L_s=1.1D_s+3.1$). Regression equation for echocardiographic estimate is given by $y=0.63x+22$ ($r=0.628$, $p<0.001$).

3) SV (Fig. 7)

SVはUCG, 左室造影とも $SV=EDV-ESV$ の式で求めたが, UCGによる3とおりの方法と左室造影法との比較は, それぞれ $r=0.880$, $y=1.38x-22$ (Fig. 7-A), $r=0.945$, $y=1.32x-56$ (Fig. 7-B), $r=0.887$, $y=0.98x-7$ (Fig. 7-C)で, いずれも0.1%以下の危険率で有意であった。

4) EF (Fig. 8)

UCGの $V=D^3$ により求めたEFと左室造影法とを比較すると, $r=0.631$, $y=0.65x+25$ の相関を示した ($p<0.001$) (Fig. 8-A). UCGの長径測定から求めたEFは, $r=0.742$, $y=0.66x+21$ の相関を示した ($p<0.01$) (Fig. 8-B). UCGの短径より長径を推定する式を用いて, 算出したEFと左室造影法によるものとを比較すると, $r=0.628$, $y=0.63x+22$ ($p<0.001$) (Fig. 8-C)で, 左室造影法との一致に関してこれら3方法の間には差は認められなかった。

考 案

左室容量を知ることは, 臨床心機能を知る上で重要である。左室容量はFeigenbaum以来, UCGにより種々の方法で算出されている。現在, 最も簡便で有用な方法とされているのは, $V=D^3$ の式であるが, これには以下の仮定が必要である²⁷⁾。

- ① 左室が回転楕円体とみなせること。
 - ② 左室を回転楕円体とみなしたとき, 相交わる3つのディメンジョンのうち, 2つの短径が等しいこと ($D_1=D_2$)。
 - ③ UCGにより計測した短径が, 真の左室短径に等しいこと。
 - ④ 左室収縮に場所による差がないこと。
 - ⑤ 左室長径は短径の2倍であること。
- ①の仮定にはまだ問題がないわけではないが, 左室造影による左室容量と, 剖検心の容量の比較

などから確かめられている^{16,21~24)}。

②の仮定 ($D_1=D_2$) も左室造影から確かめられている。すなわち、二方向左室造影を施行した場合、正面像の短径 D_1 と側面像の短径 D_2 はほぼ等しく^{22,24)}、臨床的に左室造影法にて左室容量を計測する場合、一方向造影のみで十分であるとされている。

③の仮定に関して、従来より多くの文献があり、左室造影の短径と UCG の短径とは良く相関するといわれている^{3,5,8,11~14)}。また、我々の成績でも、UCG の短径と左室造影法の短径とは良く相関している。Feigenbaum らは、UCG の左室内径 D を左室の長径と短径の間でとっている。すなわち長径に垂直な線でなく、斜めの線をとっていると述べており^{2,4)}、また、UCG で測定している場所は、必ずしも左室造影上の短径を現す場所でないとするものもある²⁶⁾。

さらに、おのおのの研究者による拡張末期短径 D_d 、収縮末期短径 D_s の UCG と左室造影法との比較で、その回帰式が $y=x$ (y : UCG による D , x : 左室造影法による D) とはならず、 D_d は UCG による値のほうが、左室造影法による値に比して小さい傾向にあり、 D_s はむしろ UCG の値のほうが大きい傾向にある^{11,12)}。これは左室造影で左室容量を計算する場合に、乳頭筋等を内腔に含めるといことも一因であるといわれている。真城らは、 $D>5.0$ cm で UCG のほうが左室造影法に比して小さいという成績を得ている¹³⁾、我々の今回の成績でも、真城らとほぼ同様の結果を得た。

以上より、UCG の内径と左室造影法の短径とは全く同一のもの、あるいは同一の場所を測定しているとは必ずしもいえないかもしれないが、ほぼ同一の値を示すので、③の仮定を正しいとして良いと思われる。

④の仮定は心筋梗塞などによる左室 asynergy がある場合、肥大型心筋症の場合などで、心筋の収縮様式に場所による差がある場合には、一方のビームによる計測では左室容量に大きな差を生

じることは当然である^{6,17~19)}。今回、我々は左室造影上 asynergy のあるもの、肥大型心筋症などは症例から除いたので、一カ所の左室壁の動きが全体の動きを反映しているとみなせる。

上記①~④の仮定に基づいて、UCG により $V=\pi/6 D^2L$ の式で左室容量を算出できる。

さて、従来の方法ではこの長径 L を直接測定せず、⑤の仮定を用いてきた。 $V = \pi/6 D^2L = \pi/6 D^2(2D) = \pi/3 D^3 \doteq D^3$ とし、左室容量を算定している。その式による左室容量と、左室造影法による左室容量、駆出率 EF は良い相関を示している^{3,10,12,15)}。EDV に関しては $r=0.81 \sim 0.97$ 、ESV は $r=0.81 \sim 0.97$ の相関を示している^{3,4,6~9,12)}。EDV は UCG のほうが大きく^{3,10)}、ESV は UCG のほうが小さい値をとる傾向にある^{3,9)}。

我々の結果でも、 $V=D^3$ の式による UCG の左室容量と左室造影法のそれとを比較すると、EDV、ESV、EF と両者の相関は良い。このように、 $V=D^3$ の式による UCG 左室容量計算は良い方法であるが、⑤の仮定が正しいと考えられるのは、左室拡大が著明でない場合である。左室が拡大してくると、左室は球形に近づくことは周知のことであり、 $L=2D$ とはみなせなくなる。Teichholz らによれば、 $L=2D$ とみなせるのは $D=4$ cm のときであり、左室が拡大して $D=8$ cm となったときには、左室長径短径比 L/D は 1.3 となる¹⁹⁾。今回、我々もほぼ同様の成績を得ている。すなわち $V=D^3$ の式による容量計算は、左室拡大が著明になると必然的に左室容量を過大評価することになり、その程度は左室拡大の程度が大きければさらに大きくなる。今回、 $V=D^3$ の式にて、我々の得た成績で EDV に関して UCG のほうが左室造影法の値に比して大きいのは、左室拡大例が多く含まれているためであり、ESV は比較的容量が小さいため、UCG と左室造影法の値との差が小さいと思われる。

そこで、 $L=2D$ の仮定を必要としない計算式が考案されている。Fortuin らは、 $EDV=59Dd - 153$ 、 $ESV = 47Ds - 120$ と左室容量を UCG

の左室短径の一次式で現し, 左室造影法による容量と良い相関が得られるとした¹¹⁾. しかしこの方法では, **Fig. 9**に示すごとく, 左室が拡大した場合に UCG は左室容量を過小評価する. Gibson は, 左室造影上の長径 L と UCG の短径 D との関係を求め, $Ld=0.98Dd+5.9$, $Ls=1.14Ds+4.18$ の回帰式を得ている¹²⁾. 我々は, この式を用いて UCG の短径 D より長径 L を算出し左室容量を計算した. それによると, 左室造影法との相関は良いが, **Fig. 9**に示すごとく, 左室容量を過大評価する傾向にある. さらに, Teichholz

らは左室造影上, 左室長短径比 L/D が短径 D と逆比例の関係にあることを示し, $1/(L/D)=0.075D+0.18$ の関係式を得, それから UCG による左室容量を算出している. すなわち $V=[7/(D+2.4)]D^3$ の式を用いて, UCG による左室容量の補正を行い, 左室造影法と良い相関を得ている^{18,19)}. しかし, この方法によって今回我々が得た UCG の左室容量は, **Fig. 9**に示すように左室が拡大してくると過小評価される.

左室長径を UCG で直接測定できれば, その方法が左室容量算出に最善と思われるので, 我々

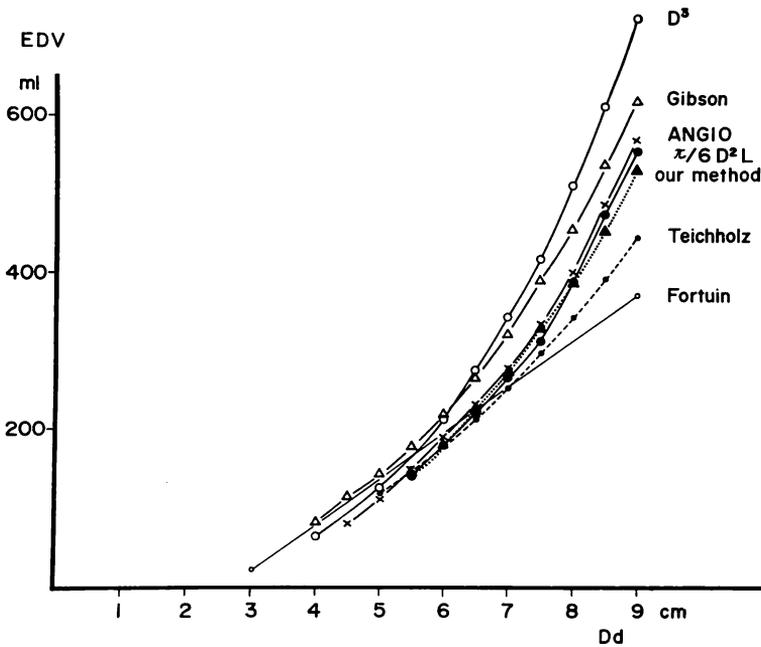


Fig. 9. Comparison of left ventricular end-diastolic volume (EDV) calculated by different methods against end-diastolic minor axis dimension (Dd).

The open circles with solid line represent echocardiographic estimate by formula $V=D^3$; the open triangles with solid line represent echocardiographic estimate by Gibson's formula $V=\pi/6 D^2 (0.98D+5.9)$; x with solid line represent angiocardiographic estimate; the closed circles with solid line represent echocardiographic estimate by $V=\pi/6 D^2 L$ where L is measured directly by the echocardiogram; closed triangles with dotted line represent echocardiographic estimate by our method $V=\pi/6 D^2 (0.97 Dd+3.8)$; small closed circles with dotted line represent echocardiographic estimate by Teichholz's formula $V=[7/(D+2.4)]D^3$; solid straight line represents echocardiographic estimate by Fortuin's formula $EDV=59Dd-130$.

Best correlation with angiocardiography in EDV is obtained by $V=\pi/6 D^2 L$ where L is determined directly by echocardiography and by our method. The formula $V=D^3$ and that of Gibson overestimate, while formula by Teichholz and Fortuin underestimate the EDV when Dd exceeds 6.5 cm.

は UCG で左室長径測定を試みた。Feigenbaum らは、心尖部よりビームを入射し、僧帽弁輪部をとらえ、弁輪部の偏位と内径との積で心拍出量を求めているが²⁰⁾、我々は心尖拍動部の 1 肋間下よりエコービームを入射し、僧帽弁輪部と心尖部までの距離を UCG の長径と考えた。この UCG の長径と左室造影法によるものとを比較すると、Ld, Ls とも良い相関を示し、短径と同じく UCG のほうが、左室造影法に比して小さい値をとる。

UCG による長径は、左室造影上の長径と同一の場所を測定しているのではないが、我々が UCG で得た長径の値は真の長径に近似できるものと考えられる。UCG により求めた長径 L を用い、 $V = \pi/6 D^2 L$ の式にて、UCG による左室容量を計算し、左室造影法によるものとを比較すると、EDV は $y = 0.98x + 5$ (y: UCG による EDV, x: 左室造影法による EDV) と $V = D^3$ の式によるものより左室造影法との一致が良く、ESV に関しても $V = D^3$ による UCG の左室容量よりも高い相関係数を示した。

EF は長軸直接測定による方法がとくにすぐれているわけではなかったが、良い相関を示した。すなわち、長径を直接測定して、左室容量を補正する方法が最善といえる。しかし、この長径を UCG で測定することにも大きな問題がある。それは、UCG で長径が必ずしも全症例において測定できるものではないということである。心拡大が著明でない例、心尖拍動が触れにくい症例では、僧帽弁輪部の良好な記録が得られない例が多く、また心拡大が著明で心尖拍動が触れやすい症例においても、心尖部心内膜面エコーと僧帽弁輪部エコーとが必ずしも同時に明瞭にとらえられるとは限らない。

特殊な例を除いて大多数の例に左室短径が記録可能ということに比べ、長径測定可能という例は多くない。さらに拡張末期長径 Ld は、左室造影法によるそれと良く一致したが、収縮末期長径 Ls の UCG と左室造影法との一致はあまり良くなかった。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 肋間下で行ったが、拡張末期には心尖部が心尖拍動部よりやや下方にあり、このため拡張末期には心尖部をビームが通過し、良好な結果が得られた。しかし、収縮末期には心尖部がその位置よりずれるためということも一因となって良好な結果が得られず、UCG により長径を直接測定するさいの限界の 1 つといえる。

我々は Gibson にならい、左室造影上長径 L と短径 D の関係を求め、L を D の一次式で現すことを試みたところ、 $Ld = 0.97Dd + 3.8$, $Ls = 1.10Ds + 3.1$ の回帰式を得た。この回帰式を用いて、UCG の短径より長径を推定し左室容量の補正を試みた。この方法により計算したものと、左室造影法によるものとを比較すると、EDV は $r = 0.980$, ESV は $r = 0.884$, EF は $r = 0.628$ と良い相関を示した。また、Fig. 9 に示すように長径直接測定以外の方法による UCG の EDV に比べ、左室造影法との一致も良い (Fig. 9, our method)。UCG で直接長径を測定しえた例に比して、左室造影法との一致はやや劣るが、長径直接測定法に比して、より多数の例において長径を加味して容量を補正することができる利点がある。すなわち、我々のこの方法は最善とはいえないが、臨床的には応用度が高いと考えられる。

一方、静止断層法を用いて計測した左室容量は、現状では左室造影法との相関が良くないとされている。これは弁構造、心内膜面が左室造影や一方向 UCG のごとく正確に写し出されないこと、さらに心尖部の描出が十分でないことなどに起因するといわれている²⁵⁾。しかし、今後の装置の発達により、近い将来には左室形態がより鮮明に描写され、より正確な容量計算が可能になると思われる。

すでに、電子 sector scan による real time cross sectional echocardiography の登場は、胸骨左縁および心尖部両方からの断層像を記録することにより、左室の 3 つのディメンジョン (D_1 , D_2 , L) の測定を可能とし、理想に近い容量計算が行える見通しが得られつつある。この方法は、

asynergy のあるものに関してより正確な容量, EF の計算が可能であり, 左室造影法に勝るとも劣らない方法となることが期待されている。

我々は, 今回 UCG による左室容量を, 左室造影法による容量を対照として比較したが, 左室造影法自体も決して絶対的に正確であるとはいえないことに注意しなければならない。すなわち, 少なくとも 40~50 ml の造影剤注入による直接の容量増加, 造影剤の左室心筋伸展性におよぼす影響, 期外収縮の発生, 倍率の誤差, 乳頭筋による影響などによる誤差である。したがって, 超音波による計測がより精密になればなるほど, 左室造影法による値よりも明らかに異なる値をとることが予想される。超音波計測による値を, 1 つの標準として使用する程度にまで高めることが, 我々のさしあたっての目標であろう。

結 語

1) UCG により, 左室容量, 駆出率を算出し, 左室造影法とのそれと対比した。

2) UCG による $V=D^3$ の計算式は, 左室拡大のあるとき, 左室容量を過大評価する。

3) UCG で直接長径計測をして求めた UCG の左室容量 (EDV) は, 左室造影法のそれとの一致が最も良いが, 長径計測が技術的に困難な例が少なくない。

4) UCG の短径より長径を推定して求めた UCG の容量は, 直接長径測定法にやや劣るが, 臨床的には有用な方法である。

ま と め

32 例の asynergy のない患者 (弁膜症 24 例, 虚血性心疾患 6 例, うっ血型心筋症 2 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, 左室長径 L および短径 D を, また UCG にて左室短径 D をそれぞれ拡張末期・収縮末期において測定した。

14 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, 収縮末期に計

測した。左室造影上長径 L を短径 D の一次式で表わし ($L_d=0.97D_d+3.8$, $L_s=1.1D_s+3.1$), その式を用いて UCG の短径より長径を計算した (L')。UCG の容量は $V=D^3$, 直接長径を測定したものは $V=\pi/6 D^2L$, さらに UCG の短径より求めた長径 L' を用いた $V=\pi/6 D^2L'$ の 3 とおりの方法で求めた, おのおの左室造影法による容量 (area-length 法) と比較した。D, L とともに UCG と左室造影法とは良く相関した。

拡張末期容量 EDV, 収縮末期容量 ESV は, UCG の三方法とも左室造影法と良く相関したが, EDV は UCG の長径を直接測定した方法が, 左室造影法との一致は最も良かった ($r=0.979$, $y=0.98x-5$)。駆出率は, 三方法の間に差はなかった。左室が拡張すると, UCG による $V=D^3$ の式では左室容量を過大評価することになり, 補正が必要となる。その場合, UCG にて長径を直接測定する方法が最善といえるが, 必ずしも全例で測定できるとは限らず, 次善の方法であるが, UCG の短径より長径を推定して左室容量を補正する必要がある。将来は cross sectional echocardiography が容量計測にも有用な武器となるであろう。

文 献

- 1) 町井 潔編著: 心臓の超音波検査法. 中外医学社, 東京, 1977, p. 74
- 2) Feigenbaum H, Wolfe SB, Popp RL, Haine CL, Dodge HT: Correlation of ultrasound with angiocardiology in measuring left ventricular diastolic volume. Amer J Cardiol 23: 111, 1969 (abstr)
- 3) Pombo JF, Troy BL, Russell RO: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. Circulation 43: 480, 1971
- 4) Feigenbaum H, Popp RL, Wolfe SB, Troy BL, Pombo JF, Haine CL, Dodge HT: Ultrasound measurements of the left ventricle. Arch Intern Med 129: 461, 1972
- 5) McDonald IG, Feigenbaum H, Chang S: Analysis of left ventricular wall motion by reflected ultrasound: Application to assessment of myocardial function. Circulation 46: 14, 1972

- 6) Ratshin RA, Boyd CN, Rackley CE, Moraski RE, Russell RO: Quantitative echocardiography: Correlations with ventricular volumes by angiocardiology in patients with coronary artery disease with and without wall motion abnormalities. *Circulation* **48** (Suppl IV): IV-48, 1973 (abstr)
- 7) Ratshin RA, Boyd CN, Rackley CE, Russell RO: The accuracy of ventricular volume analysis by quantitative echocardiography in patients with coronary artery disease with and without wall motion abnormalities. *Amer J Cardiol* **33**: 164, 1974 (abstr)
- 8) Blenkie I, Nutter DO, Clark DW, McCraw DB, Raizner AE: Assessment of left ventricular dimensions and function by echocardiography. *Amer J Cardiol* **31**: 755, 1973
- 9) Murray JA, Johnston W, Reid JM: Echocardiographic determination of left ventricular dimensions, volumes and performance. *Amer J Cardiol* **30**: 252, 1972
- 10) Ludbrook P, Karliner JS, Peterson K, Leopold OS, 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
- 11) Fortuin NJ, Hood WP, Sherman MG, Craige E: Determination of left ventricular volumes by ultrasound. *Circulation* **44**: 575, 1971
- 12) 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
- 13) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128, 1973
- 14) Ratshin RA, Tackley CE, Russell RO: Determination of left ventricular preload and afterload by quantitative echocardiography in man. *Circulat Res* **34**: 711, 1974
- 15) Quinones MA, Gaasch WH, Alexander JK: Echocardiographic assessment of left ventricular function: With special reference to normalized velocities. *Circulation* **50**: 42, 1974
- 16) Cooper RH, O'Rourke RA, Karliner JS, Peterson KL, Leopold GR: Comparison of ultrasound and cineangiographic measurements of the mean rate of circumferential fiber shortening in man. *Circulation* **46**: 914, 1972
- 17) Fortuin NJ, Hood WP, Craige E: Evaluation of left ventricular function by echocardiography. *Circulation* **46**: 26, 1972
- 18) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determinations: Echo-angiographic correlations. *Circulation* **45**, **46** (Supple II): II-75, 1972 (abstr)
- 19) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Amer J Cardiol* **37**: 7, 1976
- 20) Feigenbaum H, Zaky A, Nasser WK: Use of Ultrasound to measure left ventricular stroke volume. *Circulation* **35**: 1092, 1967
- 21) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord JD: The use of biplane angiocardiology for measurement of left ventricular volume in man. *Amer Heart J* **60**: 762, 1960
- 22) Dodge HT, Sandler H, Baxley WA, Hawley RR: Usefulness and limitation of radiographic methods for determining left ventricular volume. *Amer J Cardiol* **18**: 10, 1966
- 23) 楠川禮造, 篠山重威: 心造影法からみた左心室容積呼吸と循環 **20**: 517, 1972
- 24) Greene DG, Carlisle R, Grant C, Bunnell IL: Estimation of left ventricular volume by one-plane cineangiography. *Circulation* **35**: 61, 1967
- 25) Roelandt J, van Dorp WG, Bom N, Laird JD, Hugenholtz PG: Resolution problems in echocardiography: a source of interpretation errors. *Amer J Cardiol* **37**: 256, 1976
- 26) Linhart JW, Mintz GS, Segal BL, Kawai N, Kotler MN: Left ventricular volume measurement by echocardiography: fact or fiction? *Amer J Cardiol* **36**: 114, 1975
- 27) Feigenbaum H: *Echocardiography*. 2nd ed, Lea & Febiger, Philadelphia, 1976, p 309