

心エコー図法とシネアンジオ法より求めた左室圧容積関係の比較検討

Comparison of left ventricular diastolic pressure-volume relation by UCG and cineangiographic method

延吉 正清
伊藤 幸義
藤田 一之
野坂 秀行
高山 幸男
加来 省三

Masakiyo NOBUYOSHI
Yukiyoshi ITO
Kazuyuki FUJITA
Hideyuki NOSAKA
Yukio TAKAYAMA
Shozo KAKU

Summary

Comparison of left ventricular diastolic pressure-volume relations by UCG and cineangiographic method was studied in 5 patients with sinus rhythm. Correlation of pressure-volume relations in diastole by UCG and cineangiographic method was fair except 1 case and was linear in 3 cases from early diastole to end-diastole. Correlation of volume changes in diastole measured by UCG and cineangiographic method was linear, but left ventricular volume measured by UCG was underestimated in most cases.

Change in the ratio of long and short axes of the left ventricle measured by cineangiographic method was almost constant during diastole. This findings suggest that left ventricular volume measured by Gibson's method is agreeable. Value of K of Gaasch increased from end-diastole to early diastole in each case and value of dV/dP of Gaasch was almost constant during diastole. Diastolic pressure-volume index (k , dV/dP , $\Delta V/\Delta P$, $\Delta P/\Delta V$, $\Delta P/\Delta V/1/\bar{P}$) measured by UCG was nearly similar to those of cineangiographic method.

Key words

pressure-volume relation

k , dV/dP , m , $\Delta V/\Delta P$, $\Delta P/\Delta V$, $\Delta P/\Delta V/1/\bar{P}$

compliance

stiffness

distensibility

小倉記念病院 内科
北九州市小倉北区貴船町1-1 (〒802)

The Department of Internal Medicine, Kokura Memorial Hospital, Kifune-cho 1-1, Kokurakita-ku, Kitakyushu, 802

はじめに

心機能の測定は, ポンプ作用である収縮期と同時に, 拡張期についてもなされなければ正しい評価をなしえないと思われる. しかしながら, 最近までは収縮期の研究が主体であった. その主な理由は, 収縮期に心室は圧発生的な役目を行い, 従って研究も圧と時間という比較的測定しやすいパラメーターにもとづいてなされうる. それ故, この方面の研究には膨大なデータの蓄積, 理論の展開があり, 多くの指標の提唱がなされ, また最近, それに対する批判や反省も出ている.

一方, 拡張期については, 乳頭筋を用いた摘出心筋による実験的研究^{1)~3)}から, 最近では左室造影法の臨床的導入により, 左室の圧-容積関係が経時的にとらえうるようになった.^{4)~6)} しかしながら, 圧と同時に左室容積をとらえることには相当な困難さが伴うため, 臨床的な研究は心収縮期のそれにくらべて立ち遅れている.

現在, 一般的に心容積を測定する方法としては左室造影法が用いられているが, この方法は二次元または三次元的な測定は可能であるが, 一方, (1) 頻回な測定が困難, (2) 造影剤の薬理学的影響および注入時の心容積の一時的増加の影響, (3) 画像処理等の多くの問題点がある. 最近UCG法による心容積の測定が左室造影法と良く一致するとの報告^{7)~11)}より, 手軽に圧容積関係の解析が可能となってこの方面の研究が盛んになり, 多くの研

究者によって拡張期弾性指標^{1)12)~15)}が提案されている.

拡張期指標としては distensibility の指標として, (dV/dP) , $(\Delta V/\Delta P)$, 係数としては, k , m , stiffness の指標として $\Delta P/\Delta V$, $(\Delta P/\Delta V) \cdot \frac{1}{P}$ 等があり, 同じ $\Delta P/\Delta V$ でも測定方法により絶対値およびその意味するところに違いがある. 今回我々はこの点についての検討を行い, さらに UCG 法が 1 方向 (one dimension) より心容積を測定するため当然限界があり, この点について左室造影法より得た各指標と対比検討したので, 今回は, この方法論的な問題を主眼におき, 疾患別検討はまた別の機会に行う予定である.

対象と方法

対象は冠動脈性心疾患の疑いのある患者 5 例で, 診断, 年齢, 性別, および左室収縮期機能は **Table 1** の通りである.

患者はすべて洞調律で, 心カテは空腹時で, 前処置として術前 1 時間前に diazepam 10 mg を筋注し, 前腕切開で, 左室圧測定は 8F の 100 cm NIH カテーテルを用い, 圧測定のトランスジューサーは Stetham P23D6 を用いた. ポリグラフは日本光電製 8 素子で, 記録器は 8 素子のミンゴグラフ, 圧測定時のペーパー速度は 100 mm/sec, この圧測定系の固有振動数は 20 サイクル, damp-

Table 1. Catheterization data of 5 patients (systole)

Case	Age	Sex	Aorta, m	LV, edp	Max dP/dt	Max dP/dt / IP	Vmax	E.F.
1	K.U. 64	M	168/80,106	168/0,20	1778	24.7	1.69	0.64
	(M. Infarct)							
2	M.H. 36	F	126/76,84	116/0,10	2350	34.3	1.08	0.81
	(NCA)							
3	Y.K. 29	M	88/42,98	90/0,8	1511	32.2	1.52	0.88
	(Angina)							
4	M.K. 43	F	148/76,62	136/0,6	1778	30.7	1.11	0.88
	(SSS)							
5	H.N. 38	F	136/88,104	178/8,12	1773	32.4	3.10	0.73
	(NCA)							

ing ratio 0.27, 減衰比 41%, Case 5 は Millar 社製 tip manometer を用いた (fluid-filled manometer と tip manometer の圧測定誤差は 1.3%).

UCG の記録には Aloka SSD 90 strip chart recorder, トランスジューサーは 2.25 MHz, 口径 1.7 cm を用いた. Feigenbaum らの方法にしたがい, 第 4 肋間胸骨左縁よりやや後外方にトランスジューサーを向け, 前尖エコーを確認し, 次に下方向に向け, 中隔および左室後壁エコーが明瞭に, しかも最大に確認できるところで, ペーパー速度 100 mm/sec で, 左室圧および心電図と同時に記録した.

左室造影は冠動脈造影後で, UCG 記録直後, 肺動脈に NIH カテーテルを挿入, 一方, 左室に NIH 8F または Millar 社製の tip manometer を挿入し, RAO 30° で, 76% Urografin 30~40 cc を注入圧 6~7 kg/cm² で注入, Philips 社製の 5 インチスーパーイメージを用い, photosonic 社製 35 mm シネカメラで秒 48 コマで撮影した. シネフィルムには同時に左室圧力および心電図を記録し (生体 2 現象入りシネアングリオ), 一方シネアングリオ時に, 同時にミンゴグラフで左室圧をペーパー速度 100 mm/sec で記録し, シネフィルム上の圧と 1:1 に対応させた.

シネアングリオからの左室容積の測定は, NAC 社製のモーションアナライザーを約 62.5 msec 間隔でスケッチし, Greene¹⁶⁾ による RAO 一方向と, Dodge ら¹⁷⁾ による area-length method の組み合わせより, **Figure 1** のようにして算出した. 容積の補正は背部より 10 cm から 20 cm まで, 1 cm 間隔で, 回転楕円体の石膏で作った 10 cc から 140 cc までの 10 cc 間隔のファントームを置き, これより拡大率の回帰直線を求めて, 各容積に近い補正係数を使用した.

UCG による心容積の計算は **Figure 2** のように Popp ら⁷⁾ による $V = \frac{\pi}{3} D^3$ と, 短軸より長軸を回帰式で求める Gibson 法, $V = \frac{\pi}{3} D^2 L$ を用い比較検討した.

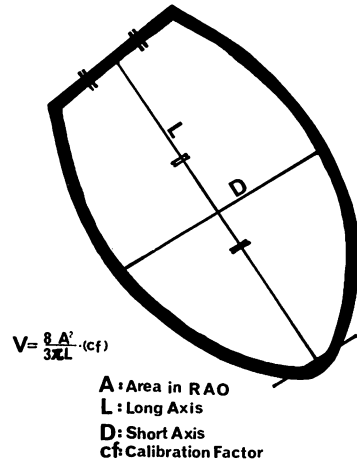


Figure 1. Angiographic calculation of left ventricular volume (V).

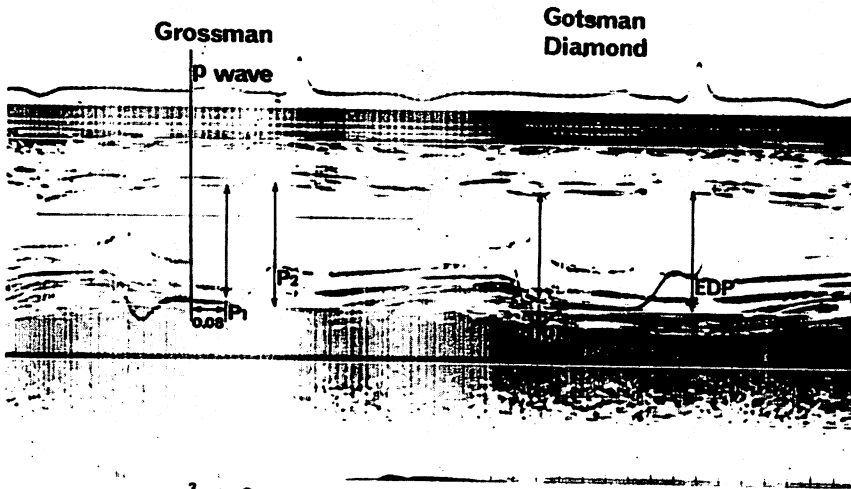
左室拡張期弾性特性の指標および計算:

Gaasch ら^{11,18)} による方法: ($k, dV/dP$). 拡張期圧容積関係が $P = be^{kV}$ ($P \geq 3$ mmHg) (b, k は定数). Gaasch らでは $b = 0.43$ より, $k = \frac{\ln P - \ln b}{V}$, $dV/dP = e^{-kV}/kb = \frac{1}{kP}$ より, $k, dV/dP$ を求めた.

Grossman ら¹³⁾ による方法: ($\Delta P/\Delta V, (\Delta P/\Delta V) \cdot \frac{1}{\bar{P}}$). 心電図 P 波の立ち上がりから 80 msec 後の点 (P_1) と A 波の頂点 (P_2) との圧差 (ΔP), および容量差 (ΔV) より求めた ($\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$).

Diamond ら^{6,14)} による方法: ($\Delta P/\Delta V, (\Delta P/\Delta V) \cdot \frac{1}{\bar{P}}$). 拡張早期の左室圧の 0 点と拡張終期の間の圧差 $\Delta P = EDP - P_0$, この間の左室拡張期容積変化量 $\Delta V, \bar{P}$ は Diamond らは $\bar{P} = \frac{EDP - P_0}{2}$ としているが, 我々は $\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_0^{EDP} P_i$ とした.

Gotsman ら¹⁵⁾ による方法; ($m, \Delta V/\Delta P_1$). $\Delta P = EDP - P_0$, $\Delta V =$ 拡張期容積変化量, $P = be^{mV}$ より $m = \frac{\ln EDP - \ln P_0}{\Delta V}$ とし算出した.



Popp $\frac{\pi}{3}D^3 = \frac{\pi}{6}D^2L = V (L=2D)$ **Gibson** $L_s = 4.18 + 1.14D_s$
 $L_d = 5.90 + 0.98D_d$
 $L = \frac{L_d - L_s}{D_d - D_s} (D - D_s), V = \frac{\pi}{6}D^2L$

Gaasch $k = \frac{\ln P - \ln 0.43}{V} / BSA, dV/dP = 1/kP$

Grossman $\Delta P / \Delta V = \frac{P_2 - P_1}{V_2 - V_1}, \bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$

Gotsman $m = \frac{\ln EDP - \ln O}{SV}$

Diamond $\Delta P / \Delta V = \frac{P_{end} - P_o}{SV}, \bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_n$

Figure 2. Echocardiographic determination of left ventricular dimension.

シネアンジオによる計算は上記各式より求めた。

結果

Figure 3 は各症例の圧容積関係を示したものである。横軸に左室拡張期圧を、縦軸に容積を示している。太い実線がシネアンジオを、細い実線が Popp 法、点線が Gibson 法より求めた容積変化である。大体において、シネアンジオより求めた圧容積関係と UCG 法より求めた圧容積関係は、経時変化としては並行関係が認められた。絶対量としてはシネアンジオが大きめにしている。また Case 1, 2, 5 では拡張期を通じて、大体、圧容積関係が直線的に動く傾向が認められた。

Figure 4 は Gibson 法より求めた左室容積と、

シネアンジオより求めた容積との経時的な対比であるが、経時的に 1:1 に対応する (直線的に動く) 傾向にあった。しかし絶対値はシネアンジオの方が大きく、UCG 法 (Gibson) はシネアンジオ法よりやや容積を underestimate した。

Figure 5 は同様の関係を Popp 法より求めた関係であるが、同様にかなり良い経時的対応があったが、Gibson 法よりやや劣る。シネアンジオとの対応で心容積はシネアンジオ法より underestimate し、この度合は Gibson 法よりやや大きかった。

Figure 6 はシネアンジオ法より求めた長軸 (L) と短軸 (D) の経時変化の度合 (D/U ratio) をみたものであるが、拡張期を通じて D/L ratio は

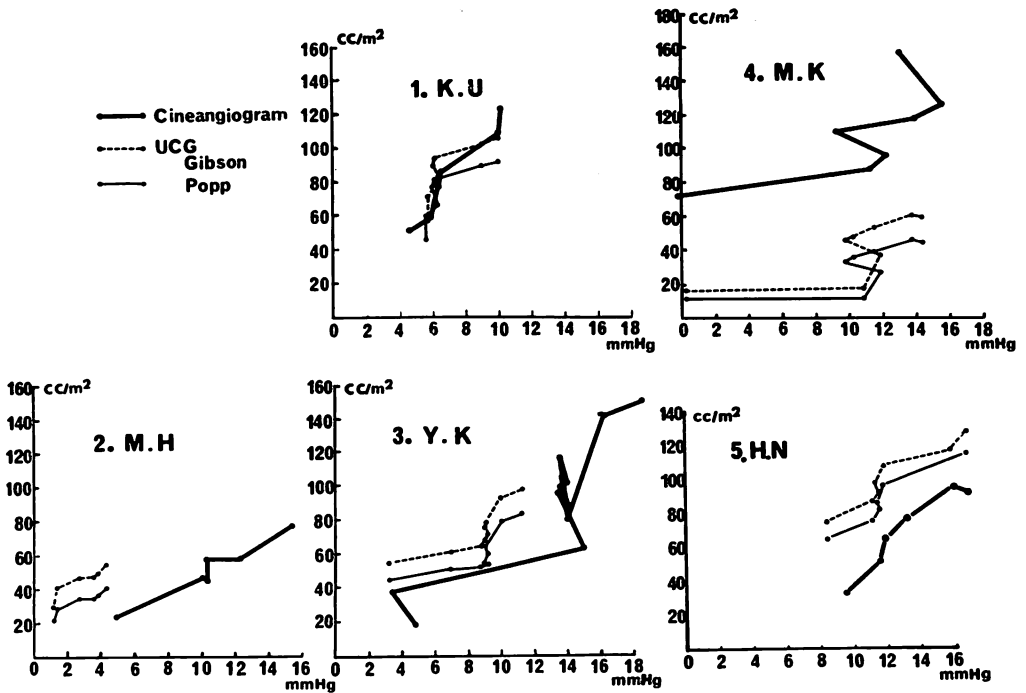


Figure 3. Pressure-volume relationships obtained by cineangiography and echocardiography.

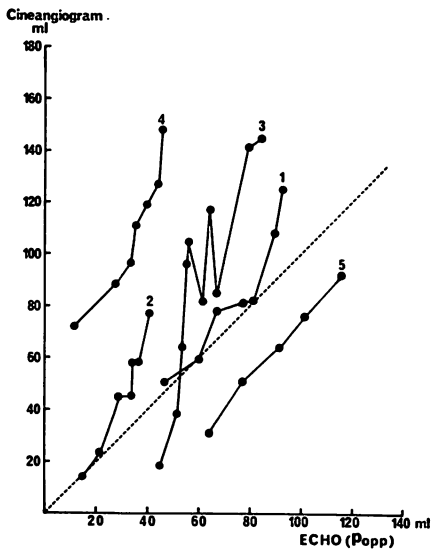


Figure 4. Relationship of volume changes in diastole obtained by cineangiography and echocardiography (by the method of Popp).

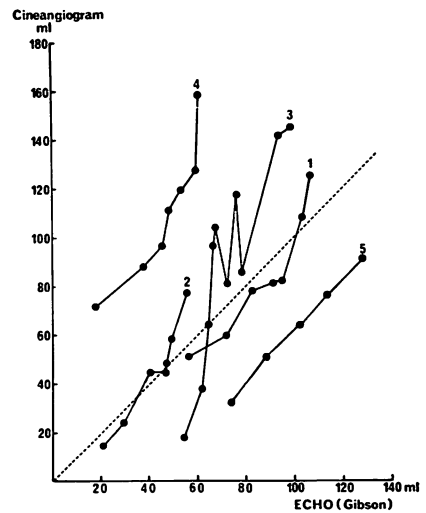


Figure 5. Relationship of volume changes in diastole obtained by cineangiography and echocardiography (by the method of Gibson).

一定の傾向にあり, その値は 0.6~0.7 であった. Gibson 法が短軸 (D) より長軸 (L) を推定する妥当性を示している.

Figure 7 は左室拡張期各点における Gaasch より求めた k を UCG 法とシネアンジオ法とで図示したものであるが, 横軸は左室拡張終期圧を 0 点としてこれより拡張早期へ 0.0625 sec ごとの k の値をプロットしたものである. 拡張早期に近づくほど k の値は全例大きくなっている. しか

しながら UCG 法, シネアンジオ法を各症例ごとに比較すると, Case 4 は UCG 法で大でシネアンジオ法で小, Case 5 は逆の関係にあり, UCG 法とシネアンジオ法とはかなりの相違があった.

Figure 8 は Gaasch による dV/dP を UCG, シネアンジオ法より求めたものであるが, UCG シネアンジオ法とも拡張終期より早期に至るまでほぼ一定の値を示した. しかし UCG, シネアンジオ法とも比較的近い値を示したものの, Case 4, 5 は同様に, UCG, シネアンジオ法はかなりの開きが見られた.

Table 2 は各症例を Gaasch, Gotsman, Grossman, Diamond 等による各指標と UCG 法 (Gibson 法と Popp 法より計算した心容積から求めた各指標) とシネアンジオより求めた計算値を示したものである. Gaasch 法による指標 ($k, dV/dP$) は UCG 法とシネアンジオ法では Case 4 を除き比較的近似する値を示した.

Gotsman による $m, \Delta V/\Delta P$ では同じような傾向があり, Grossman ($\Delta P/\Delta V, \Delta P/\Delta V \cdot 1/\bar{P}$), Diamond ($\Delta P/\Delta V, \Delta P/\Delta V \cdot 1/\bar{P}$) でも半数近くは

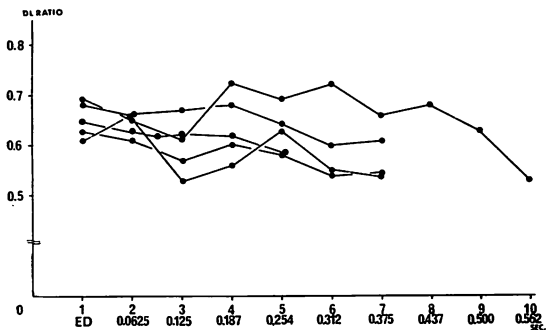


Figure 6. D/L ratio in diastole by cineangiographic left ventriculogram (RAO).

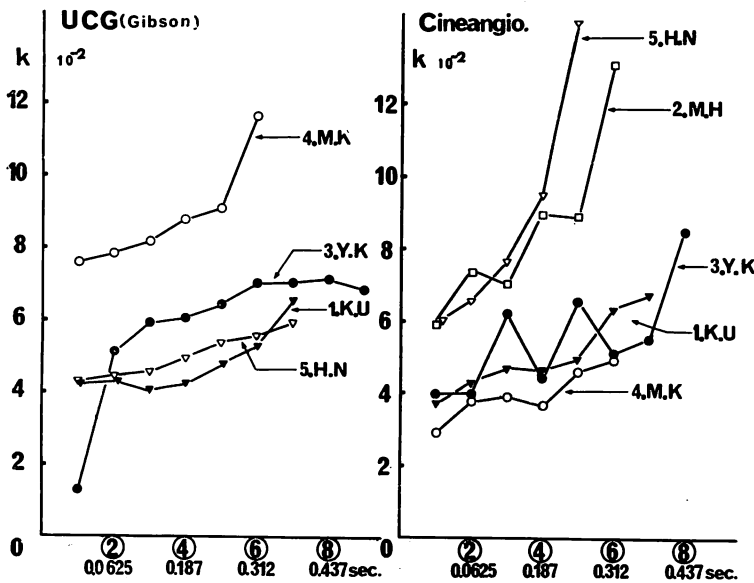


Figure 7. Changes in k (InP-Inb/V) from end-diastole to early diastole.

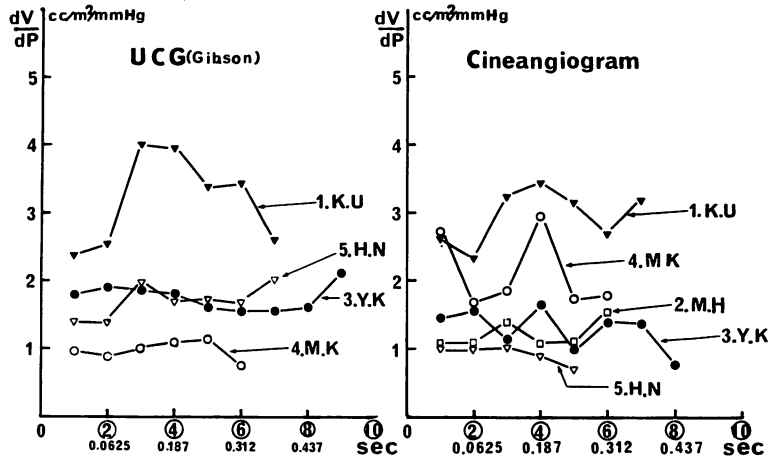


Figure 8. Change in dV/dP from end-diastole to early diastole.

Table 2. Catheterization and echocardiographic data on 5 patients (diastole)

Name	Age Sex	BSA (m ²)	Diagnosis		Gaasch		Gotsman		Grossman		Diamond	
					K	(dV/dP) (cc/m ² /Hg)	m	$\Delta V/\Delta P$	$\Delta P/\Delta V$	$\Delta P/\Delta V$ (1/5)	$\Delta P/\Delta V$	$\Delta P/\Delta V$ (1/5)
K U 1	64 M	146	M. Infarction	Gibson	0.0431	2.322	0.0118	12.82	4.55	0.073	0.078	0.0112
				Popp	0.0497	2.012	0.0129	11.63	4.55	0.070	0.086	0.0124
				Angio	0.0369	2.654	0.0111	14.29	0.2	0.08	0.070	0.0099
MH 2	36 F	129	NCA	Gibson	—	—	0.0524	9.62	12.5	0.031	0.104	0.367
				Popp	—	—	0.0688	7.35	12.5	0.04	0.136	0.048
				Angio	0.0595	1.373	—	—	0.38	0.14	—	—
YK 3	29 M	153	Angina	Gibson	0.0130	1.748	0.0364	5.92	1.81	0.36	0.169	0.0197
				Popp	0.0593	1.492	0.0404	5.26	1.81	0.4	0.190	0.0221
				Angio	0.0396	1.373	0.0135	8.48	0.178	0.11	0.119	0.0094
MK 4	43 F	133	SSS	Gibson	0.076	0.964	0.0590	3.23	—	—	0.310	0.0301
				Popp	0.101	0.723	0.0748	2.54	—	—	0.393	0.0382
				Angio	0.0286	2.691	0.020	9.80	—	—	0.102	—
HN 5	38 F	148	NCA	Gibson	0.0424	1.404	0.0081	3.77	6.25	0.0897	0.265	0.0214
				Popp	0.0468	1.272	0.0085	3.66	6.25	0.0926	0.273	0.0220
				Angio	0.0592	1.005	0.0082	9.62	0.238	0.016	0.104	0.0085

近似する値を示した。また, 同じ心拡張期指標である Gaasch の k , Gotsman の $\Delta V/\Delta P$ では約半数に良い対応があり, Grossman の $\Delta P/\Delta V$, Diamond の $\Delta P/\Delta V$ では約半数に良い対応があった。

考案

緒言でも述べたが, 拡張期弾性指標は研究者により種々提唱されているが, 拡張期弾性指標として最近しばしば compliance という言葉が用いられている。しかしこの compliance という言葉は, 人によって少し使い方が異なり, Gaasch¹⁾, Levine ら¹⁹⁾は $(dV/V, dP)$ をもって, Diamond¹⁴⁾, Covell,²⁰⁾ Bristow ら²¹⁾は $(dV/dP$ または $\Delta V/\Delta P)$ をもって, compliance と定義している。

我々が今回 $(dV/V, dP$ または $\Delta V/\Delta P, \Delta P)$ を求めなかったのは, 計算してみると $\Delta V/V, dP$ は圧のみの変数になり, 容積が消え意味をなさないように思われたためである上記の理由から, compliance というのは $(dV/dP, \Delta V/\Delta P)$ の方が一般的に思われるが, このような用語の混乱をさけ, $(dV/dP$ または $\Delta V/\Delta P)$ を myocardial distensibility, $(dP/dP$ または $\Delta P/\Delta V)$ を myocardial stiffness なる用語を用いた方が混乱をさける意味では良いと思われ, 我々は distensibility index, stiffness index なる語を用いた。

次に圧容積関係を論じる場合, 圧および容積を正確に測定しなければ数式のもてあそびになり, むしろ無用の混乱を来す。それ故に第1の容積測定の問題点であるが, UCG が左室造影所見と良い相関を示すと諸家も報告しているが, しかし測定方法上非常に大きな誤差が入りやすいと思われる。UCG における左室容積測定の方法論上, 検者の技術および測定機械の性能の問題点を除いて大きく分けて2つの問題点がある。第1にトランスジューサーを胸壁上に置く位置の問題, 第2にビームの方向の問題である。Popp ら²²⁾が最近発表しているように, 同一の肋間についての再現性は平均 0.5 mm の誤差であるが, 1肋間上下す

ることによって平均 4.3 mm の誤差が短径(D)に生ずるとしている。さらに拡張終期と収縮期の間では同一の肋間においても平均 1.5 mm, 1肋間上下することによって平均 4.6 mm の誤差を生じるとしている。これは同一症例についての誤差であり, 実際にはあらゆる方向への軸の変位とさまざまな心容量を持つ個々の症例間にはもっと大きな誤差を生ずると考えられる。

また, 一方, Linhart ら²³⁾は幾何学的モデルを使用して短軸測定上の誤差を検討しているが, それによると, ビームと左室短軸の間に10度あるいは1 cm の誤差により5~10%の短軸の測定誤差を生ずるとしている。従って心容量を求める場合, 仮に実際の短軸が4 cm とすれば単純に3乗しても容量の誤差は15~35% となり, 無視できないことが理解されよう。以上のように, 心容量の実測を個々の症例について求めるべく然るべき規準について早急に検討されなければならない問題である。今回の我々の症例ではアンギオによる容量に比し, UCG 法による容量の方が比較的低値をとる傾向にあったが, これは短軸面の中心線上をはずれたためによる過少評価が原因の1つであろうと推察しているが, この点については今後検討してゆきたいと思っている。

次に, 心容積の測定は一応現在では左室造影法が正確とされているが, 特にシネアンジオを使用する場合には, レンズ系を通すために球面収差, 即ち周辺にいくほどひずみが大になる点に注意しなければならない。それ故, 補正係数の測定が非常に複雑で困難になって来る。同一症例の拡張期でありながら心容量の大きさで, すなわち時々刻々と補正係数を変えなければならない。そのため我々は, 10 cm³ ほどのファントムを背部より10 cm から20 cm まで1 cm ごとにおき, 心容量にあった補正係数を使用した。心臓は長軸および短軸方向にもある角度をもっている。この方向の補正を行わなければなお正確とはいえず, 今後検討を要すると思われる。

次の問題として圧であるが, fluid-filled catheter

は大なり小なり damping (大部分が under-damping) および固有振動数をもっているため拡張早期および終期の圧を正確に測定するには適していない。それ故、カテ先マノメーターで圧を正確に測定する必要があり、特に Diamond, Gotsman 法はカテ先マノメーターを使用しないと信頼性に乏しくなる。我々は出来るだけ damping の少ない例を用いたが、上記方法には我々の症例も問題があり、Case 5 のみはカテ先マノメーターを用いているためこの点は十分耐えうる。

次に拡張期弾性指標であるが、心拡張期が左室容積という単純なパラメーターのみで決定されるのではなく、心室形態、慣性、粘性、心筋の厚さ、心外膜等が関与して非常に複雑である。特に拡張早期には能動的な拡張作用^{24) 25)}があるという考えがあり、それ故にこのような能動拡張が関与しないとされる点、すなわち拡張終期の1点 (Gaasch)、および2点 (Grossman) で、各指標を論ずるのが妥当であるが、Gaasch の方法には大きな仮定があり、 $b=0.43$ という定数が人間の心臓に普遍的にあてはまるか否か疑問で、むしろ Grossman による2点を用い b という定数を用いない方が妥当性があるように思われる。我々は今回あえて Gaasch の k , dV/dP を拡張期を通じて求めたのは、 $P=be^{kV}$ が動物の摘出心のようになりたてば、拡張早期の動態をみるのにも有用と考えてプロットしたが、 k は end-diastole から early diastole に行くにつれて大になり、我々が理論的に考えた結果とは逆になり、また一定値をとらなく、拡張期全体を通じては、 $P=be^{kV}$ は成立しにくいように考えられた。 dV/dP は拡張期を通じてほぼ一定の値をとり、compliance は拡張期を通じて変わらないような結果になったが、前に述べたように拡張早期には能動的な拡張作用があると思われるのに、圧、容積関係をもってくるのに問題があろう。

なお Gaasch ら¹⁾は $(dV/dP)_{60}$ をもって distensibility index としているが、これは心拡大のある場合では、 $V=60$ が mid-diastole か early-

diastole かどの点をとるか不明で、我々のデータからは支持しがたいと思われる。

前述のように Gotsman, Diamond らの方法においても圧測定以外にも多くの問題点があると思われる。このような観点からすれば、当然各研究者の指標が同じような内容でも多少の相違はまぬがれない。拡張期圧容積関係が心筋の弾性のみで決定されるのではなく心筋の大きさ、心室の geometry らによって影響をうけるので、このような因子がかわれば圧容積関係から直接心筋固有の弾性特性を知ることは困難となる。それ故にこれらの影響を分離して物理的な stress-strain²⁶⁾ 関係で評価する方が良いと思われる。今後は圧容積関係のみでなく、左室の stress-strain 関係からも考察する必要がある。

文 献

- 1) Gaasch WH, Battle WE, Oboler AA, Banas JS, Levine HJ: Left ventricular stress and compliance in man. *Circulation* 45: 746, 1972
- 2) Mirsky I, Parmley WW: Assessment of passive elastic stiffness for isolated heart muscle and the intact heart. *Circulat Res* 33: 233, 1973
- 3) Spotnitz HM, Sonnenblick EH, Spiro D: Relation of ultrastructure to function in the intact heart: Sarcomere structure relative to pressure-volume curves of intact left ventricles of dog and cat. *Circulat Res* 18: 49, 1966
- 4) Noble MIM, Milne ENC, Goerke RJ, Carlsson E, Domenech RJ, Saunders KB, Hoffman IE: Left ventricular filling and diastolic pressure-volume relations in the conscious dog. *Circulat Res* 24: 269, 1969
- 5) Sonnenblick EH, Ross, Covell JW, Braunwald E: Alterations in resting length-tension relations of cardiac muscle induced by changes in contractile force. *Circulation* 19: 980, 1966
- 6) Diamond G, Forrester JS, Hargis J, Parmley WW, Danzig R, Swan HJC: Diastolic pressure-volume relationship in the canine left ventricle. *Circulation* 29: 267, 1971
- 7) Popp RL, Wolfe SB, Hirata T, Feigenbaum H: Estimation of right and left ventricular size by ultrasound. *Amer J Cardiol* 24: 523, 1969
- 8) Pombo JF, Troy BL, Russell RO Jr: Left ventricular volumes and ejection fraction by echo-

延吉, 伊藤, 藤田, 野坂, 高山, 加来

- cardiography. *Circulation* **43**: 480, 1971
- 9) Fortuin NJ, Hood WP, Sherman ME, Craige E: Determination of left ventricular volumes by ultrasound. *Circulation* **44**: 575, 1971
 - 10) Feigenbaum H, Popp RL, Wolfe SB, Troy BL, Pombo JF, Haine CL, Dodge HT: Ultrasound measurements of the left ventricle: A correlative study with angiography. *Arch Intern Med* **129**: 461, 1972
 - 11) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128, 1973
 - 12) Grossman W, McLaurin LP, Moos SP, Stefadouros M, Young DT: Wall thickness and diastolic properties of the left ventricle. *Circulation* **49**: 129, 1974
 - 13) Grossman W, Stefadouros MA, McLaurin LP, Rolett EL, Young DT: Quantitative assessment of left ventricular diastolic stiffness in man. *Circulation* **47**: 567, 1973
 - 14) Diamond G, Forrester JS: Effect of coronary artery disease and acute myocardial infarction on left ventricular compliance in man. *Circulation* **45**: 11, 1972
 - 15) Gotsman MS, Lewis BS: Left ventricular volumes and compliance in hypertrophic cardiomyopathy. *Chest* **66**: 498, 1974
 - 16) Greene DG, Carlisle R, Grant C, Bunnell IL: Estimation of left ventricular volume by one-plane cineangiography. *Circulation* **35**: 61, 1967
 - 17) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord JD: The use of biplane angiocardiology for the measurement of left ventricular volume in man. *Amer Heart J* **60**: 762, 1960
 - 18) Quinones MA, Gaasch WH, Weisser E, Alexander JK: Reduction in the rate of diastolic descent of the mitral valve echogram in patients with altered left ventricular diastolic pressure-volume relation. *Circulation* **49**: 246, 1974
 - 19) Levine HJ: Compliance of the left ventricle. *Circulation* **46**: 423, 1972
 - 20) Covell JW, Ross J: Nature and significance of alterations in myocardial compliance. *Amer J Cardiol* **32**: 449, 1973
 - 21) Bristow JD, Zee BEV, Judkins MP: Systolic and diastolic abnormalities of the left ventricle in coronary artery disease. *Circulation* **42**: 219, 1970
 - 22) Popp RL, Filly K, Brown OR, Harrison DC: Effect of transducer placement on echocardiographic measurement of left ventricular dimensions. *Amer J Cardiol* **35**: 537, 1975
 - 23) 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
 - 24) Brecher GA: Critical review of recent work on ventricular diastolic suction. *Circulat Res* **6**: 554, 1958
 - 25) Horwitz LD, Bishop VS: Left ventricular pressure-dimension relationships in the conscious dog. *Cardiovas Res* **6**: 163, 1972
 - 26) Mirsky I, Cohn PF, Levine JA, Gorlin R, Herman MV, Kreulen TH, Sonnenblick EH: Assessment of left ventricular stiffness in primary myocardial disease and coronary artery disease. *Circulation* **50**: 128, 1974