

心エコー図法による心嚢液量推定の試み

Echocardiographic application for the quantitation of the volume of pericardial effusion

吉村 隆喜	Takayoshi YOSHIMURA
田中忠治郎	Chujiro TANAKA
竹内 一秀	Kazuhide TAKEUCHI
生野 善康	Yoshiyasu IKUNO
奥 久雄	Hisao OKU
木積 一憲	Kazunori KOTSUMI
南川 博司	Hiroshi MINAMIKAWA
井上 英二	Eiji INOUE
小松 裕司	Hiroshi KOMATSU
山田 正*	Tadashi YAMADA*
古川宏太郎**	Kohtarō FURUKAWA**
西本 正紀**	Masaki NISHIMOTO**
川合 清毅***	Seiki KAWAI***
坂口 和成***	Kazushige SAKAGUCHI***

Summary

In 25 cases of chronic cardiac tamponade, indwelling catheter drainage using Seldinger's technique was performed, and preoperative M-mode echocardiograms (UCG) were examined.

The volume of pericardial effusion was between 550 and 1,800 ml, and was compared with each preoperative UCG findings. The results were summarized as follows:

1) The equation of Horowitz et al., which has been used conventionally, showed a rough correlation ($r=0.62$), though the volume of pericardial effusion was underestimated in all cases.

2) Maximal, minimal and mean values of echo free space (EFS) in both anterior and posterior aspects, and each corrected value (distance of EFS \times body surface area), were evaluated in relation

大阪市立大学医学部 第一内科

*同 第二外科

大阪市阿倍野区旭町 1-5-7 (〒545)

**和泉市立病院 内科

和泉市府中町 780 (〒594)

***大阪府立羽曳野病院 内科

羽曳野市はびきの 3-7-1 (〒583)

The First Department of Internal Medicine, *The Second Department of Surgery, Osaka City University Medical School, Asahimachi 1-5-7, Abeno-ku, Osaka 545

**Internal Medicine, Izumi Municipal Hospital, Fuchu-cho 780, Izumi 594

***Internal Medicine, Osaka Prefectural Habikino Hospital, Habikino 3-7-1, Habikino 583

Presented at the 22nd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, March 25-26, 1981
Received for publication May 6, 1981

to the volume of pericardial effusion. Concerning anterior EFS, the following equations were formed.

$$\text{Maximal anterior EFS (A max): } y=474x-5 \quad (r=.80)$$

$$\text{Minimal anterior EFS (A min): } y=444x-512 \quad (r=0.81)$$

$$\text{Mean anterior EFS (A m): } y=511x+167 \quad (r=1.86)$$

$$\text{Corrected maximal anterior EFS (corrected A max): } y=309x+23 \quad (r=0.85)$$

$$\text{Corrected minimal anterior EFS (corrected A min): } y=307x+504 \quad (r=0.86)$$

$$\text{Corrected mean anterior EFS (corrected A m): } y=343x+168 \quad (r=0.91)$$

In 2 cases, pericardial effusion was drained stepwisely by 100 ml, and UCG was recorded in each condition. It was proved that corrected A m was proportionally decreased with the residual volume of pericardial effusion. On the other hand, there was no correlation between posterior EFS and the volume of pericardial effusion.

3) Q-Bc interval, which is an index showing the time lag behind QRS on ECG of the maximal backward point of the left ventricular posterior wall on UCG, closely correlated with the volume of pericardial effusion as presented by the following equation.

$$y=97x-116 \quad (r=0.81)$$

From the above, it may be concluded that in cases with pericardial effusion the volume should be estimated from anterior EFS (especially corrected A m) and Q-Bc interval.

Key words

Echocardiography
catheter drainage

Pericardial effusion

Anterior echo free space

Indwelling intrapericardial

はじめに

心エコー図法による心嚢液貯留の診断は、方法の安全性、簡便性ならびに診断精度の鋭敏性および確実性により、今日最も優れた診断法といえる。さらに本法を用いた心嚢液量の推定法も報告されているが、数々の問題点も指摘されており、現在確立されたものはない。

そこで今回、Seldinger 法を応用した心嚢ドレナージ法で排液、貯留心嚢液量を評価できた心タンポナーデ症例において、その液量と術前心エコー図所見の対比により、現在用いられている推定法の問題点と心嚢液貯留時の新たな推定法を検討した。

対象ならびに方法

対象は1976年4月～1981年3月までに心嚢ドレナージ法を用いて心嚢液の排除を行った心タンポナーデ23例、延べ25回である。原疾患は悪性心嚢炎21例(肺癌15例, 悪性リンパ腺腫3例,

乳癌2例, 睥癌1例), 結核性心嚢炎1例, 心膜血管腫1例である。年齢は16～78歳, 平均52歳で, 男性15例, 女性8例である。

心嚢ドレナージ法は Seldinger 法¹⁾を応用したものである。使用器具は19ゲージエラスト針, 先端に5～8個の側口をあげた長さ40～50cmのCook製6.5フレンチポリエチレンチューブと, 直径0.9mm, 長さ145cmのステンレススチール製スプリングガイドワイヤーである。まず心エコー図法にて echo free space (以下 EFS と略)を確認後, 胸骨左縁肋間または剣状突起下を1%塩酸プロカイン 10～20ml で局所浸潤麻酔を行った後, 注射器をつけたエラスト針で注射器の内筒を引きながら, 徐々に心嚢方向へ穿刺を行う。心嚢腔へ達し心嚢液の吸引を確認できれば(Fig. 1a), エラスト針の内筒を抜き, エラスト針よりガイドワイヤーを挿入し(Fig. 1b)外筒を抜きする。次にガイドワイヤーに沿わせてカテーテルを挿入し, 心嚢腔へ十分カテーテルが入れば(Fig. 1c)ガイドワイヤーを抜き, 心嚢腔にカテーテルを

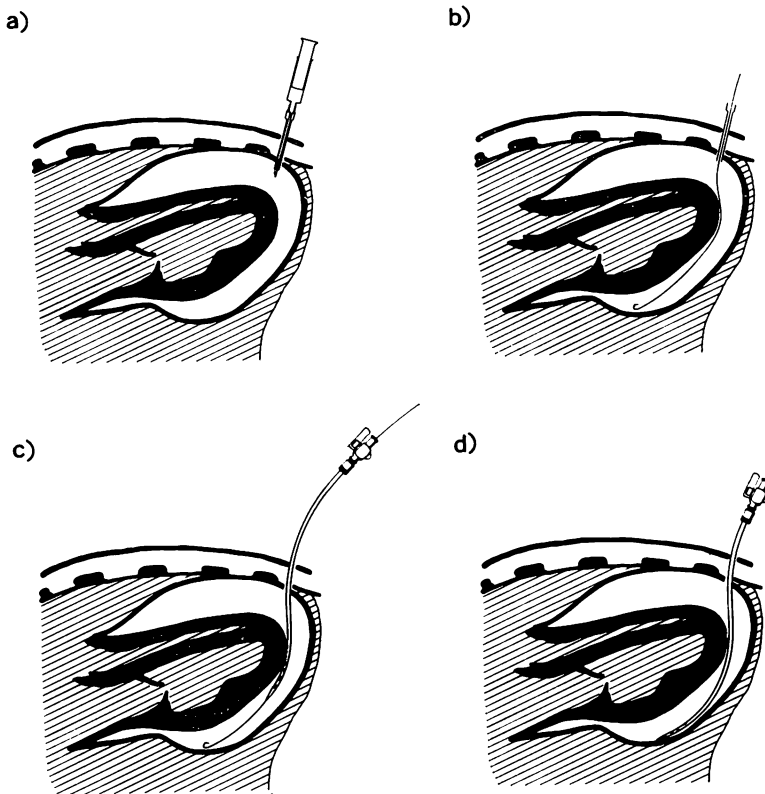


Fig. 1. Technique of indwelling intrapericardial catheter drainage method used in this study.

a) Aspiration of pericardial effusion through the elasta needle. b) Inersion of a guide wire. c) Insertion of a drainage catheter. d) After removing the guide wire, the catheter is indwelled into the pericardial space.

留置する (Fig. 1d). カテーテルの他端はコネクティングチューブを介して、患者の心臓面より低くした 0.3% hibitane digluconate 溶液に挿入し、サイフォン効果を利用して持続吸引する (Fig. 2). なお術中に常に心電図監視装置により、患者の心電図をモニタリングしながら各操作を実施した。

心エコー図装置は東芝製 SSL-51U 型に 2.0 MHz の平面探触子、または東芝製 SSH-11A 型に 2.4 MHz のセクター式電子走査 multielement transducer を使用した。M モード心エコー図(以下 UCG と略)は毎秒 25 か 50 mm の紙送り

速度で、strip chart recorder で記録した。

心エコー図検査は原則として被検者を仰臥位とし、胸骨左縁第3ないし第4肋間よりエコービームを投入した。UCG は通常の心室中隔・左室後壁レベルで注意深く damping 操作を行い、記録した。

心嚢液量を対比するために用いた UCG は、術前 24 時間以内に記録したものとした。貯留心嚢液量は心嚢ドレナージ法で 24 時間以内にできるだけ排液し、排液終了時点で UCG 上全く EFS が認められないか、後方 EFS が収縮期のみにごくわずかししか認められず、残存液量が微量と考え

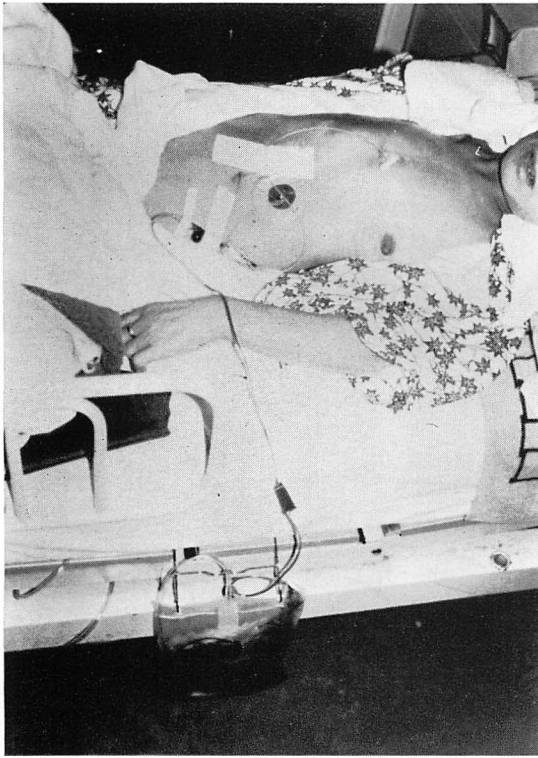


Fig. 2. Photograph of indwelling intrapericardial catheter drainage.

Pericardial effusion is drained continuously by syphonage.

られる²⁾症例の総排液量とした。

測定した心嚢液量と対比した UCG 所見は次の 14 項目である。

- 1) Horowitz ら²⁾の球体仮定式による計算値。
- 2) Fig. 3 のように UCG 上 EFS を前方および後方に分け、心周期に関係なく最大となるところを最大 EFS (maximal anterior EFS; 以下 A max と略. maximal posterior EFS, 以下 P max と略), 最小となるところを最小 EFS (minimal anterior EFS; 以下 A min, minimal posterior EFS; 以下 P min と略) とし、それぞれ 5 心拍の加算平均を行い決定した。また最大と最小 EFS の平均値をとり、平均 EFS (mean anterior EFS; 以下 Am, mean posterior EFS;

以下 Pm と略) とした。さらにそれぞれの値に体表面積を乗じて補正し corrected EFS とした値。

3) Fig. 4 のように、UCG 上の上室後壁最大後方変位点 (B 点と称す) と心電図 QRS の開始点からの間隔 (Q-B interval ((msec)) と称す) を、Bazett らの方法³⁾に従って心電図 R-R 時間 (m sec) の平方根で除した値を corrected Q-B interval (以下 Q-Bc interval と称す) とした。Q-Bc interval の評価では electrical alternans の症例は B 点の設定に問題があり除外した。

結 果

心嚢ドレナージ法により排液を行った結果、貯留心嚢液量は 550~1,800 ml (1,060±407 ml) であった。550~1,000 ml の症例が 13 例, 1,001~1,500 ml の症例が 7 例, 1,501 ml 以上の症例が 5 例であった。

今回 Horowitz らの方法により計算した UCG 上の心嚢液量と実測心嚢液量を対比すると、 $r=0.62$ と比較的粗な相関しか得られず、全例過小評価されていた (Fig. 5)。また液量が増加するに従い、実測値との開離が大となる症例が多くなる傾向がみられた。

前方 EFS と実測心嚢液量の対比では、A max で $y=474x-5$ ($r=0.80$), A min で $y=444x+512$ ($r=0.81$), Am で $y=511x+167$ ($r=0.86$) と良い相関を認めた (Fig. 6)。また体表面積を乗じた補正值では、corrected A max で $y=309x+23$ ($r=0.85$), corrected A min で $y=307x+504$ ($r=0.86$), corrected Am で $y=343+168$ ($r=0.91$) とさらに密な相関が得られることがわかった (Fig. 7)。2 症例において 100 ml ずつ排液を行い、その都度 UCG 記録を行った (Fig. 8)。その結果、corrected Am が残存液量にほぼ比例し、かつその回帰直線に沿って減少してゆくのが認められた (Fig. 9)。

一方、後方 EFS と実測心嚢液量との対比では、いずれも有意な相関はみられなかった (Fig. 10, 11)。しかし 1,050 ml 以上の症例では P max

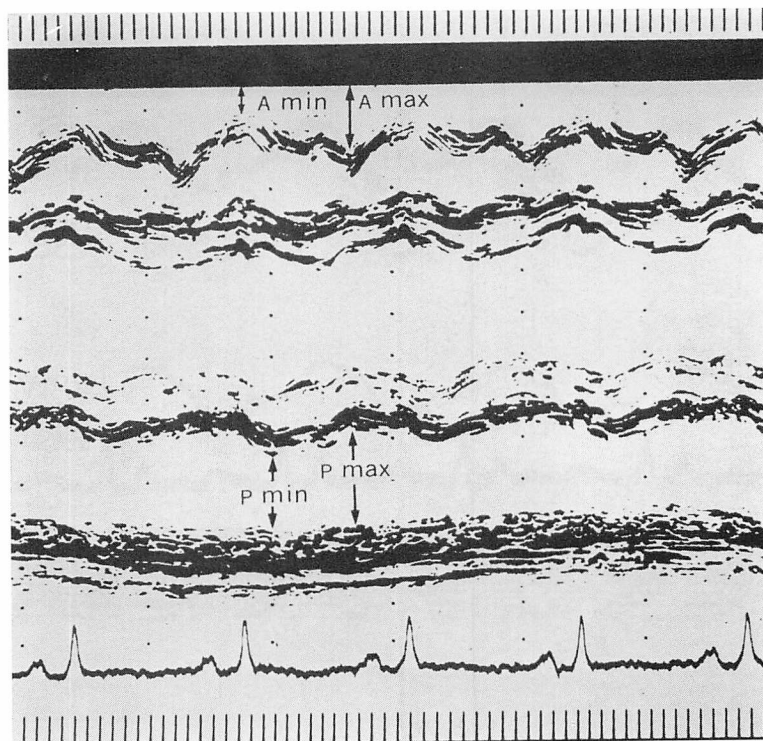


Fig. 3. Evaluation of echo free space.

A max= maximal anterior echo free space; A min= minimal anterior echo free space; P max= maximal posterior echo free space; P min= minimal posterior echo free space.

が 0.8~1.6 cm の範囲の中に 12 例中 10 例(83%) がみられるのに対して, 1,050 ml 未満の症例では 13 例中 5 例(38%) しかみられず, 1.7 cm 以上では前群で 12 例中 2 例(17%), 後群では 13 例中 8 例(62%) の分布がみられた。また P min についても, 0~0.8 cm に前群が 12 例中 10 例(83%), 後群が 13 例中 5 例(38%), 0.8 cm 以上に前群が 2 例(17%) しかみられないのに対して, 後群では 8 例(62%) にみられた。つまり P max, P min では 1,050 ml 未満の症例のほうが大きな値をとる傾向にある。さらに 1,500 ml を超えると P max で 1.0~1.6 cm, P min で 0~0.8 cm と 1,500 ml 以下の症例に比べて明らかに小さく狭い範囲に分布することがわかった。

Q-Bc interval は液量を測定できた 25 例中 21 例で評価が可能であった。実測心嚢液量との対比

では, $y=97x+116$ ($r=0.81$) と良い正の相関が認められた (Fig. 12)。

考 察

心エコー図より貯留心嚢液量の推定を行う試みは, 近年数種のものがみられる。例えば Horowitz ら²⁾ は後方 EFS のパターンと少量心嚢液量との関係を報告するとともに, 球体仮定式による液量推定法を提唱した。すなわち心嚢および心臓を球体と仮定し, $4/3 \cdot \pi [(Dp/2)^3 - (Dc/2)^3]$ (Dp ; 心嚢径, Dc ; 心臓径) により液量を計算し, 実測心嚢液量との間に良い相関が認められることを報告した。また, Feigenbaum⁴⁾ は貯留心嚢液量のおおよその目安として, 1) 後方 EFS が 1 cm 以上離れると 500~1,000 ml, 2) 前方 EFS が 3 cm 以上離れると 1,000 ml 以上であると述べ

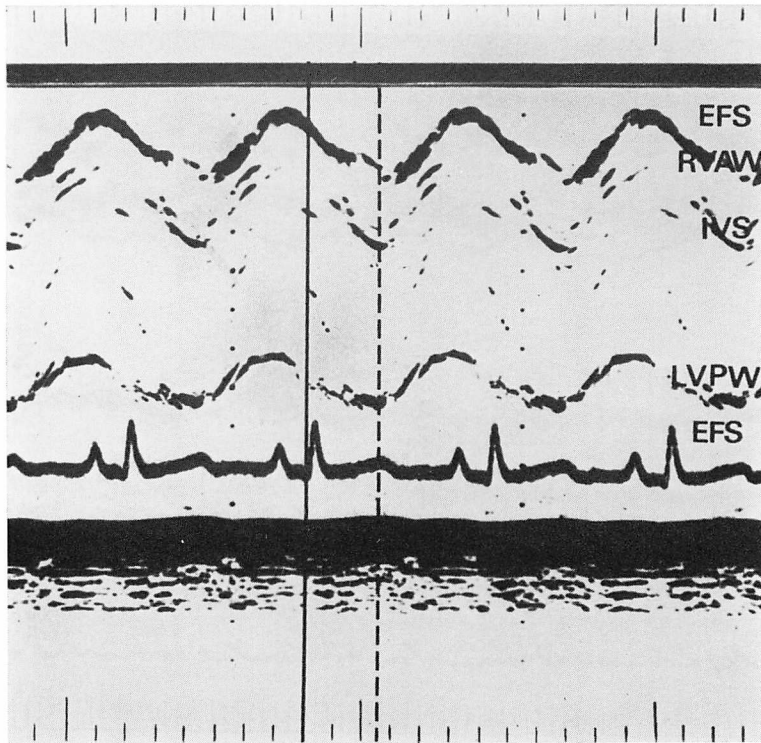


Fig. 4. Measurement of Q-Bc interval.

The solid line shows the initial point of QRS, and the dotted line shows the maximal backward point of the left ventricular posterior wall (B-point). Q-Bc interval is shown as time interval from the solid line to dotted line.

EFS=echo free space; RVAW=right ventricular anterior wall; IVS=interventricular septum; LVPW=left ventricular posterior wall.

ている。

今回の検討では、心嚢液量を測定した25例の液量はすべて550 ml以上であったが、Horowitzらの方法により算出した心嚢液量と実測値との間には $r=0.62$ と比較的粗な相関しか得られず、Horowitzら²⁾や他の報告^{5,6)}ほど良い結果がみられなかった。Martinら⁷⁾はセクター式エコー断層装置を用いて心嚢液の分布を観察した結果、少量の心嚢液では左室後壁背方の基底部分に分布し、中等量ではほぼ心嚢内に均等に分布するが、心嚢液が多量になると左室後壁背方のEFSと比較して他の部分に多く分布する不均等分布の出現を観察している。また端的な例ではあるが、

Fig. 13の心エコー断層図にみられるように、胸壁よりのビーム方向がわずかにズレても、前方EFSの大きさには余り変化はみられないが、後方EFSではその値が大きく変わる可能性もある。事実、今回の検討でも心嚢液量が550~1,000 mlの症例における後方EFSは、P maxで0.8~2.8 cm、P minで0~1.5 cmまで広く分布しており、体表面積補正を行っても一定の傾向がみられなかった。従って同等量の心嚢液の存在下で前方EFSがほぼ同等であっても、後方EFSの大きさに差異が出現するため、Horowitzらの式による心嚢液量の評価が一定しないのであろう。またFeigenbaumらの500~1,000 ml

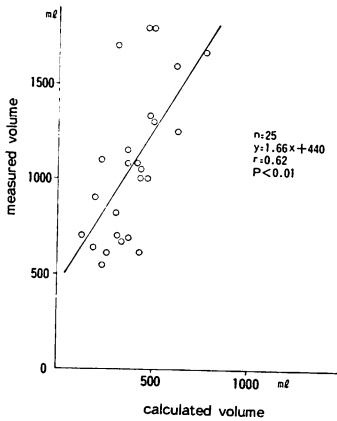


Fig. 5. Correlation between the calculated volumes from Horowitz' formula and the volumes of pericardial effusion measured by indwelling catheter drainage.

の推定基準も後方 EFS を用いているが、これも同じ理由で妥当性を欠くものと思われる。さらに Steinberg ら⁸⁾ は成犬の心嚢腔内へ造影剤を注入

し、心嚢液の分布を観察しているが、注入量を漸次増加させてゆくと前方と側方へ多く分布し、心臓はむしろ後方へ変位し、後方の心嚢液は少なくなったと報告している。これは今回 1,050 ml 以上の症例ではそれ以下の症例と比較して、後方 EFS がより小さな値に分布する症例が多くみられたことと一致する。すなわち、より大量の心嚢液の存在下において、Horowitz らの方法で液量を推定しようとする、より過小評価する危険が多いことを示すものと思われる。Horowitz 自身、彼の計算式は 100 ml 以下の心嚢液量で非常に不正確であったと述べており²⁾、Martin ら⁷⁾ も本式は中等量の心嚢液の存在下においてのみ妥当性をもつものであると述べている。我々もまた大量の心嚢液の存在下では、その妥当性を疑問視せざるを得ない。

一方、貯留心嚢液量と前方 EFS の関係では、A max とは $r=0.80$ 、A min とは $r=0.81$ 、Am とは $r=0.86$ と良い相関を示し、体表面積を乗じ

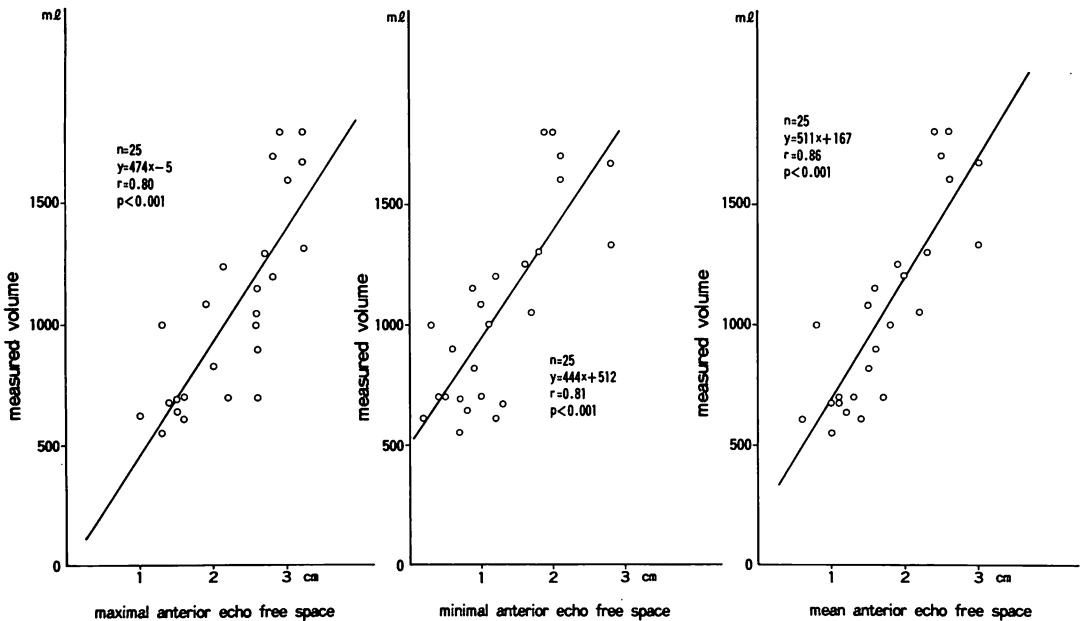


Fig. 6. Correlation between anterior echo free space and the volumes of pericardial effusion measured by indwelling catheter drainage.

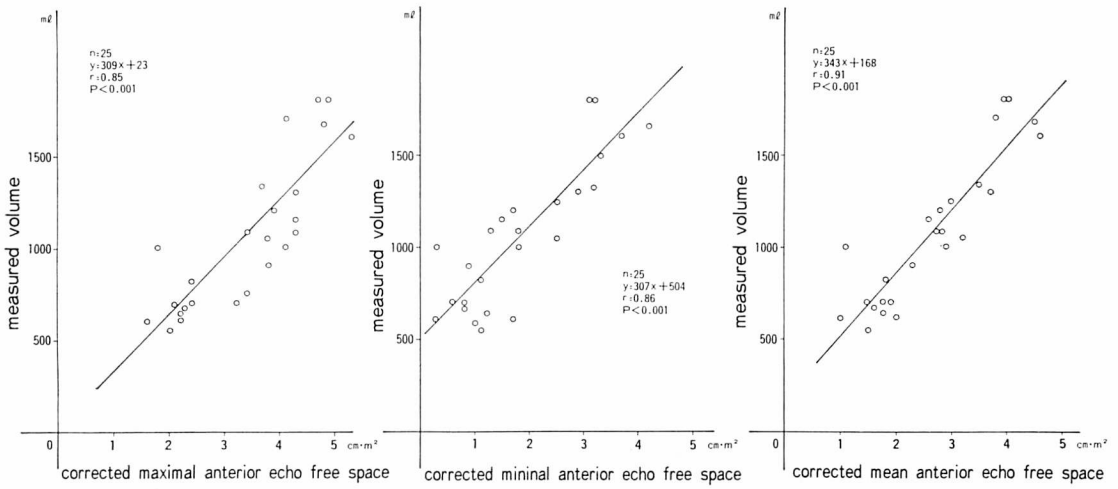


Fig. 7. Correlation between corrected anterior echo free space and the volumes of pericardial effusion measured by indwelling catheter drainage.

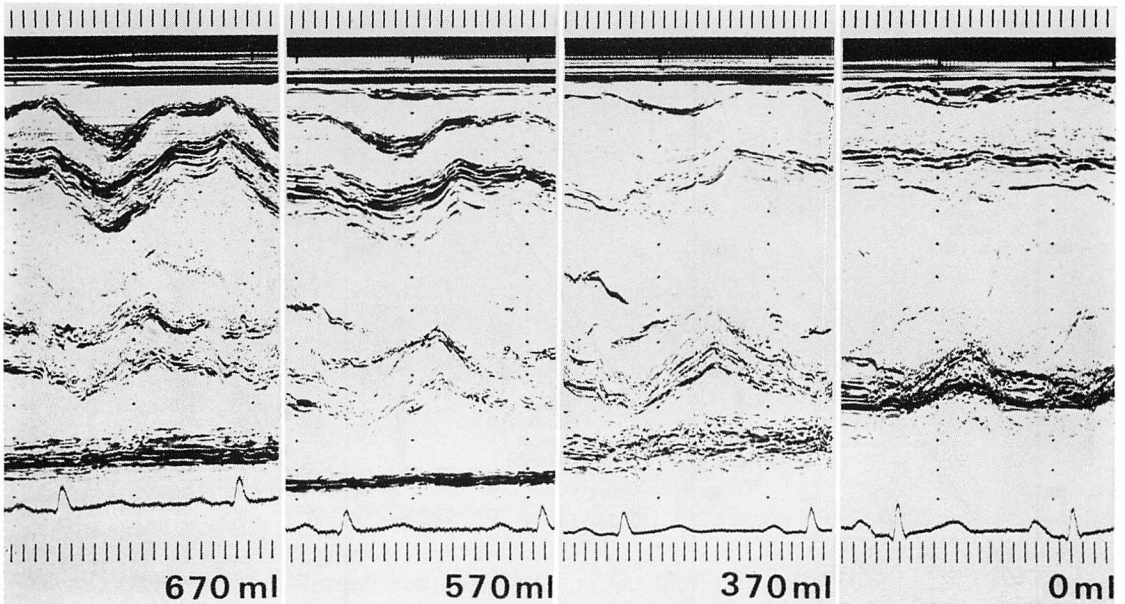


Fig. 8. UCG records in a case drained stepwisely by 100 ml.

Anterior echo free space is proportionally decreased with the residual volumes of pericardial effusion.

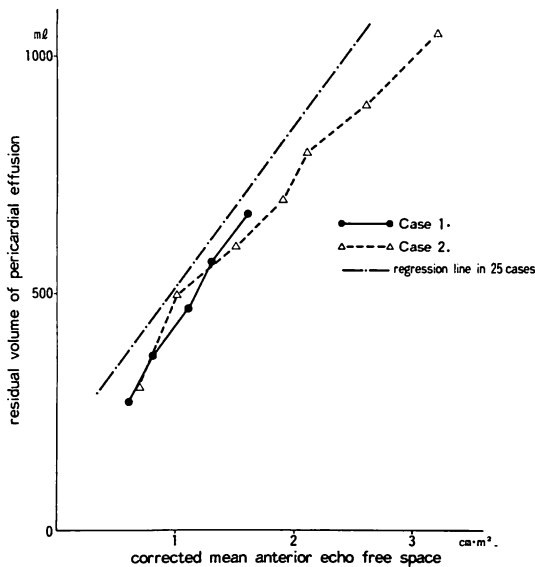


Fig. 9. Correlation between corrected mean anterior echo free space and the residual volume of pericardial effusion after every 100 ml drainage in 2 cases.

た値では corrected A max で $r=0.85$, corrected A min で $r=0.86$, corrected Am で $r=0.91$ とさらに密な相関が得られることがわかった。これは同一の EFS の大きさを示す症例でも、心嚢および心臓の大きさが各人により差があるため、体積としての液量と対比するにあたり、体表面積を乗じた値がより優れたものと考えられる。Feigenbaum が液量の推定基準に前方 EFS を用いている点では、我々の基準と意見を同じくする。しかし、彼の“前方 EFS が 3 cm 以上であると心嚢液量が 1,000 ml 以上である”という基準を今回検討した症例に当てはめてみると、1,000 ml 以上を有する症例 14 例中 10 例 (71%) が A max においても 1,000 ml 以下となり問題があるものと思われる。

大量の心嚢液貯留時には、なぜ前方 EFS が液量に比例して増加するのかわからない。しかし心嚢液の心嚢腔内での分布は、心臓が大血管、心膜の反転部で固定されているため、心

筋・心嚢液の比重にほとんど影響されることなく⁹⁾、心膜と心臓の解剖学的・生理学的関係によって決定されるといわれている⁸⁾。すなわち、心嚢液の増加に伴い伸展性の良い心臓前面と側面に多く貯留してくることが、先に述べた Steinberg ら⁸⁾や他の報告¹⁰⁾で述べられている。一方、体位による心嚢液の分布の変化について、Soulen ら¹¹⁾は造影剤を心嚢腔内に注入することにより、山崎ら¹²⁾はリニア式エコー断層装置を用いて観察し、仰臥位では腹臥位に比べてより心臓前面への液量の増加がみられることを報告している。また、心タンポナーデが出現すれば、心臓側面への液の分布が増えるともいわれている⁹⁾。従って、今回 UCG 検査が仰臥位で実施されたこと、心タンポナーデを呈した症例を対象としたこと、前述のように前方 EFS の均一性などが関与し、前方 EFS と心嚢液量が良い相関を示したものと考えられる。さらに 2 症例において 100 ml ずつ心嚢液を排除するごとに記録した UCG で、corrected Am が残存液量に比例し、かつその回歸直線に沿って減少したことは、前方 EFS と心嚢液量との相関を示す実証となり、さらに 550 ml 以下の液量についても推量できる可能性を示唆するものと思われる。

Q-Bc interval はすでに田中ら¹³⁾が成犬を用いて実験的に作成した心嚢液貯留モデルで、その UCG 所見から心嚢腔内へ注入した液量と良い相関があることを報告している。今回、この指標を慢性心タンポナーデの大量心嚢液貯留例で検討し、臨床的に実用できることを示した。心臓は大血管の付着と心膜の反転部で固定されている。また、心嚢は心臓のポンプ作用を有効に行うために、適度に心臓の自由運動を制限している¹⁴⁾。しかし心嚢腔に液体が貯留し心膜による制限が減少してくると、心臓はその容積の減少とともに心膜によって固定されていない部分が回旋運動を始める¹⁵⁾。回旋運動は左室長軸を含んだ胸壁面に垂直な前後運動が最も大きく、今回記録した UCG のビーム方向で最もよく表現されることに

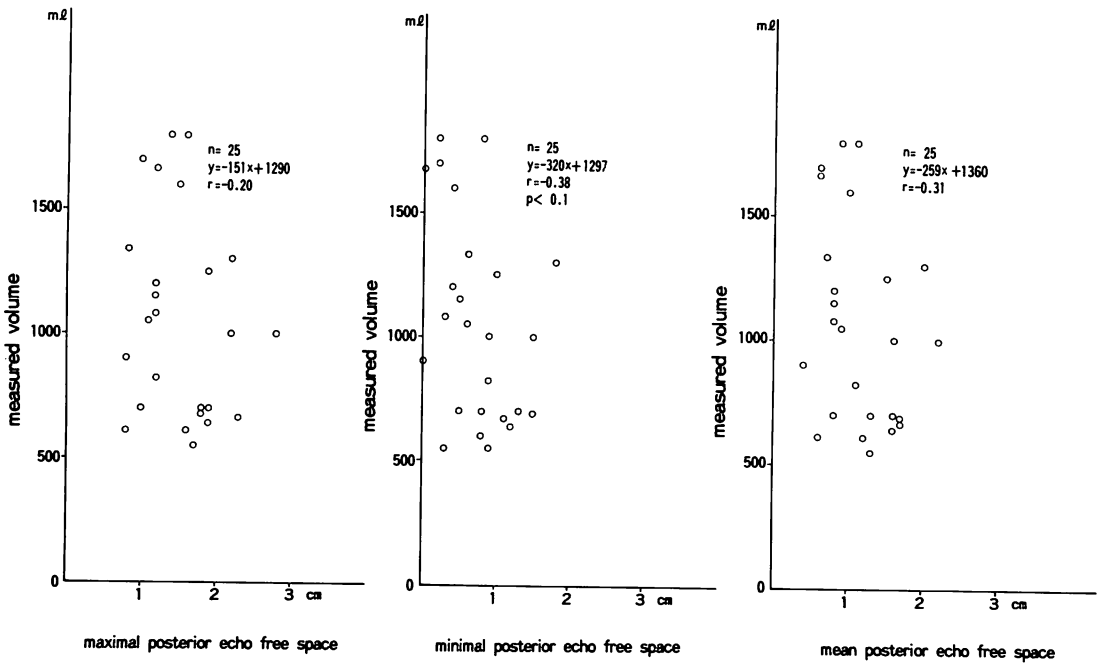


Fig. 10. Correlation between posterior echo free space and the volumes of pericardial effusion measured by indwelling catheter drainage.

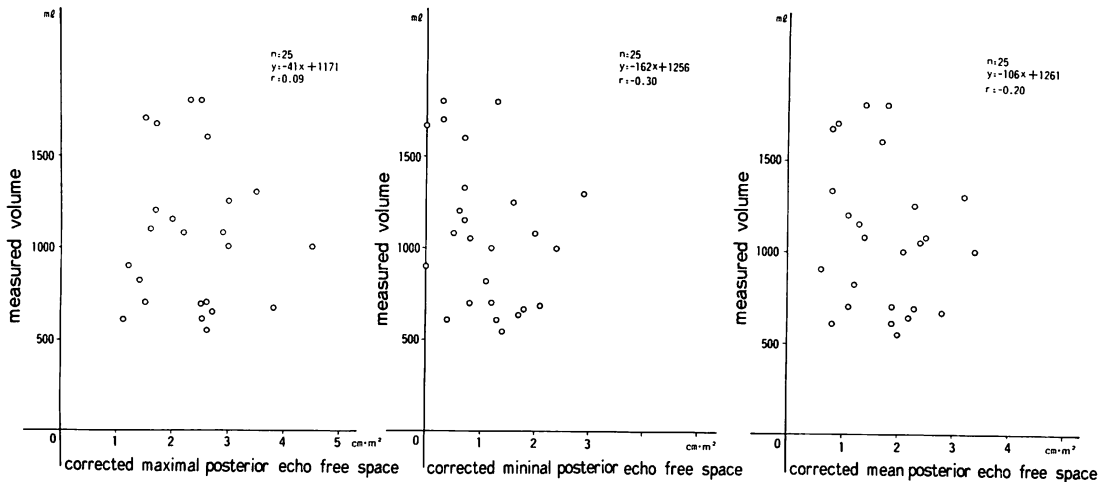


Fig. 11. Correlation between corrected posterior echo free space and the volumes of pericardial effusion measured by indwelling catheter drainage.

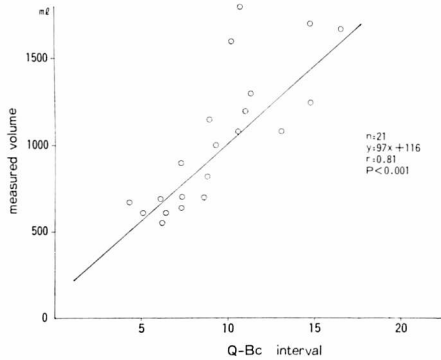


Fig. 12. Correlation between Q-Bc interval and the volumes of pericardial effusion measured by indwelling catheter drainage.

なる。さらに心嚢液量の増加に比例して心臓の回旋運動の自由度が増加すること、血液の駆出における左室の働きが大きいことなどが Q-Bc interval と心嚢液量の相関となって表わされるものと考えられる。

以上、UCG より貯留心嚢液量を推定する場合、前方 EFS、とくに corrected Am と Q-Bc interval より求めることが妥当であると思われる。

要 約

慢性心タンポナーデ 23 例に、Seldinger 法を応用した心嚢ドレナージ法で延べ 25 回の排液を行い、その排液量と術前 M モード心エコー図(以下 UCG) 所見を対比検討した。原疾患は悪性心嚢炎 21 例、結核性心嚢炎 1 例、心膜血管腫 1 例である。測定した貯留心嚢液量は 550~1,800 ml であった。

Horowitz らの球体仮定式で計算した値と実測心嚢液量の対比では、 $r=0.62$ と比較的粗な相関しか認められず、全例過小評価されていた。

UCG 上 echo free space (以下 EFS) を前方および後方に分け、心周期に関係なく最大となる所を最大 EFS、最小となる所を最小 EFS、その平均値を平均 EFS とし、EFS の実測値とおのおのの値に体表面積を乗じた補正值とを实測心嚢液量と対比した。その結果、最大前方 EFS (A max) で $y=474x-5$ ($r=0.80$)、最小前方 EFS (A min) で $y=444x+512$ ($r=0.81$)、平均前方 EFS (Am) で $y=511x+167$ ($r=0.86$) と良い相関を認めた。また、前方 EFS の補正值では corrected A max で $y=309x+23$ ($r=0.85$)、

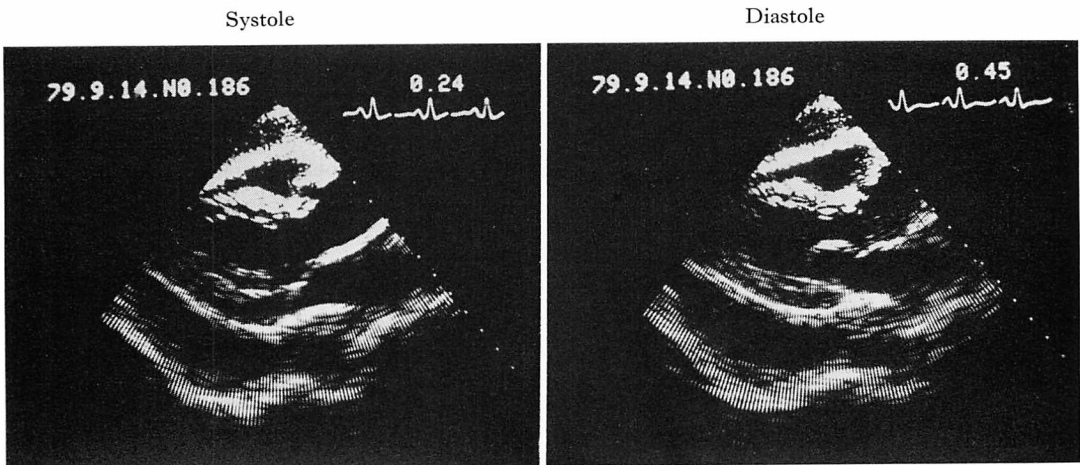


Fig. 13. Cross-sectional echocardiograms of a case with pericardial effusion.

Anterior echo free space is evenly distributed, but the distribution of posterior echo free space is uneven.

corrected A min で $y=307x+504$ ($r=0.86$), corrected Am で $y=343x+168$ ($r=0.91$) とさらに密な相関が得られた。2症例において 100 ml ずつ心嚢液を排除し, UCG 記録を行った結果, 残存液量に比例し, corrected Am がその回帰直線に沿って減少することがわかった。

一方, 後方 EFS と実測心嚢量の間には, EFS の実測値・補正值とも有意な相関はみられなかった。

UCG 上の左室後壁最大後方変位点の心電図 QRS からの遅れの指標である Q-Bc interval も, 液量と $y=97x+116$ ($r=0.81$) と良い相関を認めた。

従って UCG より心嚢液量を推定する場合, 前方 EFS の大きさ (とくに corrected Am) と, Q-Bc interval よりこれを求めることが可能であると思われた。

文 献

- 1) Seldinger MS: Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography. *Acta Radiol (Stockh)* **39**: 368-376, 1963
- 2) Horowitz MS, Schultz CS, Stinson ED: Sensitivity and specificity of echocardiographic diagnosis of pericardial effusion. *Circulation* **50**: 239-247, 1974
- 3) Bazett HC: An analysis of the time relation of electrocardiogram. *Heart* **7**: 353-370, 1920
- 4) Feigenbaum H: *Echocardiography*. 2nd Edition. Lea & Febiger, Philadelphia, 1976
- 5) Merx W, Wchweizer P, Krebs W, Effert S: Verbesserte Punktions-technik des Perikards und Quantifizierung von Perikardergüssen mittels Ultraschall. *Dtsch Med Wschr* **104**: 19-21, 1979
- 6) Markiewicz W, Brik A, Brook G, Edoute Y, Monakier I, Markiewicz Y: Pericardial rub in pericardial effusion. Lack of correlation with amount of fluid. *Chest* **77**: 643-646, 1980
- 7) Martin RP, Rakowski H, French J, Popp RL: Localization of pericardial effusion with wide angle phased array echocardiography. *Am J Cardiol* **42**: 904-912, 1978
- 8) Steinberg I, Herbert VG, Finby N: Roentgen diagnosis of pericardial effusion: New angiographic observations. *Am J Roentgenol* **79**: 321-332, 1958
- 9) Bryk D, Kroop IG, Budow J: The effect of heart size, cardiac tamponade, and phase of the cardiac cycle on distribution of pericardial fluid. *Radiology* **93**: 273-278, 1969
- 10) Mellins HZ, Kottmeier P, Kiely B: Radiologic signs of pericardial effusion. An experimental study. *Radiology* **73**: 9-17, 1959
- 11) Soulen RL, Lapayowker MS, Cortes FM: Distribution of pericardial fluid, dynamic and static influence. *Am J Roentgenol* **103**: 583-588, 1968
- 12) Yanazaki S, Taguchi K, Muraki N, Ozawa S, Shukuya M, Hirai A, Masuda Y, Inagaki Y: Observation on pericardial effusion by ultrasonocardiography: Diagnostic significance of the anterior echo free space of the heart. *J Cardiology* **8**: 711-717, 1978 (in Japanese)
- 13) Tanaka M, Kosaka S, Terasawa Y, Kashiwagi M, Meguro T: Morphological and dynamical characteristics of the heart in pericardial effusion. *J Cardiology* **5**: 3-13, 1975 (in Japanese)
- 14) Shabetai R: The pericardium: An essay on recent developments. *Am J Cardiol* **42**: 1036-1043, 1978
- 15) Matsuo H, Matsumoto M, Hamanaka Y, Ohara T, Senda S, Inoue M, Abe H: Rotational excursion of heart in massive pericardial effusion studied by phased-array echocardiography. *Br Heart J* **41**: 513-521, 1979