

Subxiphoid approach による右室断層図の検討：右室容積との関連について

Determination of right ventricular volume by subxiphoid two-dimensional echocardiography

八木原俊克
北村惣一郎**
中埜 肅
島崎 靖久
榊原 哲夫
佐藤 重夫
岸本 英文
中谷 武嗣
小川 実*
川島 康生

Toshikatsu YAGIHARA
Soichiro KITAMURA**
Susumu NAKANO
Yasuhisa SHIMAZAKI
Tetsuo SAKAKIBARA
Shigeo SATO
Hidefumi KISHIMOTO
Taketsugu NAKATANI
Minoru OGAWA*
Yasunaru KAWASHIMA

Summary

To establish the measurement method of right ventricular (RV) volume by two-dimensional (2-D) echocardiography, a comparative study was performed in respect to the quantitative evaluations of the RV areas or volumes obtained by biplane 2-D echographic and angiographic methods. At first, a preliminary investigation was performed to define the optimum tracing of the endocardial surface on the 2-D echogram by using a fresh mongrel dog heart. It was revealed that the 2-D echographic views of the ventricular surface contained some artifact echoes inside the true echo of the endocardium. As a result, the optimum line for tracing was considered to be in external margin of the echo which seemed to represent the endocardium. This technique was then applied to 10 patients with congenital heart disease who were followed by cardiac catheterization. Ages ranged from 9 months to 5 years with an average of 2 years and 4 months. The RV was imaged by a subxiphoid approach. The RV apex, pulmonary valve (PV) and mid-portion of the tricuspid valve were showed in a frontal view, which allowed to measure the frontal RV area (f). In a sagittal plane, the RV wall and the PV were imaged, and then the lateral area (l) and the RV long axis (d) were measured. From the biplane cineangiography, the frontal RV area (f'), lateral area (l'), RV long axis (d') and RV end-diastolic volume (EDV) by arealength method were calculated. The f and l were correlated with the f' ($r=$

大阪大学医学部 第一外科

*同 小児科

大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)

** (現) 奈良医科大学 第三外科

The First Department of Surgery and *Department of Pediatrics, Osaka University Medical School, Fukushima 1-1-50, Fukushima-ku, Osaka 553

Presented at the 21st Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 14-15, 1980
Received for publication August 18, 1981

0.90) and with the l' ($r=0.86$), respectively. However, the values by the echocardiographic measurement were smaller than those by the cineangiographic ones. The f was also well correlated with the RVEDV ($r=0.94$). The $f \cdot l/d$, considered to represent a variable of echographic measurement of the RV volume by area-length method, was well correlated with the RVEDV ($r=0.84$). Although there are still some problems related to the imaging technique and sharpness of the echogram, further improvement to establish a echocardiographic measurement of RV volume is expected with the advance of the techniques.

Key words

Two-dimensional echocardiography Right ventricular volume Subxiphoid approach Area-length method

はじめに

先天性心疾患の病態把握に、右心機能の解析は重要な位置を占めている。右室容量計測は現在、通常、心大血管造影法を用いて行われているが、この方法は観血的であるためその施行は著しく制限される。

一方、心エコー法は非観血的検査であり、乳幼児期心疾患の心機能解析には有力な手段になりうると考えられるが、前胸壁直下にある右室を描出することは困難な場合が多く、この理由のため、心エコー法を用いた右室容量計測はいまだ確立されていない。

我々は、超音波断層法を用いて subxiphoid approach から描出する frontal plane は、心大血管造影における frontal plane と類似の解剖学的位置関係を知ることができることに着目してきた。この approach で探触子を少し肝臓部に押し込み、心臓の前部を frontal plane により描出すると、右室縦断面を掴えることができる。本論文ではこの subxiphoid approach からの右室断面を用いた右室容量計測の可能性を、造影法との対比から検討し、信頼性のある手段となりうるとの結論を得たので報告する。

方 法

1. 右室断層図の描出

Subxiphoid approach からの frontal plane での右室の描出に再現性をもたらすため、Fig. 1 に

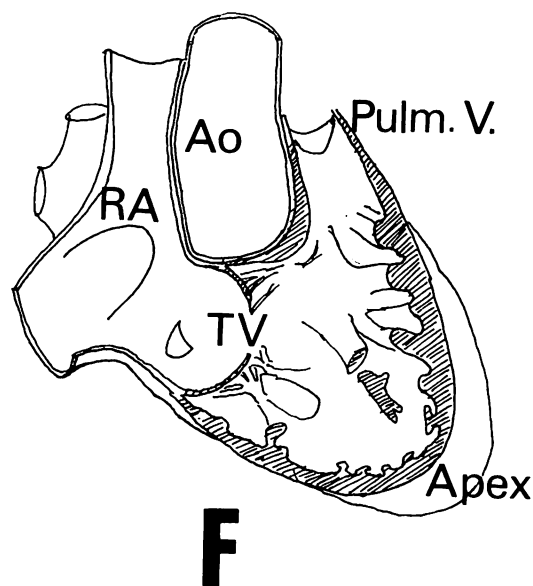


Fig. 1. Schema of the F-plane of the 2D echo.

The F-plane contains the right ventricular (RV) apex, pulmonary valve (Pulm. V.) and mid-portion of the tricuspid valve (TV).

示すごとく、肺動脈弁の中心点、右室心尖部、および三尖弁の中心点の3点を含む断面で右室を捉え、この断面を F とした。

通常、F は探触子を十分肋骨弓下、ないし肝臓部へ押し込んで得られる frontal plane を、被検者の右側から見て反時計方向へ 20~30 度回転し、さらに足方から見て反時計方向へ 10~20 度回転させることにより得られる。

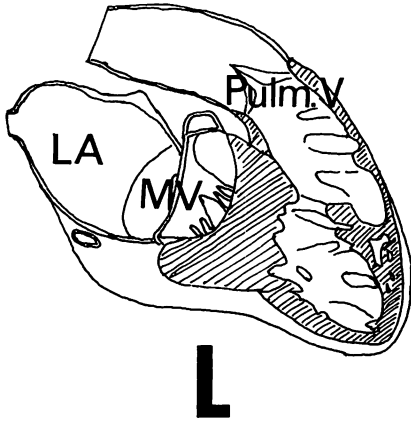


Fig. 2. Schema of the L-plane of the 2D echo.
The L-plane contains the RV wall and the pulmonary valve.

三尖弁、および肺動脈弁を同一断面に捉え、それらの弁尖の動きを確認しつつ、それぞれ最大径となる場所を捉え、中心点とした。右室心尖部はその後、三尖弁と肺動脈弁を通る線を軸として、わずかずつ回転させながら、最も左側まで右室腔として確認できる場所を捉えた。

また、右室の形態は左室と比べて複雑であり、その容量計測は造影法においては二方向造影によるのがより正確である。したがって、心エコー法においても、二方向からの断面を求めることがより精度の高い計測を可能にすると考え、次の断面を描出した。すなわち、Fig. 2 に示すごとく、断面 F と直角に交わり、かつ、肺動脈弁、および三尖弁と右室心尖部のほぼ中央を含む断面を捉え、これを断面 L とした。これは、あらかじめ F を描出するにあたり、扇形エコーの中心ビームが、三尖弁と右室心尖部のほぼ中心と肺動脈弁の 2 点を通過するように探触子の位置を調節し、その F を描出している位置で探触子を反時計方向に 90 度回転して断面 L を描出した。通常この断面で、右室の後方は左室流入部か、僧帽弁の横断面となる。

2. 超音波断層図を用いた計測法に関する基礎的実験

超音波断層図から右室内腔の断面積を計測するにあたり、トレースすべき心内膜面は造影フィルムに比べてあまり鮮明ではなく、正確な位置の鑑別は通常困難である。このことは現在、超音波検査法の解析度が造影法に比べてまだまだ不良であるということとともに、超音波断層図とそれが表現している生体組織そのものとの関連がまだ全く検討されていないことによると考えられる。そこで、臨床例での計測を行う前に、次の基礎的実験を行った。

雑種成犬 1 頭の新鮮摘出心を、ビニール袋の生理食塩水中に保存しつつ、前述の L に相当する断面が摘出心の移動や軽い圧迫では変形しないように、妻揚枝^{つまようじ}を断面 L の近辺で L と平行に多数刺入することにより固定した。また断面 L を超音波断層図で描出するさいの marker として、虫ピンを、肺動脈弁、および右室表面に数本とりつけた。この標本の断面 L を marker で確認しつつ、超音波診断装置 Aloka 製 SSD-800 を用いて描出し、ポラロイドカメラにて撮影した。その直後、この摘出心標本を marker をつけた断面にて切断後、食塩水中からとり出し、切断面にインクをつけ、方眼紙上に写した。

Fig. 3 は右側に摘出心の超音波断層による断面 L を、左側に切断面の写しを示しているが、この両者はほぼ同一の右室断面を表わしていると考えてよい。切断面の写しから右室内腔の面積をプランイメーターを用いて計測すると、 4.1 cm^2 であった。また、右室内腔の最大横径 1.0 cm 、流出路での右室前壁筋厚 0.5 cm であった。これらを超音波断層図と対照してみると、内腔に向って突出した irregular な echo は、必ずしも肉柱の不規則な形態とは一致せず、また、この echo の最内側は artifact と思われる部分もあった。切断面の写しと同様、肉柱を除外して計測する場合には右室内膜エコーの最内線、すなわち右室内腔の echo free space の最外線をスムーズな線でトレ

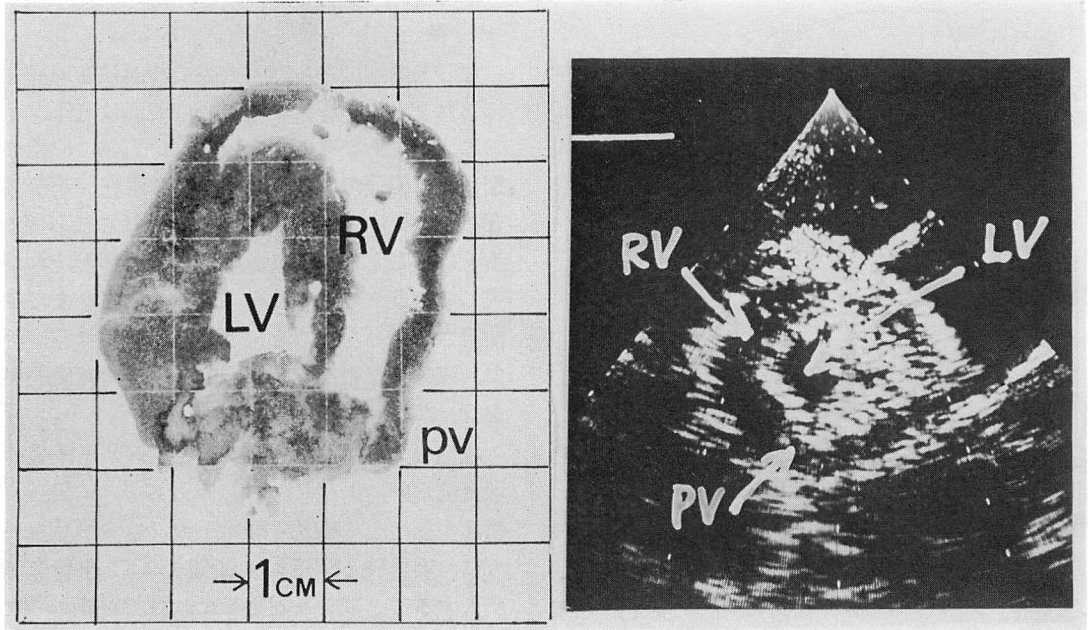


Fig. 3. Cross-section of the dog heart (left) and its 2D echogram (right).

A study using a fresh heart of a mongrel dog reveals that the 2-D echographic views of the ventricular surface contain some artifact echoes inside the true echo of the endocardium.

ースするのが、切断面の写しのトレースの結果と最も近似することがわかった。以上の知見に基づき、臨床例での F と L の解析を行った。

3. 臨床例での計測

対象は **Table 1** に示したごとく、肺動脈弁狭窄症 1 例、ファロー四徴症 3 例、心室中隔欠損症 6 例、計 10 例である。検査時年齢は 9 カ月から 5 歳、平均 2 歳 4 カ月であった。全例心臓カテーテル検査を目的として入院した患児で、超音波検査は原則としてカテーテル検査の前日に行った。

超音波診断装置は、前述の実験に用いたのと同じ Aloka 製 SSD-800 を使用し、断層図はビクター製ビデオレコーダー CR-6060 に記録するとともに、モニターブラウン管から直接ポラロイドカメラにて撮影した。撮影は心電図の R 波のピークに同期させてフリーズし、これを拡張末期像とした。探触子の操作、および固定はすべて manual で行った。

Table 1. Clinical diagnosis of 10 patients with congenital heart diseases

	Case	Yrs & months
Pulmonary stenosis (PS)	1	1y 8m
Tetralogy of Fallot (TF)	3	10m~5y 0m
Ventricular septal defect (VSD)	6	9m~4y 6m
Total	10	2y 4m

断面 F、および L の右室内腔断面積は、ポラロイドフィルムからプランメーターを用いて計測した。拡大率の補正は超音波診断装置に内蔵している 1 cm 間隔の marker を用いた。

F から求めた断面積(補正後のもの)を $f(\text{cm}^2)$ 、L から求めた断面積(同)を $l(\text{cm}^2)$ とし、L からは最大長径 $d(\text{cm})$ をも求めた。

また心臓カテーテル検査時には、日立製 DC-1510 型心臓血管造影装置を用いて 2 方向右室造

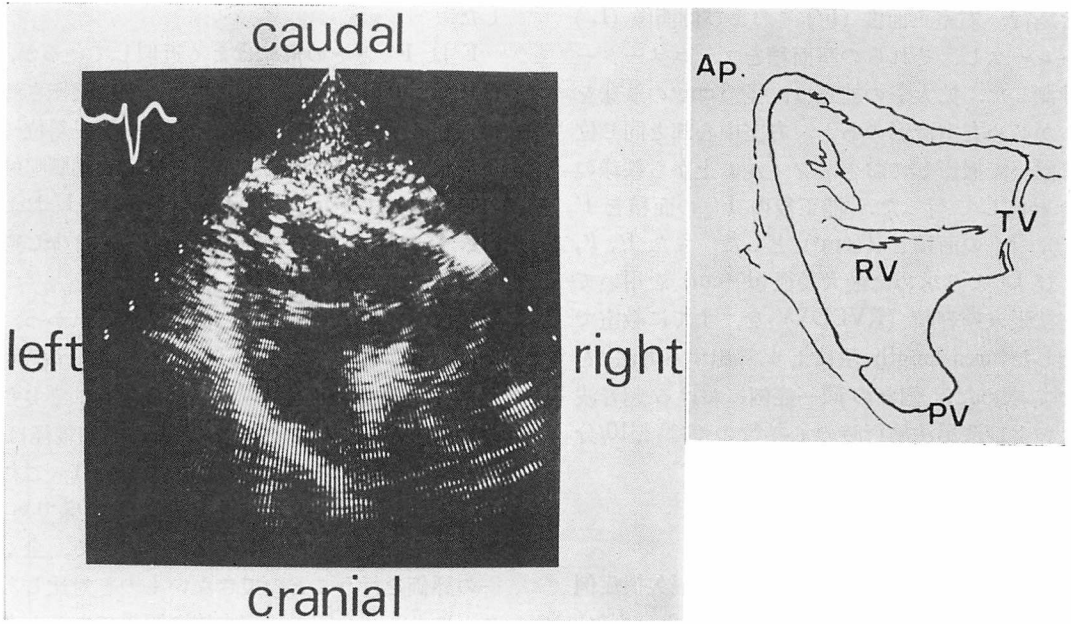


Fig. 4. The F-plane in a case with ventricular septal defect (one-year-old boy).

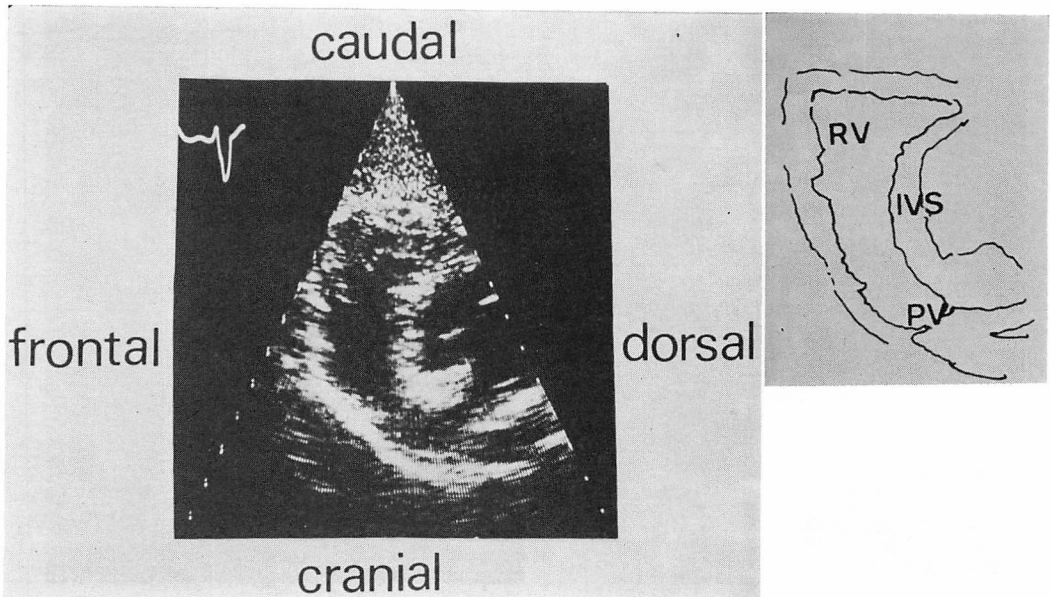


Fig. 5. The L-plane of the same patient as in Fig. 4.

影を施行, 右室正面像 (F'), および側面像 (L') をトレースし, それらの断面積をプランメーターで計測した. 拡大率の補正は, 径 3 cm の鉄球をあらかじめ右室造影のあと, 右室中心部と同じ位置に置いて撮影しておき, フィルム上から鉄球の径を計測して行った. 補正後の F' の面積を f' (cm^2), L' の面積を l (cm^2) とした. また f' , l , および L' より求めた最大長径 d' (cm) を用いて右室拡張末期容積 (RVEDV) を, すでに教室で開発した area-length 法により算出する方法¹⁾を用いて求めた. 個々の同一症例における超音波法, および造影法施行時の心拍数の差は ± 10 /分以内であった.

成 績

Fig. 4 に今回の対象の 1 歳, 心室中隔欠損症例の F を, Fig. 5 に同症例の L を示した. また, 同一症例にて, 超音波検査の翌日に行った右室造影の正側面, 拡張末期像 (F', L') を Fig. 6 に示

した.

F は F' とその形態はよく近似しているが, F は frontal plane をやや反時計方向に回転させて得られる plane であるので, やや第一斜位に近い形状をとる. また流出路の右側は大動脈起始部の張り出しにより, 凹型を示し (Fig. 1 および Fig. 4 参照), 右室造影正面像 (F') とは少し形状を異にしている.

L は少し第 2 斜位に近い形状をとり, かつ, 後側は心室中隔となるが (Fig. 2 および Fig. 5 参照), 右室造影側面像 (L') では, 後側に三尖弁弁腹の膨隆が含まれてくるので, L' の前後径は L よりも大きくなっていく (Fig. 6 参照). これらのことは, 造影法による右室像は投影像であり, 超音波法によるそれは断面像であるので, 全く同一の評価を行うことのできないものを対比しあうことになり, 今回の研究方法の限界であると考えている. しかしながら, それぞれの計測値の間には良い相関関係が得られた.

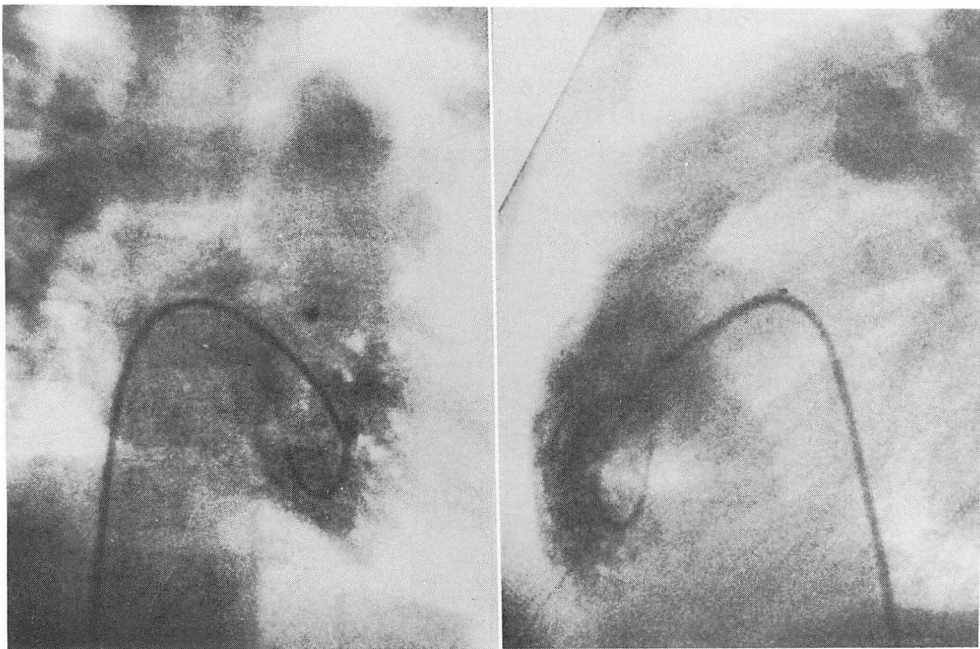


Fig. 6. The right ventriculograms of the same patient as in Figs. 4 and 5.
Left: frontal view, right: lateral view.

f と f' との間には $y=0.77x-2.2$, $r=0.90$ と, $p<0.001$ の良い相関関係が得られた (Fig. 7). 勾配は 1 より小さく, すなわち f は f' より低値をとる傾向にあった. この原因のひとつは, 前述したごとく, 流出路の右側は F では大動脈起始部の張り出しにより凹型をとることであり, もうひとつは, 造影剤の急速注入という容量負荷が, 造影法の右室像には関連していることである.

l と l' との間にも $y=0.42x+1.8$, $r=0.86$ と, $p<0.002$ の比較的良い相関関係が認められた (Fig. 8). この式の直線勾配は f の場合よりもさらに低値をとったが, その原因は上述の造影剤による容量負荷とともに, L' の後側には三尖弁弁腹の膨みが含まれることが考えられた.

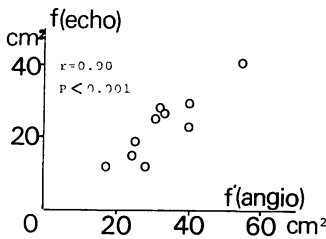


Fig. 7. Correlation between right ventricular areas on the F-plane determined by the echocardiogram (f) and angiogram (f').

The f (RV area of the F-plane) is well correlated with the f' (RV area of the frontal plane of the RV graphy).

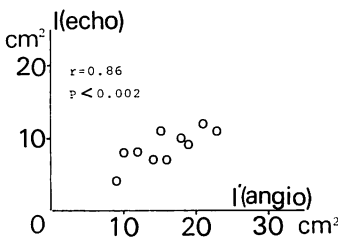


Fig. 8. Correlation between right ventricular areas on the L-plane determined by the echocardiogram (l) and angiogram (l').

The l (RV area of the L-plane) is also correlated with the l' (RV area of the lateral plane of the RV graphy). The values by the echocardiographic measurement are smaller than those by the cineangiography.

また, Fig. 9 に示したように, f は RVEDV と $r=0.94$, $p<0.001$ ときわめて良い相関関係にあった. これは F が三尖弁, 肺動脈弁, および右室心尖部の右室構造で最も基本となる三要素をすべて含んでおり, かつ, この 3 点で規定される断面であるので, 心全体の回転や位置の変化には十分対応している結果と考えられる. また, 右室の拡大は前後方向のみならず, 左右上下方向への伸展を伴うものと思われた. したがって, f はこれのみで右室容量を表現する良い指標となりうると考えられる.

造影法による RVEDV の算出は, area-length 法により, $RVEDV = 0.8488 \times (f' \cdot l' / d') \times 0.759 - 0.193^{11}$ の式により求めたが, 超音波断層法による f と l を用いた area-length 法を考えてみるときに, 変数となるのは $f \cdot l / d$ である. この $f \cdot l / d$ と RVEDV との関係を見ると, $r=0.84$, $p<0.005$ の比較的良好的な相関関係が認められた (Fig. 10). このことより, F と L を用いて右室容量を計測することが可能と結論された.

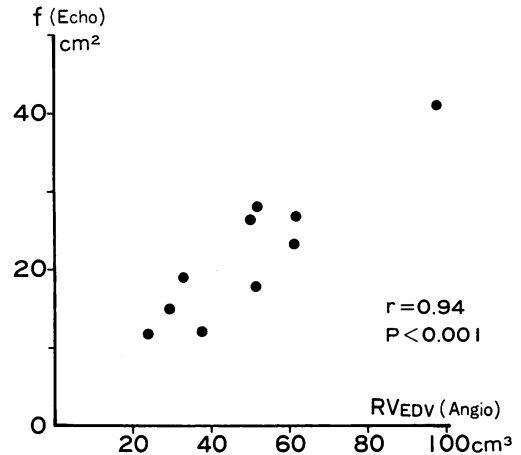


Fig. 9. Relationship of right ventricular area determined by the echocardiogram to right ventricular end-diastolic volume.

The f is well correlated with right ventricular end-diastolic volume (RVEDV) measured by cineangiography.

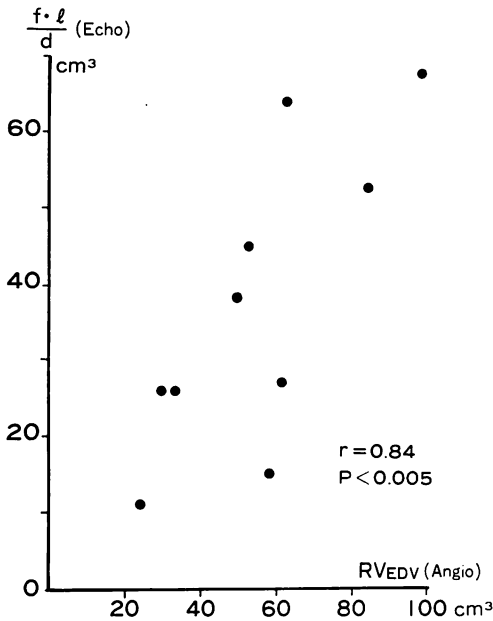


Fig. 10. Correlation between echocardiographic index ($f \cdot l/d$) and right ventricular end-diastolic volume determined by angiogram.

The $f \cdot l/d$, considered to be a variable of echographic measurement of RV volume by area-length method, is well correlated with RVEDV.

d = long axis of the right ventricle.

考 案

右室容量解析は観血的な方法である造影法のほかに、近年、非観血的な方法としてラジオアイソトープを用いる方法が開発され、すでに臨床応用されている。しかし、より簡便で、術後急性期等の critical な状態の患者に対しても、安全に、かつ頻回の計測が可能となる超音波検査法による容量解析法の開発は意義あるものと考えられる。

従来、超音波検査法による右室の大きさの評価は、前胸壁からのアプローチから得られる右室径の計測で代用されてきた。しかし、このアプローチでは超音波ビームの方向や、右室の回転などによる位置異常に対応することができず、定性的評価は可能でも定量的評価は困難であった²⁾。超音

波断層法を用いても sector scanner では右室の全貌を捉えることは通常困難である。Bommerらは、超音波断層法を用いて右室径の計測が可能であることを cast を用いた実験から示し、臨床例では心尖部からの 4-chamber-view を用いれば右室の長短軸を計測でき、右室容量を推測できると報告している³⁾。このことは、M-mode echo よりも超音波断層法のほうが右室容量をよく反映した dimension を得ることができるということにすぎない。右室は左室に比べて複雑な形態を有しているため、直接容量を測定するためには右室の全貌を捉えることが不可欠の条件と考えられる。

一方、subxiphoid approach からの超音波検査は、Chang らにより最初に報告されたが、これは左室の心エコー図 (M-mode) についての報告であった⁴⁾。

齊藤らは、このアプローチから M-mode echo を用いて、右室流入部から大動脈弁を描出する時に得られる右室径は、再現性がよく、かつ造影法から求めた右室容積とよい相関関係にあったと述べている⁵⁾。この方法は簡便であり、かつ、右室機能上最も重要な洞部の dimension を捉えることから、右室機能解析には有用な検査であると思われる。しかし、この方法も M-mode echo を用いている限りは、ある一線上の segmental motion analysis に過ぎず、圧負荷、容量負荷の有無、および程度により形態的変化の大きい先天性心疾患の右室容量計測を目的とする場合には不十分である。

また、subxiphoid approach からの超音波断層法が右室の形態診断に有用であったとの報告は、Sahn ら⁶⁾、Tajik ら⁷⁾、Lange ら⁸⁾のものがあり、この approach が右室の描出に最も有利であるというのは諸家の意見の一致したところであろう。

この subxiphoid approach から超音波断層法を用いて定量計測を試みる場合、右室の一定部位を常に捉えるようにし、再現性のある断面を得る

ことが不可欠である。今回述べた断面 F は、3 点を同時に捉える必要があり、技術的な問題がないとはいえないが、あらかじめこの approach から、心全体の orientation をつけておけば、さほど困難ではなかった。肺動脈弁と三尖弁の同定はその形態的特徴から容易であるが、右室心尖部の同定は慎重に行わなければならない。このために、前述したごとく、拡張末期で右室腔が最も左側に広がる断面を捉えたのであるが、さらにこの断面を 1 呼吸周期以上にわたりビデオレコーダーに記録し、撮影した断面の妥当性を検討した。

右室心尖部を適切に捉えている場合には、心尖部の心内膜 echo は境界鮮明であるが、断層面が右室自由壁寄り、もしくは中隔寄りになるとこれが不鮮明となる。また、さらに後日施行した右室造影において心尖部の形態を比較検討したところ、超音波断層図で得られた右室心尖部はほぼ適切な位置を捉えていたと結論できた。Bommerらの方法のように心尖部から超音波ビームを入れる場合には、心尖部を適切に捉えているかどうかを check するために探触子の位置を変えてみなければならず、その位置は肋間腔で、しかも肺を間に含まない箇所制限されることを考えれば、実際には真の心尖を捉えているかどうかの検討を行うことはきわめて困難であると考えられる。それに比べて subxiphoid からの本法では探触子の位置は変えずに、その方向を訂正するだけで心尖を捉え得るので、より確実に、再現性のある断面が得られるものと考えられる。

しかしながら、あくまでも心拍動および呼吸運動により絶えず動いている断面を manual で捉えるのであるから、造影法に比べると測定誤差は大きいことが予想される。この欠点を少しでも補なうため、できるだけ安定した心拍動および呼吸状態下に検査を行う必要がある。また探触子を肝臓部にかなり押し込むことになるので、十分に sedation を行うことが必須であると考えている。

今回の検査には、リン酸トリクロロエチルナトリウム(トリクロロールシロップ) 1 mg/kg の投

与を行い、それで不十分な場合には、抱水クロールをさらに追加投与した。

今回はポラロイドフィルム上でトレースを行ったが、測定誤差はさらに少なくするため、もう少し拡大された画像で処理をするのがよいと考えている。

また先天性心疾患の右室形態の多彩さを考慮すれば、やはり F と L の 2 方向断層図を用いて容量計測を行うのがより正確であろうと考えてはいるが、現状では測定誤差が相乗されることも無視できないと思われ、記録の方法、画像処理の技術面などでの改良が強く望まれる。

本稿では拡張末期の断層図についてのみ検討したが、収縮末期の断層図については、心拍動による心臓全体の回転運動を考慮して、拡張期とは別の断面で捉える必要があると考えられる。この点に関しては右室造影との比較研究から次回検討する予定である。

さらに、今回使用した sector scanner に用いられている 2.3 MHz の探触子では診断可能距離が 16 cm 程度であり、成人で常に肺動脈弁を描出することは困難と思われる。この点からして、本法は現在の装置を用いる限りでは乳幼児ないし学童期症例についてのみ有効であろうと考えられ、今後の改良が望まれる。今回の対象の最高年齢は 5 歳であり、この症例での探触子面から肺動脈弁までの距離は 12 cm であった。

今後経験を積み重ねることにより、これらの問題を検討してゆかねばならないが、subxiphoid approach からの右室断層図を用いた右室容量計測法の確立は可能と考えている。

要 約

超音波断層法を用いた右室容量計測法確立のための第一歩として、subxiphoid approach からの 2 方向右室断面と、造影法による右室造影像、および右室容積との関連を検討した。まず、超音波断層図を用いた計測法に関する基礎実験を行った。生理食塩水中に保存した新鮮摘出心の右室断

層図を記録し, これとその断面で切断して得られた断面の写しとを比較検討した. その結果, 右室断層図では心室内腔に向って artifact が出現するので, 心内膜面としては, 内側の不規則な echo は除外し, echo free space の最外縁で計測するのが妥当であると考えられた. ついで心臓カテテル検査施行前日の9カ月から5歳, 平均2歳4カ月の先天性心疾患児10例を対象に, 拡張末期の右室断層図を記録した. Subxiphoid approach から右室心尖部, 三尖弁中央, および肺動脈弁の3点を含む右室断面 (F) を描出し, その断面積 f を算出した. さらに F と直交し, 肺動脈弁, および心尖部と三尖部下端の中点を含む断面 (L) を描出し, その断面積 l と最大長径 d を求めた. また右室造影から正面像の右室面積 f' と側面像の面積 l' , および最大長径 d' を求め, area-length 法から右室拡張末期容積 ($RVEDV = (f' \cdot l' / d') \times a + b$; a, b は定数) を求めた. f と f' ($r=0.90$), l と l' ($r=0.86$) の間には有意の相関関係を認めしたが, f, l はそれぞれ f', l' より低値をとる傾向にあった. f と $RVEDV$ との間には $r=0.94$ と良い相関関係がみられた. 超音波断層法を用いて area-length 法で右室容積を算出する場合に, 変数となる $f \cdot l / d$ と $RVEDV$ との間には $r=0.84$ の有意の相関関係がみられた. 問題点としては, F と L の描出法, およびそれらは造影法のように投影図ではなく断層図であること, さらに断層図の解析度が造影法より不良で, 測定誤差が大きいこと

をあげたが, 今後の改良により本法による右室容量計測法の確立は可能と考えられた.

文 献

- 1) 島崎靖久, 川島康生, 森 透, 北村惣一郎, 中埜 肅, 大山朝賢, 反国 隆, 八木原俊克, 別府慎太郎, 横田侃児: 心血管造影法による右心室容量計測に関する検討. 心臓 11: 163, 1979
- 2) Feigenbaum H: Echocardiography. 2nd ed, Philadelphia, Lea and Febiger, 1976, p 255
- 3) Bommer W, Weinert L, Neumann A, Neef J, Mason DT, DeMaria A: Determination of right atrial and right ventricular size by two-dimensional echocardiography. Circulation 60: 91, 1979
- 4) Chang S, Feigenbaum H, Dillon J: Subxiphoid echocardiography. Chest 68: 2, 1975
- 5) Saito A, Ueda K, Nakano H: Quantitative assessment of the right ventricular performance by echocardiography. I. Echocardiographic estimation of the right ventricular size by subxiphoid approach. J Cardiology 9: 75, 1979
- 6) Sahn DJ, Sobol RG, Allen HD: Subxiphoid real-time cross-sectional echocardiography for imaging the right ventricle (RV) and right ventricular outflow tract (RVOT). Am J Cardiol 41: 354, 1978 (Abstr)
- 7) Tajik A, Seward JB, Hagler DJ, Mair DD, Lie JT: Two-dimensional real-time ultrasonic imaging of the heart and great vessels. Technique, image orientation, structure identification, and validation. Mayo Clin Proc 53: 271, 1978
- 8) Lange LW, Sahn D, Allen HD, Goldberg SJ: Subxiphoid cross-sectional echocardiography in infants and children with congenital heart disease. Circulation 59: 513, 1979