

臨床例におけるアナトミカルMモード法の精度検討: ハーモニクイメージング法の効果

Clinical Validation of Accuracy of Anatomical M-Mode Measurements: Effect of Harmonic Imaging

勝木 桂子
中谷 敏*
神崎 秀明*
花谷 彰久*
田中 教雄
仲宗根 出
増田 喜一
山岸 正和*
宮武 邦夫*

Keiko KATSUKI, BS
Satoshi NAKATANI, MD, FJCC*
Hideaki KANZAKI, MD*
Akihisa HANATANI, MD*
Norio TANAKA, BS
Izuru NAKASONE, BS
Yoshikazu MASUDA, BS
Masakazu YAMAGISHI, MD, FJCC*
Kunio MIYATAKE, MD, FJCC*

Abstract

Objectives. Recent advances in ultrasound technology allow reconstruction of images from stored radiofrequency information and creating of M-mode echocardiograms along an M-mode cursor of any direction (anatomical M-mode echocardiography).

Methods. The accuracy of the measurements obtained by anatomical M-mode echocardiography was evaluated by comparing the measurements with those by B-mode echocardiography with or without harmonic imaging in 8 normal subjects and 14 patients with cardiac disorders. Measurements used the left ventricular short-axis image in 4 different directions (0 to 6, 3 to 9, 1 to 7 and 5 to 11 o'clock).

Results. Anatomical M-mode and B-mode measurements showed good linear relationships with correlation coefficients of 0.90 to 0.99 in any of the 4 directions. However, measurements in the lateral direction (3 to 9 o'clock) showed larger errors than those in the other directions ($p < 0.05$). With the use of harmonic imaging, the errors tended to become smaller, although it did not reach statistical significance.

Conclusions. Anatomical M-mode echocardiography accurately measures the left ventricular internal diameter in any direction except the lateral direction. Harmonic imaging is useful to decrease the errors.

J Cardiol 2001; 37(1): 35-42

Key Words

Echocardiography, transthoracic
Cardiovascular disease

Ultrasonic diagnosis

はじめに

心エコー図法による心機能評価にはさまざまな手法がある^{1,2)}。その中でも、Mモード心エコー図法を用いた左室内径および短縮率の評価は最も基本的な手法であり、その簡便さと相まって、現在でも広く用いら

れている³⁾。従来のMモード法では、断層像において探触子先端からエコービームが投射されるため、その方向におけるMモード像しか得ることができなかった。また、カーソルが心室壁に対して垂直でなければ、計測の精度や再現性に問題が生じるという欠点があった⁴⁻⁶⁾。したがって、心室壁に対してMモードカーソ

BS = bachelor of science.

国立循環器病センター 生理機能検査部, *内科心臓部門: 〒565-8565 大阪府吹田市藤白台5-7-1

Department of Clinical Physiology, *Cardiology Division of Medicine, National Cardiovascular Center, Osaka

Address for reprints: NAKATANI S, MD, FJCC, Cardiology Division of Medicine, National Cardiovascular Center, Fujishiro-dai 5-7-1, Suita, Osaka 565-8565

Manuscript received July 26, 2000; revised October 10, 2000; accepted October 11, 2000

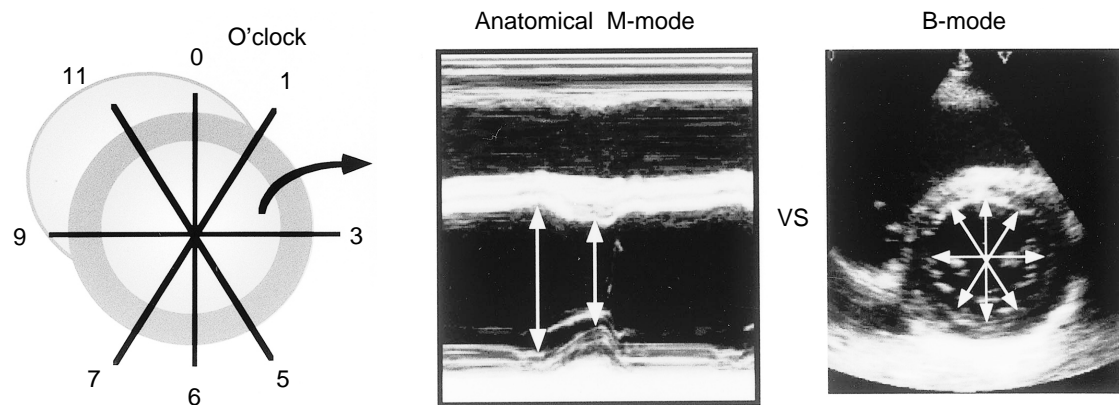


Fig. 1 Measurements of left ventricular internal diameter obtained by anatomical M-mode echocardiography in 4 directions (0 to 6, 3 to 9, 1 to 7 and 5 to 11 o'clock) compared with B-mode measurements

Left: Left ventricular short-axis image and 4 directions. *Middle:* Anatomical M-mode echocardiogram. *Right:* Measurements on the B-mode image using calipers.

ルを垂直に投射できない場合には、Mモード心エコー図法による計測をあきらめざるをえず、また同じ理由により左室短軸像で左室の横径を計測することは不可能であった。

最近、断層像の情報を周波数と振幅の情報(RFデータ)の形式で保存し、再生の際にコンピューターを用いて画像を再構築する新しいシステムが開発され、市販の超音波診断機器に搭載されるようになった。このシステムを用いれば、断層像を記録後、画像再構築の際にMモードカーソルを任意の部位に設定してMモード画像を得ることが可能であり(アナトミカルMモード法)、あらゆる部位でのMモード計測が可能となる。この手法が臨床例でも応用可能であれば、カーソル設定方向の制限という従来のMモード心エコー図法の欠点を解決し、高い精度で左室径の計測およびそれをを用いた心機能評価が可能になるとと思われる。本研究ではアナトミカルMモード法の精度を臨床例において検討することを目的とした。またその際、心内膜面の描出に優れているとされるハーモニクイメージング法^{7,8)}を併用することにより、より信頼性の高い計測値が得られるか否かについても併せて検討した。

対象と方法

1. 対象

健常例8例(全例男性, 平均年齢 29 ± 2 歳), 心疾患例14例(男性11例, 女性3例, 平均年齢 63 ± 6 歳)を対象とした。心疾患例の内訳は虚血性心疾患8例, 心筋症4例, 弁膜症2例であった。

2. 心エコー図法

VINGMED SOUND製 System FIVE 1.3 (Horten製)および2.5MHz フェーズドアレー型探触子を用いて腱索レベル左室短軸断層像を描出した。この際、2.5MHz 送受信の従来法と1.7MHz送信, 3.4MHz受信のハーモニクイメージング法の2方法で記録した。フレームレートは視野深度に応じて若干異なり、約60-90/secであった。記録した左室短軸像において0-6時, 3-9時, 1-7時, 5-11時のそれぞれの方向における左室拡張末期径, 収縮末期径をアナトミカルMモード法を用いて計測した。ここでいう拡張末期は心電図R波の頂点とし、収縮末期は左室内径が最も小さくなる時点とした。比較対照として、同一時相における各方向の心室内径を断層像において超音波診断装置内蔵のキャリパーで計測した(Fig. 1)。なお、断層像における計測点は心内膜面の内側から内側とした。

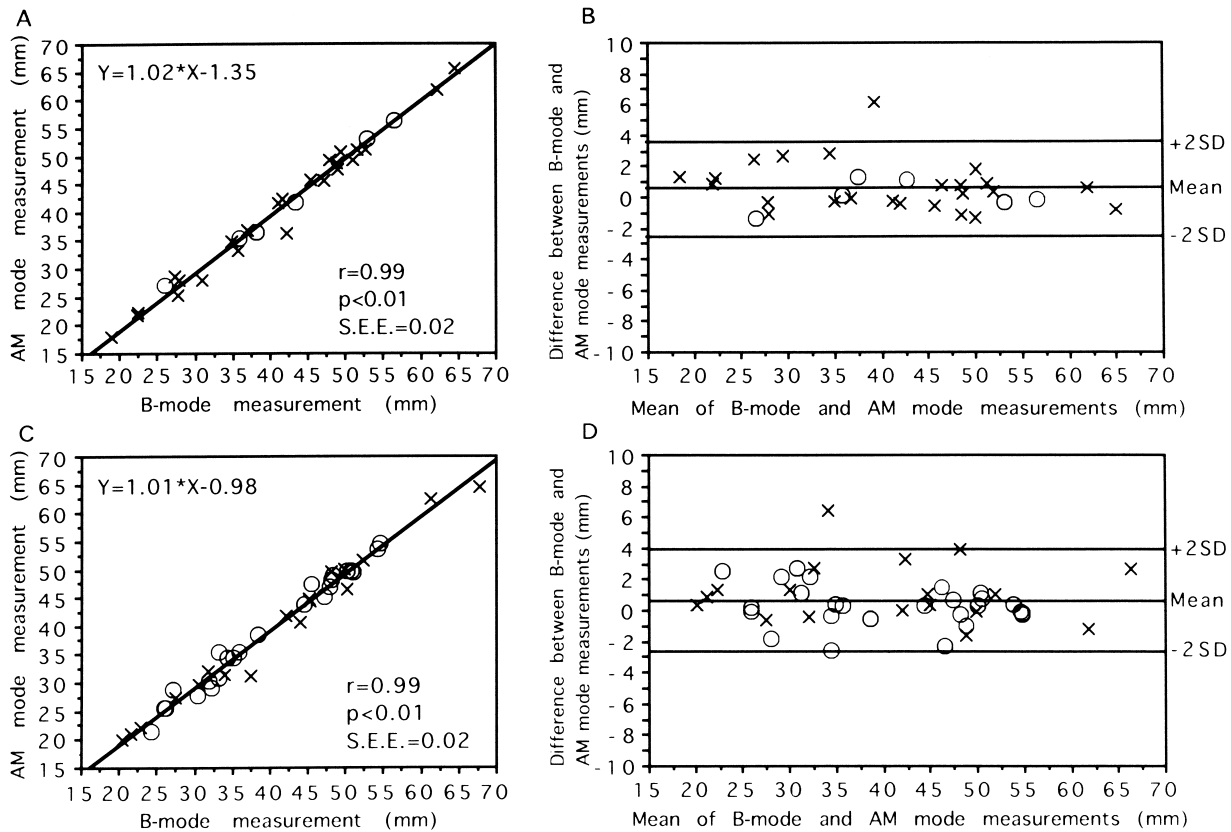


Fig. 2 Relationships between anatomical M-mode and B-mode measurements in the 0 to 6 o'clock direction (A, C) and Bland-Altman analyses (B, D)

A and B: Fundamental imaging. C and D: Harmonic imaging. Open circles denote cases with optimal image quality and cross marks denote cases with suboptimal image quality. AM = anatomical M.

3. 統計

計測値の比較には直線回帰法を用い、計測値の一致をみるためにはBland-Altmanの方法⁹⁾を用いた。2群間の検定にはpaired *t* 検定を用い、*p* < 0.05を有意差の判定とした。

全例のうち10例を無作為に抽出し、左室拡張末期径、収縮末期径につき熟練検査者2名による計測値の誤差(検査者間変動)と同一検査者による2回測定誤差(検査者内変動)を評価した。計測は1-7時方向とし、アナトミカルMモード法と断層法とで比較した。また、ハーモニックイメージング法併用時の差異も検討した。計測誤差の評価には2回の計測値を直線回帰し、その相関係数と誤差率(2回の計測値の差を初回計測値で除した値を%表示)を用いた。

結 果

22例全例で0-6時, 3-9時, 1-7時, 5-11時方向

の計測が可能であった。断層法計測とアナトミカルMモード法計測との関係を、Mモード法で通常に計測される0-6時方向、および通常のMモード法では計測することのできない3-9時方向について、それぞれFigs. 2, 3に示す。0-6時方向はもちろん、3-9時方向でもアナトミカルMモード法での計測精度は良好であった。Table 1に各方向での断層法とアナトミカルMモード法との計測値の比較を示す。3-9時方向で他に比べてやや相関が劣ったものの、各方向とも両計測値は良い一致と相関を示した。

またこれらの相関はハーモニックイメージング法を併用することにより、さらに良好になった。断層法とアナトミカルMモード法での計測値間の誤差をTable 2に示す。0-6時方向で 0.6 ± 1.5 , 3-9時方向で -2.8 ± 6.5 , 5-11時方向で 0.8 ± 2.4 , 1-7時方向で -0.02 ± 1.6 mmと、やはり3-9時方向の誤差が他の3方向より有意に大きくなる傾向にあった(*p* <

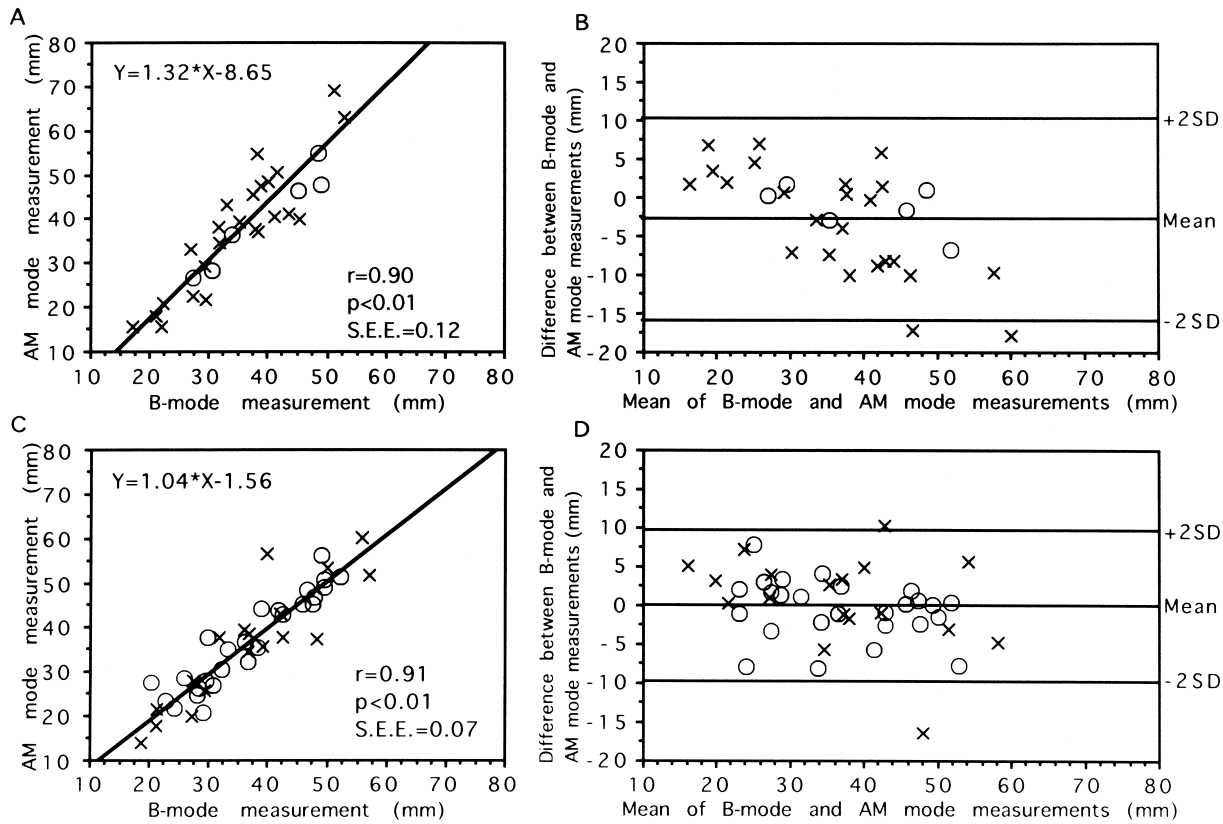


Fig. 3 Relationships between anatomical M-mode and B-mode measurements in the 3 to 9 o'clock direction (A, C) and Bland-Altman analyses (B, D)

A and B: Fundamental imaging. C and D: Harmonic imaging. Open circles denote cases with optimal image quality and cross marks denote cases with suboptimal image quality. Abbreviation as in Fig. 2.

0.05). また, ハーモニックイメージング法を併用することにより両法の誤差は, 0-6時方向で 0.7 ± 1.7 , 3-9時方向で 0.08 ± 4.8 , 5-11時方向で 0.5 ± 1.4 , 1-7時方向で 0.1 ± 2.0 mm となり, 3-9時方向の誤差が有意ではないものの, 小さくなる傾向を示した.

つぎに断層像での画質が測定誤差に及ぼす影響を調べるため, 左室短軸断層像の画質により, 像を良好群と非良好群に分類して検討した. ここで良好群は心内膜面が全周にわたって明瞭に描出されている例, 非良好群はそれ以外の例とした. 従来法で計測した15例のうち良好群は3例, 非良好群は12例であったが, ハーモニックイメージング法を併用した22例では良好群13例, 非良好群9例と, 描出良好例が多くなった. Table 3に断層法とアナトミカルMモード法による計測値の誤差を示す. 従来法では, 良好群に比べて

非良好群で誤差が大きく, とくに3-9時方向の誤差が大であった. これに対してハーモニックイメージング法を併用すれば, 非良好群における誤差が小さくなり, とくに3-9時方向での改善が認められた. しかし, いずれの傾向にも有意差は認められなかった.

2人の検者による計測値の相関係数(誤差率)はアナトミカルMモード法で $0.98(0.1 \pm 5.9\%)$, 断層法で $0.9(1.0 \pm 4.7\%)$, ハーモニックイメージング法を併用した場合にはアナトミカルMモード法で $0.99(1.4 \pm 5.5\%)$, 断層法で $0.98(1.6 \pm 2.7\%)$ であった.

同一検者による計測値の相関係数(誤差率)はアナトミカルMモード法で $0.99(0.9 \pm 4.0\%)$, 断層法で $0.98(1.2 \pm 3.2\%)$, ハーモニックイメージング法を併用した場合にはアナトミカルMモード法で $0.99(0.9 \pm 3.8\%)$, 断層法で $0.98(0.4 \pm 3.5\%)$ であった.

Table 1 Correlation coefficients between anatomical M-mode and B-mode measurements

	0 - 6 o'clock		3 - 9 o'clock		5 - 11 o'clock		1 - 7 o'clock	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Fundamental imaging	0.99	<0.01	0.90	<0.01	0.98	<0.01	0.99	<0.01
Harmonic imaging	0.98	<0.01	0.91	<0.01	0.99	<0.01	0.99	<0.01

Table 2 Differences between B-mode and anatomical M-mode measurements

	B-AM mode(mm)		95% CI(mm)		95% LA(mm)	
	F(n = 15)	H(n = 22)	F	H	F	H
0 - 6 o'clock	0.6 ± 1.5	0.7 ± 1.7	0.02 - 1.2	0.2 - 1.2	- 2.5 - 3.7	- 2.6 - 4.0
3 - 9 o'clock	- 2.8 ± 6.5*	0.08 ± 4.8	- 5.2 - - 0.3	- 1.4 - 1.6	- 15.8 - 10.3	- 9.6 - 9.7
5 - 11 o'clock	0.8 ± 2.4	0.5 ± 1.4	0.06 - 1.7	0.02 - 0.9	- 4.0 - 5.6	- 2.4 - 3.3
1 - 7 o'clock	- 0.02 ± 1.6	0.1 ± 2.0	- 0.6 - 0.6	- 0.5 - 0.7	- 3.2 - 3.2	- 3.9 - 4.1

Continuous values are mean ± SD. *p < 0.05 vs other 3 directions.

B-AM mode = B-mode and anatomical M-mode measurements; 95%CI = 95% confidence interval; 95% LA = 95% limits of agreement; F = fundamental imaging; H = harmonic imaging.

Table 3 Comparison of the differences in B-mode and anatomical M-mode measurements between patients with optimal images and those with suboptimal images

	B-AM mode(mm)				95% LA(mm)			
	F		H		F		H	
	O (n = 3)	S (n = 12)	O (n = 13)	S (n = 9)	O (n = 3)	S (n = 12)	O (n = 13)	S (n = 9)
0 - 6 o'clock	0.2 ± 1.0	0.7 ± 1.6	0.4 ± 1.3	1.2 ± 2.0	- 1.8 - 2.2	- 2.5 - 4.0	- 2.3 - 3.0	- 2.7 - 5.2
3 - 9 o'clock	- 1.2 ± 3.2	- 3.1 ± 7.1	- 0.4 ± 3.8	0.8 ± 6.0	- 7.6 - 5.1	- 17.4 - 11.1	- 8.1 - 7.2	- 11.3 - 12.8
5 - 11 o'clock	1.4 ± 2.4	0.7 ± 2.4	0.5 ± 1.2	1.4 ± 1.7	- 3.4 - 6.1	- 4.2 - 5.6	- 2.0 - 3.0	- 3.0 - 3.9
1 - 7 o'clock	- 0.3 ± 1.3	0.05 ± 1.7	0.3 ± 1.9	- 0.2 ± 2.2	- 3.0 - 2.4	- 3.3 - 3.4	- 3.5 - 4.2	- 4.5 - 4.2

Continuous values are mean ± SD.

O = optimal image; S = suboptimal image. Other abbreviations as in Table 2.

考 察

1. 計測方向の影響

断層法とアナトミカルMモード法による4方向の左室内径は良好な相関と一致を示した。しかし、3・9時方向では他の3方向と比較して誤差が明らかに大であった。ハーモニックイメージング法を併用することにより各方向の相関係数はよりいっそう良好となり、従来法では誤差の大きかった3・9時方向でも両方法間の誤差は有意に小となった。従来法を用いた際に3・9時方向での誤差が大きかった理由としては、1)超音波法では側方分解能が劣るため、断層像・Mモード

ド像ともに心内膜面の描出不良例が多いこと、2)3・9時方向付近には弁下組織があるため、これをMモード上で心内膜面と誤って計測した可能性、などが考えられる(Fig. 4)。ハーモニックイメージング法を併用することにより心内膜面の描出が良好になって誤差が少なくなったものと思われる。これについてはStrotmannら¹⁰⁾もファントムを用いて同様の検討を行っており、Mモード法の角度補正は60°(本研究での2・8時方向から4・10時方向に相当)までにとどめることが望ましいこと、また誤差を小さくするためにハーモニックイメージング法を併用することを提唱している。

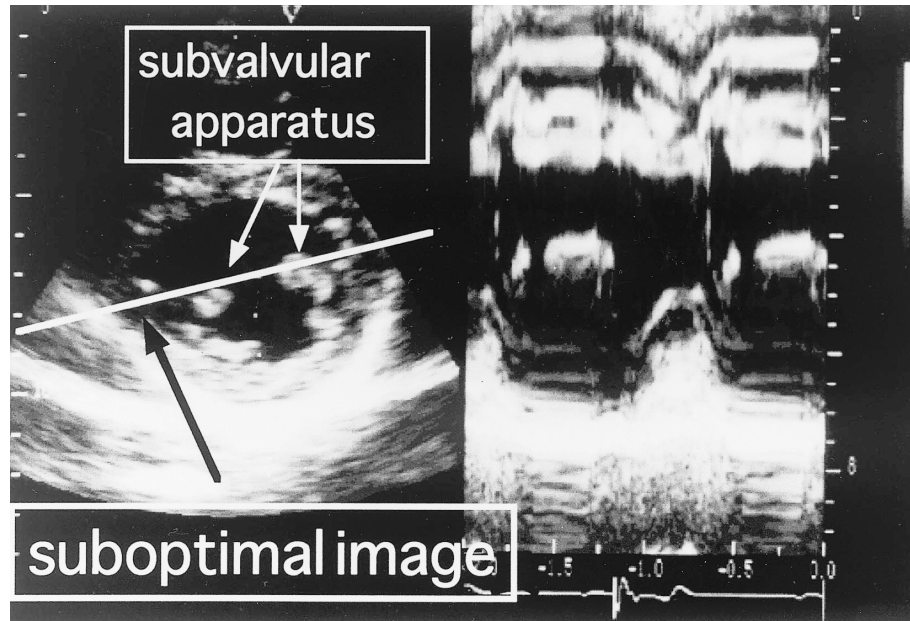


Fig. 4 Example of inappropriate measurement using anatomical M-mode echocardiography
This measurement in the 3 to 9 o'clock direction had suboptimal image quality due to inadequate lateral resolution and difficult differentiation of the subvalvular apparatus and the endocardium on the anatomical M-mode echocardiogram.

2. 画質の影響

断層像の情報からMモード画像を再構築するアナトミカルMモード法では、その精度が元々の断層像の画質に大きく影響されるものと思われる。そこで画質が精度にどうかかわるかを断層像の画質を良好、非良好の2群に分けて検討した。その結果、予測通り、良好群で断層法とアナトミカルMモード法での計測の誤差が小さい傾向にあった。また非良好群でもハーモニクイメージング法を使うことにより誤差は小さくなった。したがって、日常臨床においてアナトミカルMモード法を用いた計測は十分可能であるが、その際精度を上げるためには断層像が良好である例のみを選ぶこと、もし画質がそれほど良好でないならハーモニクイメージング法を併用するなどして画質を向上させてから計測を行うことが重要と考えられる。

3. 問題点

本研究では心室内径を断層法とアナトミカルMモード法で計測し比較した。その結果、誤差は0.6時方向でもたかだか2mmほどで、心室内径の計測においてはこの程度の誤差は臨床で大きな意味を持たないと思われる。しかし心室壁厚をこの手法で計測した

場合にその誤差がどの程度であるか、また、それが臨床的にどの程度の意義を有するかについては、今後の検討を待たねばならないであろう。

超音波の側方分解能は深度が深いほど低下してることが知られている¹¹⁾。このためStrotmannら¹⁰⁾はアナトミカルMモード法で計測を行う場合には15cm以内の深度で施行するのが望ましいとしている。本研究では深度が測定精度に及ぼす影響は検討していないが、対象は全例臨床例であり、いずれの計測も深度15cm以内で行われている。したがって、本研究で得られた測定値においては深度の影響は大きくないと思われる。

4. 臨床的意義

心機能の定量的評価には種々の手法があるが、心室径の計測はその基本であり、かつ心室容積や壁の動きなどの重要な情報を提供しうる。従来のMモード法ではMモードカーソルの方向に制限があったため、この手法を適用しうる症例に限界があった。本研究では断層像の画質が良好であり、また側方向でさえなければ、アナトミカルMモード法を用いて信頼できる内径計測値を得ることができることを示した。例えば、

S字状中隔例で従来のMモード法を用いると、左室内径を過大評価することがしばしば経験されるが、このような症例においてもアナトミカルMモード法を用いれば、正確な内径計測、さらには容積計測ができるものと思われる。また本手法を用いてさまざまな方向における左室内径短縮率を求めることにより、左室局所壁運動異常の定量評価にもつながることが期待される。

結 語

アナトミカルMモード法の測定精度とハーモニッ

クイメージング法の併用による効果を検討した。側方向(3・9時方向)に展開されたMモード像では測定誤差が大きくなったが、それ以外の各方向でのアナトミカルMモード法の測定精度は良好であった。また、断層像の画質が良好でない例でも誤差が大きかったが、このような例においてもハーモニクイメージング法を用いることにより、誤差を小さくすることができた。以上より、側方以外の方向で、かつ断層像の画質が良好である場合には、アナトミカルMモード法を用いて信頼できる内径計測値を得ることができるとが示された。

要 約

目 的: アナトミカルMモード法はハイフレームレートで取り込んだRF情報から画像を再構築するため、断層上で自由な方向にカーソルを設定してMモード画像を得ることができる。アナトミカルMモード法の精度を評価するため、断層法による計測値と比較した。また、計測値に対するハーモニクイメージング法の影響も検討した。

方 法: 健常例8例、各種心疾患14例を対象に腱索レベル左室短軸像を描出し、0・6時、3・9時、1・7時、5・11時の4方向において左室拡張末期径、収縮末期径を計測した。その際、ハーモニクイメージング法併用の効果を併せて検討した。

結 果: アナトミカルMモード法と断層法による左室内径は、従来法のハーモニクイメージング法の併用にかかわらず、いずれの方向でも良好な一致と相関を示した($r = 0.90 - 0.99$)。アナトミカルMモード法と断層法の計測誤差は3・9時方向で、他の3方向より有意に大となった($p < 0.05$)。ハーモニクイメージング法を併用することにより、両計測値間の誤差に有意差は認められなかったものの、小さくなる傾向を示した。また、断層像において心内膜面の描出が良好な例では、アナトミカルMモード法と断層法の計測誤差が小さくなる傾向を示した。

結 論: アナトミカルMモード法により、あらゆる方向の左室内径を精度よく計測することが可能であった。ただし、側方向(3・9時方向)の計測では誤差が大きくなった。また、断層像の画質が良好でない例でも誤差は大きいですが、ハーモニクイメージング法の併用により計測精度は向上させることが可能であると考えられた。

J Cardiol 2001; 37(1): 35 - 42

文 献

- 1) Broderick TM, Bourdillon PD, Ryan T, Feigenbaum H, Dillon JC, Armstrong WF: Comparison of regional and global left ventricular function by serial echocardiograms after reperfusion in acute myocardial infarction. *J Am Soc Echocardiogr* 1989; **2**: 315 - 323
- 2) Feigenbaum H: Role of echocardiography in acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1990; **66**: 17H - 22H
- 3) Guth B, Savage R, White F, Hagan A, Samtoy L, Bloor C: Detection of ischemic wall dysfunction: Comparison between M-mode echocardiography and sonomicrometry. *Am Heart J* 1984; **107**: 449 - 457
- 4) Wong M, Shah PM, Taylor RD: Reproducibility of left ventricular internal dimensions with M mode echocardiography: Effects of heart size, body position and transducer angulation. *Am J Cardiol* 1981; **47**: 1068 - 1074
- 5) Stefadouros MA, Canedo MI: Reproducibility of echocardiographic estimates of left ventricular dimensions. *Br Heart J* 1977; **39**: 390 - 398
- 6) Clark RD, Koruska K, Cohn K: Serial echocardiographic evaluation of left ventricular function in valvular disease, including reproducibility guidelines for serial studies. *Circulation* 1980; **62**: 564 - 575
- 7) Kornbluth M, Liang DH, Paloma A, Schnittger I: Native tissue harmonic imaging improves endocardial border definition and visualization of cardiac structures. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; **11**: 693 - 701

J Cardiol 2001; 37: 35-42

- 8) Spencer KT, Bednarz J, Rafter PG, Korcarz C, Lang RM: Use of harmonic imaging without echocardiographic contrast to improve two-dimensional image quality. *Am J Cardiol* 1998; **82**: 794 - 799
- 9) Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; : 307 - 310
- 10) Strotmann JM, Escobar Kivitting JP, Wilkenshoff UM, Wranne B, Hatle L, Sutherland GR: Anatomic M-mode echocardiography: A new approach to assess regional myocardial function: A comparative in vivo and in vitro study of both fundamental and second harmonic imaging modes. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; **12**: 300 - 307
- 11) Bom N, Ligtvoet CM: Principles of cardiac ultrasound. *in* *Ultrasound in Echocardiology*(ed by Roelandt JRTC, Sutherland GR, Illicito S, Linker DT). Churchill & Livingstone, Edinburgh, 1993; pp 9 - 20