

携帯型心臓超音波診断装置の診断精度と有用性

Accuracy and Usefulness of Ultraportable Hand-Carried Echocardiography System

大山 力丸
村田 和也
田中 伸明
高木 昭
木村 和美
上田 佳代
劉 金耀
和田 靖明
原田 希
松崎 益徳

Rikimaru OHYAMA, MD
Kazuya MURATA, MD
Nobuaki TANAKA, MD
Akira TAKAKI, MD
Kazumi KIMURA, MD
Kayo UEDA, MD
Jinyao LIU, MD
Yasuaki WADA, MD
Nozomu HARADA, MD
Masunori MATSUZAKI, MD, FJCC

Abstract

Objectives. The diagnostic accuracy and usefulness of an ultraportable hand-carried echocardiography system were investigated for assessing ventricular systolic function and severity of mitral valvular regurgitation.

Methods. The study population consisted of 77 consecutive patients (47 men, 30 women, mean age 63 ± 15 years). Left ventricular end-diastolic dimension, left ventricular end-systolic dimension and left ventricular ejection fraction were measured using the hand-carried echo system and the data were compared with measurements by the conventional echocardiography system using simple linear regression analysis. Left ventricular wall motion was compared between the systems using a 16-segment model recommended by the American Society of Echocardiography. Severity of mitral regurgitation was assessed by the distance of the regurgitant signal in the left atrium.

Results. Left ventricular end-diastolic dimension, left ventricular end-systolic dimension and left ventricular ejection fraction showed good correlations between hand-carried and conventional echo systems ($r = 0.94, 0.91$ and 0.81 , respectively; each $p < 0.0001$). The accuracy for assessing left ventricular wall motion was 94% (449 of 480 segments). The echo systems also showed the same degree of diagnostic accuracy for severity of mitral regurgitation.

Conclusions. The hand-carried echo system provides accurate assessment of left ventricular function and mitral regurgitation similar to conventional echo machines.

J Cardiol 2001; 37(5): 257-262

Key Words

Echocardiography, transthoracic (ultraportable)
Doppler ultrasound (directional color power Doppler)

Mitral regurgitation
Ventricular function

はじめに

デジタルエコーイメージングの進歩に伴い、ハーモ

ニックイメージングによる超音波画像の改善^{1,2)}や新しい心機能評価法の開発が進められる一方で、超音波診断装置の小型・軽量化も進められてきた。最近、フ

山口大学医学部 第二内科: 〒755-8505 山口県宇部市南小串1-1-1

The Second Department of Internal Medicine, Yamaguchi University School of Medicine, Yamaguchi

Address for correspondence: OHYAMA R, MD, The Second Department of Internal Medicine, Yamaguchi University School of Medicine, Minamikogushi 1-1-1, Ube, Yamaguchi 755-8505

Manuscript received December 27, 2000; revised February 14, 2001; accepted February 27, 2001

ルデジタル心臓超音波診断装置(SonoHeart)が開発された。この装置は従来の“携帯型”超音波診断装置に比べて総重量は約2.4kgと小型軽量化されたとともに、高度な画像処理を行うことで優れた空間分解能、コントラスト分解能を有し、高画質の画像を得ることができる。また方向性カラーパワードップラー(directional color power Doppler)により血流の表示が可能であり、カラードップラー法擬似の血流情報を得ることができるのも本装置の特徴の一つである。しかしながら、携帯性を優先するがゆえにモニターは液晶5inchと小型化され、搭載できる機能には限界が生じる。同様に装置の小型軽量化に伴う診断精度の低下も懸念されている。本研究では、携帯型心臓超音波診断装置の左室機能計測、左室壁運動評価および僧帽弁逆流検出の精度を評価し、本装置の診療的有用性を検討した。

対象と方法

1. 対象

健常人および各種心疾患患者連続77例(男性47例, 女性30例, 平均年齢 63 ± 15 歳)を対象とした。各疾患群の内訳は高血圧症9例, 狭心症9例, 心筋梗塞症13例(急性2例, 陳旧性11例), 弁膜症8例(重症僧帽弁閉鎖不全症1例, 大動脈弁閉鎖不全症2例, 大動脈弁狭窄症1例, 弁置換術後4例), 不整脈疾患6例, 心筋疾患2例, 大動脈疾患3例, 先天性心疾患1例, 心膜疾患2例, 心疾患以外の疾患および健常人24例である。なお, 軽症から中等症を含む僧帽弁閉鎖不全症は21例の患者で認められ, 僧帽弁閉鎖不全症の重症度評価に用いた。

2. 使用装置

携帯型心臓超音波装置はSonoSite製SonoHeartを用いた。電子コンベックス走査で, 探触子は2-4MHz(平均2.6MHz)である。液晶5inchモニターで, 表示モードはBモードと方向性カラーパワードップラーによるカラーモードの2種類がある。方向性カラーパワードップラー法は血流の平均速度をカラー表示するカラードップラー法とは異なり, 瞬時の赤血球からの反射信号の強さの分布を表示している。通常のカラードップラー法と比較して, 1)低速度血流の検出に優れる, 2)ノイズに強い, 3)角度依存性が少ない, 4)折り返し現象がみられないなどの優位点を持つ。

対象とした従来の心臓超音波装置はAloka製SSD2200, 5500(探触子2.5MHz), VINGMED製SystemV(探触子2.5MHz), Agilent Technologies製SONOS 5500(探触子2.5MHz)およびHITACHI製EUB-8000CV(探触子2.5MHz)を使用した。

3. 左室機能計測

左室機能計測は傍胸骨左室長軸断層像で行い, 携帯型超音波診断装置で左室拡張末期径(left ventricular end-diastolic dimension: LVEDd; mm), 左室収縮末期径(left ventricular end-systolic dimension: LVESd; mm)を測定し, 左室駆出率(left ventricular ejection fraction: LVEF; %)をTeichholzの式により算出した。その後, 従来型超音波診断装置で同様の計測を実施した。なお, 携帯型には心電図表示機能が搭載されていないため, Bモードでフリーズした画像を1フレームごとに進めながら視覚的に決定した左室の最大径, 最小径をそれぞれLVEDd, LVESdとして計測を行った。

4. 左室局所壁運動異常の評価

左室の局所壁運動の比較は, American Society of Echocardiographyの提唱する16分節モデル³⁾を用いて壁運動異常の評価を行い整合性を検討した。対象は, 急性心筋梗塞, 陳旧性心筋梗塞, 狭心症(すべて疑い症例も含む)などの冠動脈疾患に伴う壁運動異常を有すると思われる症例を用いた。携帯型と従来型とで完全に壁運動評価の一致した分節数を全患者の総分節数で除し, 一致率を算出した。

5. 僧帽弁閉鎖不全症の重症度評価

僧帽弁逆流の検出は従来型ではカラードップラー法を, 携帯型では方向性カラーパワードップラー法を用いて行った。対象患者のうち僧帽弁逆流を有する患者に関しては, それぞれの装置で左房内での僧帽弁逆流ジェットの到達距離に基づき視覚的な僧帽弁逆流の重症度評価を行った。僧帽弁逆流ジェット面積が最も大となる断面(傍胸骨左室長軸断層像もしくは四腔断層像)で僧帽弁逆流ジェットを描出し, その到達距離が3分割した左房の僧帽弁側から1/3までを軽度, 2/3までを中等度, 2/3以上を重度と評価した^{4,5)}。

6. 評価の再現性

検者間の左室径計測における再現性の評価は、同一患者の LVEDd, LVESd を検者 A および 10 年以上の経験を有する心臓超音波検査を専門とする検者 B が、おのおの携帯型心臓超音波装置を用いて計測し、計測値に対して単回帰分析を行った。

同一検者での左室径計測の再現性の評価は、同一患者の LVEDd, LVESd を初日と 2 日目の 2 回計測し、計測値に対して単回帰分析を行った。

7. 統計処理

すべての結果は平均 ± 標準偏差で表した。LVEDd, LVESd, LVEF に関しては、携帯型、従来型による計測値に対して単回帰分析, Bland-Altman 分析を行った⁶⁾。

結 果

1. 左室機能計測

対象者 70 例において携帯型および従来型心臓超音波診断装置により計測した LVEDd, LVESd は、それぞれ $r = 0.94 (p < 0.0001)$, $r = 0.91 (p < 0.0001)$ と高い相関を示した。LVEF の両者における相関係数は $r = 0.81 (p < 0.0001)$ であった (Fig. 1)。

Bland-Altman 分析 (Fig. 2) の結果, LVESd は LVEDd と比較して、差異のばらつきが大であった (LVEDd: $-0.61 \pm 4.3 \text{ mm}$, LVESd: $0.11 \pm 7.2 \text{ mm}$)。

2. 左室局所壁運動異常の評価

左室局所壁運動に関しては、対象者 30 例において局所壁運動評価が完全に一致した箇所は 480 分節中 449 分節であり、一致率は 94% であった。

3. 僧帽弁閉鎖不全症の重症度評価

視覚的な僧帽弁閉鎖不全症の重症度評価に関しては、21 例中 1 例を除いて従来型での評価と一致した (Fig. 3)。

4. 再現性

2 検者間で 20 例の対象に対して行った検討では、LVEDd, LVESd はそれぞれ $r = 0.94 (p < 0.0001)$, $r = 0.88 (p < 0.0001)$ と高い相関が認められた (Fig. 4)。また同一検者が 10 例の対象に対して行った検討では、

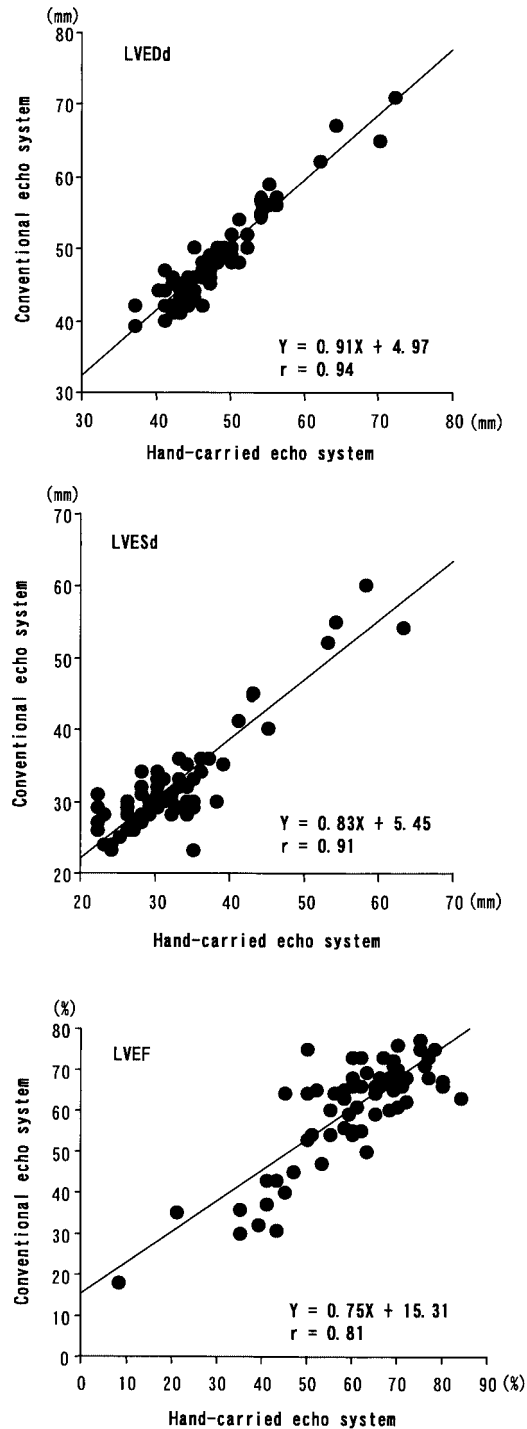


Fig. 1 Correlation plots comparing left ventricular end-diastolic dimension (upper), end-systolic dimension (middle) and ejection fraction (lower) measured by the hand-carried echocardiography system and the conventional echocardiography system
 LVED(S)d = left ventricular end-diastolic (end-systolic) dimension; LVEF = left ventricular ejection fraction.

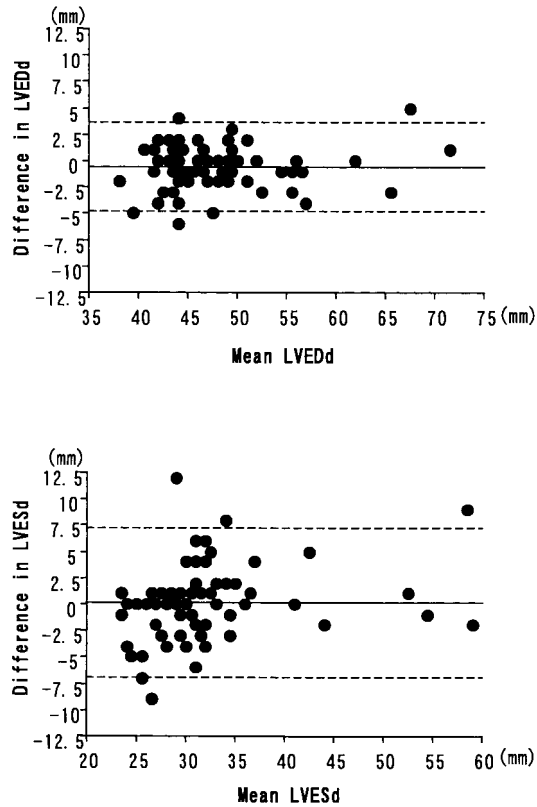


Fig. 2 Bland-Altman plots showing the mean difference (heavy lines) and the limits of agreement (broken lines) between the left ventricular end-diastolic and end-systolic dimensions measured by the hand-carried echocardiography system and the conventional echocardiography system. Abbreviations as in Fig. 1.

初日および2日目のLVEDd, LVESdはそれぞれ $r = 0.90$ ($p < 0.0001$), $r = 0.95$ ($p < 0.0001$)と同様の高い相関を示した (Fig. 5).

考 察

1. 診断精度と有用性

携帯型心臓超音波診断装置はフルデジタル技術を導入し、高度な画像処理を施すことで優れた空間分解能、コントラスト分解能を発揮して液晶5inchモニターながら高画質を得ることができる。その左室機能計測、左室局所壁運動評価に関しては、Figs. 1, 2に示すように、従来型と良好な相関性がみられ、従来型と比較して遜色のない診断精度を有していると考えられる。僧帽弁逆流の評価に関しては症例が少ないため詳細な検討には至っていないが、Fig. 3に示すように軽症例、

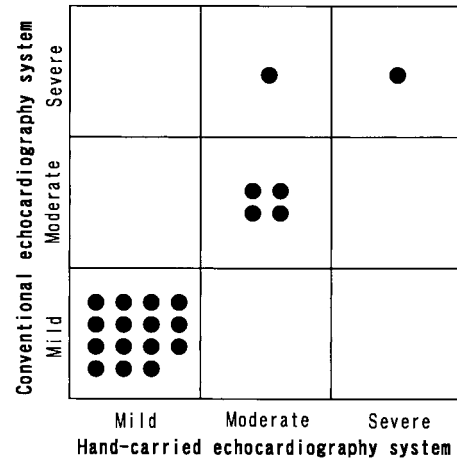


Fig. 3 Severity of mitral regurgitation

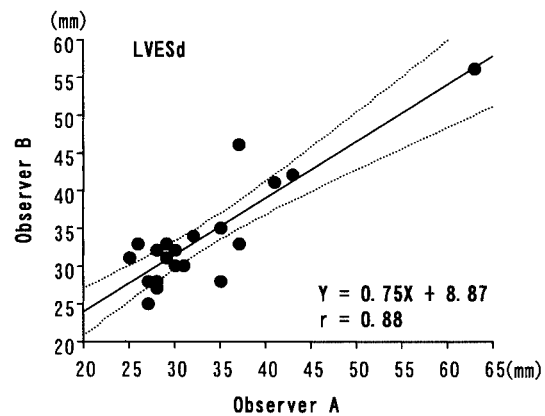
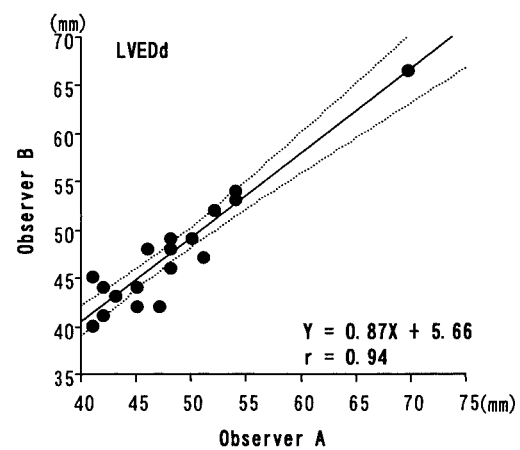


Fig. 4 Interobserver reproducibility for the hand-carried echocardiography system

Correlation plots comparing left ventricular end-diastolic and end-systolic dimensions measured by observer A and observer B.

Abbreviations as in Fig. 1.

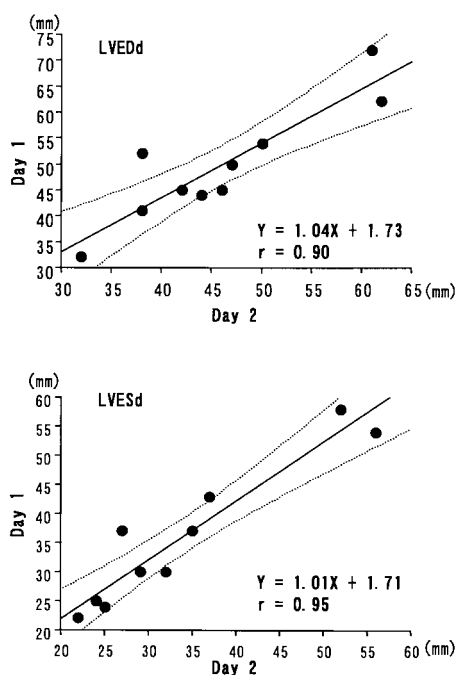


Fig. 5 Intraobserver reproducibility for the hand-carried echocardiography system

Correlation plots comparing left ventricular end-diastolic and end-systolic dimensions measured by the same observer at intervals of one day.

Abbreviations as in Fig. 1.

中等症例についてはその存在診断および重症度評価は十分に行えた。また2検者間、同一検者間の計測値の比較においても、高い再現性が認められ(Figs. 4, 5), 検者の熟練度に大きな影響を受けることなく一様な精度で計測を行えた。

初期診療の現場で携帯型心臓超音波診断装置に求められるものは即時性と簡便性であり、今回の検討ではその要求に答えられる携帯型の性能の高さが示された。高画質に加え、小型で可搬性に優れるため、バッテリー駆動により場所を選ばず、どこでも検査が実施可能である。したがって、検査室のみならず病棟や外来診察室において簡便なスクリーニング検査を行うことができ、日常診療における有用性は非常に高いと考えられる。

2. 限界と問題点

携帯性を最優先した構造上、モニターの縮小化は避けられず、また心電図表示機能、Mモード、パルス・ドップラーおよび連続波ドップラーなどの搭載機

能に制限があるという問題点が存在する。本研究では携帯型と従来型でのLVESd, LVEFの相関係数は、LVEDdに比べて低値であった。心室径計測の誤差要因として、今回の検討は連続症例で行ったため、被検者の中には描出不良な例も含まれていたことが挙げられる。全77例のうち両装置においてLVEDd計測では5例が、LVESd計測では8例が描出困難であり、携帯型に限ればLVESd計測で総計12例において描出不良であった。それらの症例は本来ならば超音波検査による評価の対象にすべきではないと思われる。しかし、描出不良であることを考慮しても、LVESd計測はLVEDd計測よりも乳頭筋、腱索などの解剖学的影響を受けやすく、描出不良例においてはその傾向がいっそう強まるためであると考えられる。また装置の性能面からは、1)心電図表示、Mモード表示ができないため正確な時相決定が困難、2)sensitivity time controlの細かい調節ができない、3)深触子の周波数の細かい調節が困難、などの理由が考えられる。さらに、描出不良例においては画面の小さいことやMモード表示ができないことが心内膜同定の際に影響するであろう。

壁運動評価および僧帽弁逆流の評価では少数例において従来機種での評価と異なる評価が得られたが、いずれの例も描出不良例であり、画像解像度、サイズに起因する本装置の限界と思われる。また、僧帽弁逆流の評価においては血流の表示は可能であるが、カラーエリアの範囲が固定であるため、重度の弁逆流では逆流血流をすべてエリア内に収めるのは困難となることも理由として挙げられる。

今後もこれらの問題点と診断精度との関係を慎重に検討しながら携帯型を使用していく必要があると思われる。しかしながら、基本的に携帯型の使用を診療上のスクリーニングに限定し、そこで指摘された異常に関して従来型で精密検査を行うのであれば、先に述べたような問題点はあまり重要ではなくなるであろう。

結 論

携帯型心臓超音波診断装置は従来型とほぼ同等の精度で、再現性が良く、左室径、壁運動異常、僧帽弁逆流を評価することが可能であった。その高い可搬性から病棟や外来診察室における簡便なスクリーニング検査としての有用性は非常に高く、救急医療、災害医療、在宅医療などの現場で有用な検査手段と考えられる。

要 約

目 的: 携帯型心臓超音波診断装置の左室機能計測, 左室壁運動評価, 僧帽弁逆流血流検出の精度に関して検討を行った。

方 法: 健康人および各種心疾患患者連続77例(男性47例, 女性30例, 平均年齢 63 ± 15 歳)を対象とした。携帯型(SonoHeart)および従来型超音波診断装置で, 左室拡張末期径, 左室収縮末期径, 左室駆出率を測定し, 単回帰分析を行った。左室壁運動の比較はAmerican Society of Echocardiographyの提唱する16分節モデルを用い, 壁運動評価の整合性を検討した。また, 対象者のうち僧帽弁逆流を有する患者では, 左房内での僧帽弁逆流ジェットの到達距離に基づいて視覚的な僧帽弁逆流の重症度評価を行った。

結 果: 左室拡張末期径, 左室収縮末期径, 左室駆出率それぞれの相関係数は $r = 0.94, 0.91, 0.81$ (それぞれ $p < 0.0001$)と高い相関を示した。左室壁運動に関しては, 対象者30例, 計480分節のうち, 壁運動評価の完全に一致した箇所は449分節であり, 一致率は94%であった。また, 視覚的な僧帽弁逆流の重症度に関する従来型とほぼ同様の診断が得られた。

結 論: 携帯型心臓超音波診断装置は従来型とほぼ同等の精度で左室機能計測, 左室壁運動評価および僧帽弁逆流血流の検出が可能であり, 病棟や外来診察室における簡便なスクリーニング検査としての有用性は非常に高いと考えられる。

J Cardiol 2001; 37(5): 257 - 262

文 献

- 1) Thomas JD, Rubin DN: Tissue harmonic imaging: Why does it work? *J Am Soc Echocardiogr* 1998; **11**: 803 - 808
- 2) Caidahl K, Kazzam E, Lidberg J, Neumann Andersen G, Nordanstig J, Rantapaa Dahlqvist S, Waldenstrom A, Wikh R: New concept in echocardiography: Harmonic imaging of tissue without use of contrast agent. *Lancet* 1998; **352**: 1264 - 1270
- 3) Schiller NB, Shah PM, Crawford M, DeMaria A, Devereux R, Feigenbaum H, Gutgeseli H, Reichek N, Sahn D, Schnittger I, Silverman NH, Tajik AJ: Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography: American Society of Echocardiography Committee on Standards, Subcommittee on Quantitation of Two-Dimensional Echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr* 1989; **2**: 358 - 367
- 4) Ohwa M, Sakakibara H, Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Ueda E, Funahashi T, Nakasone I, Nimura Y: Mitral regurgitation: Detection and quantitative evaluation by two-dimensional Doppler echocardiography. *J Cardiol* 1985; **15**: 807 - 815 (in Jpn with Eng abstr)
- 5) Miyatake K, Izumi S, Okamoto M, Kinoshita N, Asonuma H, Nakagawa H, Yamamoto K, Takamiya M, Sakakibara H, Nimura Y: Semiquantitative grading of severity of mitral regurgitation by real-time two-dimensional Doppler flow imaging technique. *J Am Coll Cardiol* 1986; **7**: 82 - 88
- 6) Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; **1**: 307 - 310