

GUIDELINES AND STANDARDS

Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging

心腔計測におけるガイドライン 2015 年 ダイジェスト版

Roberto M. Lang, MD, FASE, FESC, Luigi P. Badano, MD, PhD, FESC, Victor Mor-Avi, PhD, FASE, Jonathan Afilalo, MD, MSc, Anderson Armstrong, MD, MSc, Laura Ernande, MD, PhD, Frank A. Flachskampf, MD, FESC, Elyse Foster, MD, FASE, Steven A. Goldstein, MD, Tatiana Kuznetsova, MD, PhD, Patrizio Lancellotti, MD, PhD, FESC, Denisa Muraru, MD, PhD, Michael H. Picard, MD, FASE, Ernst R. Rietzschel, MD, PhD, Lawrence Rudski, MD, FASE, Kirk T. Spencer, MD, FASE, Wendy Tsang, MD, and Jens-Uwe Voigt, MD, PhD, FESC, *Chicago, Illinois; Padua, Italy; Montreal, Quebec and Toronto, Ontario, Canada; Baltimore, Maryland; Crêteil, France; Uppsala, Sweden; San Francisco, California; Washington, District of Columbia; Leuven, Liège, and Ghent, Belgium; Boston, Massachusetts*

過去10年間の急速な科学技術の進歩ならびに、その進歩によってもたらされた心エコー法による診療の変化は、以前にアメリカ心エコー図学会とヨーロッパ心血管画像学会の合同グループが作成した心腔計測に関する勧告を改訂する必要性をもたらした。今回の勧告は、沢山のデータベースから集めた多数の正常例に基づいて更新された、4つの心腔の正常値を提供している。さらに、可能ならば、3次元心エコー、ストレインの正常値も提供している^a。さらに、以前のいくつかのガイドライン同士の間小さな矛盾をなくすように配慮した。

注意：

(ダイジェスト版：この日本語版は、ASE/EACVI が作成した心腔計測におけるガイドライン2015年版の重要な部分の翻訳である。ストレイン、3次元心エコーに関する記述は、翻訳対象から除外した。その理由は、ストレイン、3次元心エコー、我が国では日常診療にルチン作業として普及しているわけではないことに加え、またその正常値も広く受け入れられたものが存在しないことからである。また、最後に、日本人の正常値として JAMP 研究の数値を付録として掲載した。

ASE の原文は次の、URL より参照できる。

www.asecho.org/guidelines

This translation has been abbreviated to reflect current echocardiography practices in Japan where the strain measurement or 3-dimensional echocardiography is not so popular. To access the full document, visit www.asecho.org/guidelines.)

Drs Lang and Badano co-chaired the Writing Group. American Society of Echocardiography, 2100 Gateway Centre Boulevard, Suite 310, Morrisville, NC 27560 (E-mail: ase@asecho.org). 0894-7317/\$36.00
Copyright 2015 by the American Society of Echocardiography.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>

監訳 日本心エコー図学会ガイドライン作成委員会委員長
赤石 誠

翻訳 東海大学医学部 循環器内科 田代晃子、赤石 誠
慶應義塾大学医学部 循環器内科
平出貴裕、村田光繁
近畿大学医学部 循環器内科 山本裕美、平野 豊
聖マリアンナ医科大学 循環器内科
寺本佳楠子、鈴木健吾
徳島大学病院 循環器内科 楠瀬賢也、山田博胤
天理よろづ相談所病院 循環器内科
西村俊亮、坂本二郎、三宅 誠、泉 知里

^a しかし、今回の日本語訳では、3次元とストレインの正常値は省略した

Abbreviations	
AP	= Anteroposterior
ASE	= American Society of Echocardiography
BSA	= Body surface area
CMR	= Cardiac magnetic resonance
DTI	= Doppler tissue imaging
EACVI	= European Association of Cardiovascular Imaging
EDV	= End-diastolic volume
EF	= Ejection fraction
ESV	= End-systolic volume
FAC	= Fractional area change
GLS	= Global longitudinal strain
I-I	= Inner edge-to-inner edge
IVC	= Inferior vena cava
LA	= Left atrial
L-L	= Leading edge-to-leading edge
LV	= Left ventricular
MDCT	= Multidetector computed tomography
PW	= Pulsed-wave
RA	= Right atrial
RIMP	= Right ventricular index of myocardial performance
RV	= Right ventricular
RWT	= Relative wall thickness
STE	= Speckle-tracking echocardiography
TAPSE	= Tricuspid annular plane systolic excursion
TAVI	= Transcatheter aortic valve implantation
TAVR	= Transcatheter aortic valve replacement
TEE	= Transesophageal echocardiography
3D	= Three-dimensional
3DE	= Three-dimensional echocardiography
TTE	= Transthoracic echocardiography
2D	= Two-dimensional
2DE	= Two-dimensional echocardiography

目次	
はじめに	2
I 左室	3
1. 左室計測	3
1.1 内径の計測	3
1.2 容積の計測	3
1.3 断層心エコー法の正常値	3
報告	5
2. 左室の全体的な収縮機能	5
2.1 内径短縮率	5
2.2 駆出率	6
2.3 正常値	6
報告	6
3. 左室局所機能	6
3.1 左室の分画化 (segmentation)	6
3.2 視覚的評価	11
3.3 心筋梗塞と心筋虚血における局所壁運動	11
3.4 冠動脈疾患が存在しない中での局所的な異常	11
報告	11
4. 左室心筋重量 (LV mass)	11
報告	14
II 右室	14
5. 右室定量化における一般的な報告	14
6. 基本的なエコーウィンドウと画像	18
7. 右室計測	19
7.1 一次元計測法	19
7.2 容積計測	19
報告	19
8. 右室収縮能	20
8.1 RIMP	20
8.2 TAPSE	20
8.3 RV 2D FAC	20
8.4 組織ドプラ法による三尖弁輪側壁収縮速度	20
報告	21
III 左房と右房	21
9. 左房計測	21
9.1 左房計測における概論	21
9.2 左房径と左房面積の計測	21
9.3 左房容積の計測	21
9.4 左房計測値の正常値	21
報告	21
10. 右房計測	21
報告	22
IV 大動脈弁輪と大動脈基部	25
11. 大動脈弁輪	25
12. 大動脈基部	26
13. 大動脈基部拡大の評価	27
報告	27

V 下大静脈	28
文献	28
参考 日本人の正常値 (JAMP 研究)	34

はじめに

心臓の大きさと機能の定量化は、まさに心臓イメージングの基本といえる。その中で、心エコー法は最もよく用いられている非侵襲的検査である。その理由は、心臓をリアルタイムに観察できる特有の利点に加え、どんな施設でも実施可能であること (availability)、さらに持ち運びできてどこでも検査できるというフットワークの良さ (portability) のためである。学会ガイドラインの勧告を作成し普及させることにより、心腔を定量化する方法を標準化が広く行きわたった結果、多くの医師や技師がこの勧告に従うようになれば、計測値や評価に関するコミュニケーションが円滑に進むことになる。過去の心腔計測に関する勧告は、2005年にアメリカ心エコー学会 (ASE) およびヨーロッパ心エコー検査学会 (欧州心血管画像学会 EACVI に改称) によって発表されている^{1,2}。

その後、心エコー検査技術革新は続き、リアルタイム3次元 (3D) 心エコー検査 (3DE) とストレイン画像 (myocardial deformation imaging) の2つの大きな技術的な進歩があった。この勧告の目的は、これまでに発表されたガイドラインおよび報告内容と基準値を見直して更新し、過去のいくつかのガイドライン同士の間で存在していた不整合を解消することである。さらに可能な範囲内で、今回の改訂には3DEと心筋ストレインの正常値を含めている³。過去のガイドラインと同様に、本ガイドラインでも、基準値の信頼性をより向上させるために、複数のデータベースから集めた多くの正常値/基準値に基づいて、基準値を改訂した。

この文書で扱われているほとんどのテーマにおいて、執筆者達の間で大まかな合意が得られたが、その中でも、重症度を評価するカットオフ値の設定は、特に深く議論された重要項目であった。本改訂では検査者が、正常・異常 (基準値) として項目を記述することに加えて、軽度 (mild)・中等度 (moderate)・重度 (severe) といった用語で異常の程度 (測定値が正常からはずれた程度) を表現することを推奨している。心エコー検査室全体で、すべての測定項目について、標準データを提供するだけでなく、重症度のカットオフ値を標準化することは有用である。例えば、中等度に異常 (moderately abnormal) という語は、普遍的に同じ意味を有するべきである。但し、異常の程度の決定をする上では、方法論的に様々な制約があるので、そのカットオフ値の設定のために、異なるアプローチが使用されてもよい。

第一のアプローチは、健康な人々の集団から得られた基準の上限下限を標準偏差 SD に基づいて、軽度・中等度・重度の異常値のカットオフを経験的に定義することであろう。この方法の利点は、これらのデータが大部分の心エコー検査項目に対して容易に存在することである。しかし、このアプローチは根本的な欠陥がある。第1に、正常な集団であっても、すべての心エコー指標が正規分布 (またはガウス分布) であるとは限らないこと。第2に、たとえ特定の項目が正常な被験者に正常に分布していても、大部分の心エコーの項目は、一方向に有意な非対称分布 (大きさについては、異常に大きい。あるいは、機能的指標については、異常に低い) を有する。もう一つの方法は、

^b しかし、まだ我が国では、三次元心エコー法とストレインが日常臨床で十分に普及していないという事情から、今回の日本語訳では、その部分は省略した。(ガイドライン作成委員会)

健常人と疾患を有する人の両方を含む集団から得られた測定値のパーセンタイル値（例えば、95 番目、99 番目）に基づいて異常を定義することである。この方法は、正規分布せずに非対称分布をしている一般集団内に存在する異常の範囲を説明可能である。このアプローチの問題点は、そのような母集団データセットが、ほとんどの心エコー法の計測値において存在しないことである。

病態予後や生命予後を予測できるアプローチ法が理想のアプローチ法である。すなわち、正常値から外れた数値であると判定するための基準値を決めることは、その基準値を超えた患者が、特定の有害事象に対してリスクがあることを意味するということである。いくつかの指標（例えば、左室の大きさ、駆出率、左房容積）について、リスクと心臓の大きさを関連づける十分なデータが存在するが、それ以外の指標は、転帰との関連を示すに関するデータに乏しい。残念なことに、このアプローチにも限界がある。まず、最初に、いかに最適にリスクを定義するかである。同一の指標について示されたカットオフ値であっても、異なる患者集団や異なる疾患における異なるリスクとの関連であれば、そのカットオフの意義についても大きく異なることになる。

カットオフ値は専門家の経験に基づくコンセンサスによって決定されている。このことについて執筆グループメンバー間で広範に議論を加えた。科学的に厳密ではないアプローチに基づくカットオフ値を提供することは、心エコー検査の不利益になるという意見や、重症度を判定するためには、疾患毎に異なるアプローチが必要であるという意見もあった。他には、このようなカットオフ値が、心エコー検査報告書の統一基準を提供し、臨床医が参照し解釈しやすくなるという意見もあった。そこで妥協案として左室駆出率と左房容積についてのみ経験に基づいたカットオフ値を提供することにした。左室の大きさと心筋重量のカットオフ値は、本文ではなく、付録に掲載した。この観点から、このガイドラインで提供したすべてのカットオフ値の解釈は、慎重に行っていたいただきたい。

左室の大きさ、機能、重量、および左房容積以外の項目については、平均値と標準偏差、性別、年齢、体表面積（BSA）で標準化したカットオフ値、または上限値と下限値が、それぞれの章に記載されている。これらの項目について、 $\pm 1.96SD$ （95%信頼区間）を超える測定値は、異常として分類されるべきである。心エコー検査報告書において、正常からの逸脱の程度の記述は、個々の検査室の裁量に任せられるべきであり、執筆グループは特定の区切りを推奨することはしなかった。

経食道心エコー検査（TEE）を用いた定量化は、経胸壁心エコー検査（TTE）と比較してそれぞれ長所と短所がある。多くの心臓構造の視覚化は TEE によって改善されるが、TEE と TTE で、特に心内腔の距離や厚さに関して測定値の差異が見られる。これらの相違は、経胸壁的に定量化した標準的な平面像や計測値は、経食道的アプローチから、得ることができないことが主な原因である。左室と右室の長さや容積に関して、正常値の範囲が、TEE および TTE の両方に適用されることは、執筆グループの推奨事項である。最適な測定のための特殊なビューの詳細については、最近発表された TEE ガイドラインを参照してほしい³。

この文書に記載されているすべての測定は、心拍間の変動を考慮して、2 拍以上で実施する必要がある。当ガイドライン委員会は、洞調律患者では 3 拍、心房細動患者では少なくとも 5 拍の平均値を推奨するが、測定に時間がかかるため、臨床現場では代表的な心拍を使用して計測してもよい。

（訳：田代晃子、赤石 誠）

1 左室

1. 左室計測

左室腔の大きさを表すためによく用いられる指標は、内径や容積である。これらは、拡張末期と収縮末期に計測されることが一般的である。これらは、左室全体の機能評価に用いられる。体格が異なる個体間の比較をするために、BSA 指数（body surface area 体表面積で割った数値、 m^2 ）として報告したほうがよい。

1.1 内径の計測

左室腔や左室壁の計測は傍胸骨左室長軸断面図で行うことが推奨される。僧帽弁の弁尖先端レベルまたはその直下で、左室長軸に対して垂直に、注意深く計測する必要がある。この時には、電子キャリパーを、心室中隔と心腔との境界と、左室後壁と心膜の境界の直上に置いて計測する。断層（2D）心エコーガイド下で Mモード法を用いて内径を計測してもよいが、斜め切りの内径計測をしないために、断層心エコー画像上で、計測するほうが好ましい（表1）。

1.2 容積の計測

左室容積は断層心エコー法 または三次元心エコー法で測定する。内径だけ得られる容積は、不正確である。その理由は、この計算には心臓を回転楕円体と仮定しているからである。これは様々な形態を呈している心臓には当てはまらない。したがって、左室内径から左室容積を計算する Teichholz 法および Quinones 法は、もはや臨床的用途には用いられない。

容積の計測は、通常、心筋と左室内腔の境界をトレースして行う。僧帽弁のところでは、僧帽弁輪の相対する 2 点を直線で結び、左室内腔の輪郭を閉じる。上述した僧帽弁のところから結んだ線の midpoint と左室心尖部の最長点との距離を長軸径とする。心尖部二腔像と四腔像で得られた長軸のうち、長い方を左室長軸として計算に使用する。

左室容積は、心尖部四腔像と二腔像から測定する。断層心エコー画像は、左室腔の最大値を求めることを目的とし、左室トレースが小さくならないようにして、左室容積の計測値が過小評価されないようにする。（心房を描出させずに）左室腔だけを描出できるくらいに depth を下げて観察する方が、過小評価することや、心内膜の境界をトレースする際のエラーを最小限に抑えることができる（表1）。3D データセットでは、心尖部の過小評価はあまり問題にはならないので、3D 画像取得時は、ピラミッド型のデータ収集の際には、左室全体のデータが含まれるように気をつけるべきである。収縮末期のタイミングを正確にかつ確実に識別し、空間分解能を損なうことなく、3D 画像の時間分解能を最大にすべきである。

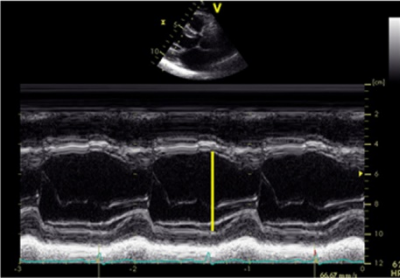
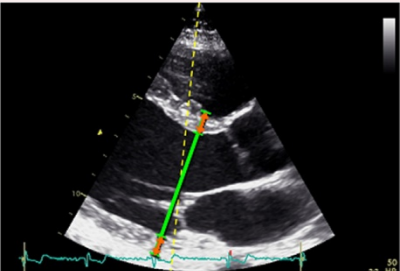
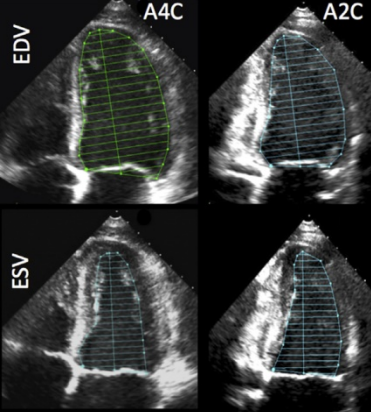
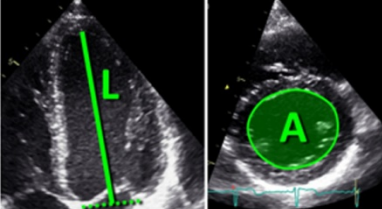
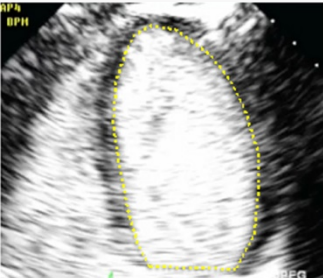
心尖部像で 2 区画以上の左室心内膜の連続が見えにくい場合には、それを改善するために、ガイドラインに従って、造影剤を使用する必要がある⁴。造影剤を用いて得た画像は、用いていない時よりも容積が大きくなり、それは心臓磁気共鳴（CMR）で得られる値に近似する⁵。

1.3 断層心エコー法の正常値

左室および左房の正常例の基準値（10 章参照）を得るために、Asklepion（0 年と 10 年）⁷、Flemingho⁸、CARDIA5、CARDIA25⁹、Padua 3D Echo Normal¹⁰、および the Normal Reference Ranges for Echocardiography study^{11,12} の 7 つのデータベースからデータを抽出した。すべてのデータは造影剤を使用せずに得られた。すべての患者のデータセットには、

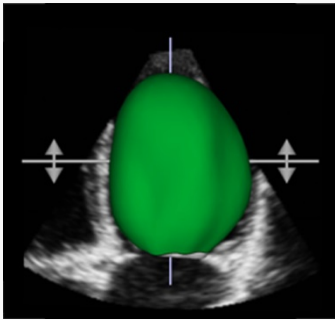
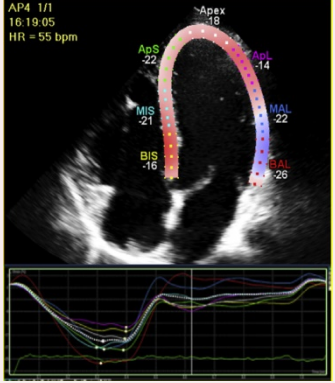
° わが国では心臓用の超音波造影剤は市場に供給されていない。

表 1 推奨する左室計測と機能評価法

各指標と計測法	手法	利点	問題点
<p>内径計測 左室内径の計測は傍胸骨左室長軸断面図で行う。僧帽弁の弁尖先端レベルまたはその直下で、左室長軸に対して垂直に注意深く計測する必要がある。この時、電子キャリパーは、心室中隔と心腔との境界面と、左室後壁と心膜の境界の直上に置いて計測する（オレンジ色の矢印）。</p>	<p>Mモード計測</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 再現性が高い。 ● 時間分解能が高い。 ● 過去の報告も豊富。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ビームの方向が軸から外れることが多い。 ● たった1つの計測値が、左室の標準的な形態の大きさを表すことになる。
	<p>2Dガイド下の内径計測</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 心室の長軸に垂直な方向を容易に得られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mモードよりも低いフレームレート。 ● たった1つの計測値が、左室の標準的な形態の大きさを表すことになる。
<p>容積 容積測定は、通常、心室壁と左室内腔の境界をトレースして計測する。僧帽弁レベルでは、僧帽弁輪の相対する2点を直線で結び左室内腔の輪郭を閉じる。左室径は、この線の中点と左室心尖部の最長点との距離として定義される。</p>	<p>Biplane disk summation 法</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 形態の歪みを補正できる。 ● 一次元的な計測(内径)から容積を算出する方法に比べて形状についての仮定が少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 心尖部がしばしば不十分に描出され、小さくなってしまうことが多い。 ● 心内膜の境界が消えてしまっていることがある。 ● 心尖部二腔像と四腔像ではわからない形態の変化は検出されない。
	<p>Area-length 法</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 形状の歪みは上記ほどではないが、部分的に補正される。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 心尖部がしばしば不十分に描出され、小さくなってしまうことが多い。 ● 左室形態を数学的な形状にあてはめるために多くの仮定に基づいている。 ● 過去の正常値についての報告が少ない。
	<p>造影剤による心内膜強調</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● エコーウィンドウが最良ではない場合に、有効。 ● 心臓 MRI で求めた左室容積に近い数値である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 造影剤を使用しない 2D法と同じ問題点がある。 ● 心基部が、過剰なコントラスト剤による音響陰影のために欠損することがある。

(続く)

表1 推奨する左室計測と機能評価法（続き）

各指標と計測法	手法	利点	問題点
	<p>三次元画像(3D)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 形状について、数学的な仮定をする必要がない。 ● 過小評価は問題とならない。 ● 他のイメージング検査と比べてより正確で再現性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 時間解像能が低い。 ● 正常値のデータの蓄積が不十分。 ● 画像の質に精度が左右される。
<p>Global Longitudinal Strain. 断層画像の長軸方向スベックルトラッキングによるストレインのピーク値。</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● 角度に依存しない。 ● 予測値が確立されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 製造メーカーにより異なる。

2D, two-dimensional 二次元エコー。3D, three-dimensional 三次元エコー。A2C, apical 2-chamber view 心尖部二腔像。A4C, apical 4-chamber view 心尖部四腔像。EDV, end-diastolic volume 拡張末期容積。ESV, end-systolic volume 収縮末期容積。LV, left ventricular 左室。

年齢、性別、民族性、身長、体重が含まれていた。正常例であることを明確にするために、収縮期血圧> 140mmHg、拡張期血圧> 80mmHg、薬物治療歴のある高血圧症、糖尿病の診断、空腹時血糖> 100 mg/dL、クレアチニン> 1.3mg/dL、推定糸球体濾過率<60mL/分/1.73m²、総コレステロール> 240mg/dL、LDLコレステロール> 130mg/dL、および総トリグリセリド> 150mg/dLの症例を除外した。

表2は断層心エコー法での性別による左室内腔と機能の正常値を示している。一方、付録の表2は異なるエコー画像で得られた同一指標のデータとそれを得るための対象数を示している。

勧告

通常の臨床では、左室腔は、断層心エコー法による biplane ディスク加算法を用いた左室容積により評価するべきである。三次元心エコー法での経験を持つラボでは、左室容積と画質に応じて左室容積の3D測定と左室容積を報告に加えてもよい。左室内径を報告する場合、推奨される方法は2Dガイド下の測定である。左室の大きさと容積は、体表面積による補正值で報告することが原則である。一般的な基準値ということに関していえば、断層心エコー法で、男性はLV EDV 74mL/m²、LVESV 31mL/m²、女性はLV EDV 61mL/m²、LV ESV 24mL/m²を正常上限値として使用することを勧める。（訳：田代晃子、赤石誠）

2. 左室の全体的な収縮機能

全体の左室機能は通常、一次元データ（単一の径のみなど）、二次元データ（面積）、もしくは三次元データ（容積）の指標を、拡張末期と収縮末期で、比較し、その差を拡張末期の値で除して推定してきた。心周期において、僧帽弁が閉じた直後のフレーム、もしくは左室径や左室容積が最大になる時相

を拡張末期とすることが通常である。収縮末期は大動脈弁が閉鎖したフレーム、あるいは左室径や左室容積が最小になる時相で定義される。規則正しい心調律の症例においては、MモードエコーやPW、CWで得られる弁の開閉のタイミングが正確な心室周期の時相の決定に使用される。

2.1 内径短縮率

内径短縮率は断層心エコーガイドMモードか、むしろ断層心エコー法から得られた1次元指標（長さ）から求められる。1次元計測（長さ）から左室の全体機能を求める事は、冠動脈疾患や、伝導障害による局所壁運動の異常がみられる時に問題となる。合併症のない高血圧、肥満や、弁膜症の患者においては、臨床的に心筋梗塞の既往がなければ、局所壁運動異常が起きることは稀なので、内径短縮率は臨床上有用である。左室の基部は正常であっても、左室中部や遠位部が拡大しているような患者においては、左室基部で計測した1次元の計測値である左室内径で左室の大きさを評価するよりも、左室容積で評価したほうがよい。

表2 断層心エコー法による左室計測の男女別正常値

指標	男性			女性		
	Mean ± SD	2 -SD	range	Mean ± SD	2 -SD	range
左室内径						
LVDd (mm)	50.2 ± 4.1	42.0	58.4	45.0 ± 3.6	37.8	52.2
LVDs (mm)	32.4 ± 3.7	25.0	39.8	28.2 ± 3.3	21.6	34.8
左室容積 (biplane)						
LV EDV (mL)	106 ± 22	62	150	76 ± 15	46	106
LV ESV (mL)	41 ± 10	21	61	28 ± 7	14	42
左室容積/ BSA						
LV EDV (mL/m ²)	54 ± 10	34	74	45 ± 8	29	61
LV ESV (mL/m ²)	21 ± 5	11	31	16 ± 4	8	24
LV EF (biplane)	62 ± 5	52	72	64 ± 5	54	74

LVDd: left ventricular diastolic dimension, 左室拡張期径
 LVDs: left ventricular diastolic dimension, 左室収縮期径
 LV EDV: left ventricular end-diastolic volume, 左室拡張末期容積
 LV ESV: left ventricular end-systolic volume, 左室収縮末期容積
 BSA: body surface area, 体表面積
 LV EF: left ventricular ejection fraction, 左室駆出率
 SD: standard deviation, 標準偏差

2.2 駆出率

駆出率は拡張末期容積と収縮末期容積とから次の式で計算される。

$$\text{駆出率} = (\text{拡張末期容積} - \text{収縮末期容積}) / \text{拡張末期容積}$$

左室容積は、上述 (Section 1.2) で示されるように、断層心エコー画像もしくは三次元心エコー像から推定される。現在、この委員会のコンセンサスとして、2断面を用いたディスク法 (シンプソン変法) を左室駆出率を評価する断層心エコー法として推奨している。表4では、断層心エコー法を用いて計測した2断面から計測したLVEF、性別による正常範囲、コンセンサスによる重症度のカットオフ値を示している。画質が良好な症例では、三次元心エコー法から求めた駆出率測定の高正確性や再現性が高いので、使用可能な場合には用いるべきである。

2.3 正常値

断層心エコー法から求めた左室駆出率(LVEF)の正常値は、13の項目に記載されている対象集団を用いて更新された。詳細は、表2と表4、付録の表2-5 (付録参照) を参照してほしい。駆出率は、性別、年齢あるいは、体表面積で表された身体の大きさは無関係である。2方向のディスク法(バイプレーン)を用いた左室駆出率正常値は63±5%である。よって、21歳以上の成人において、駆出率53%から73%は正常と判断する。上記とは別の民族集団のものであるが、3次元エコー法の正常値が、最近報告された(表3)。

勧告

断層心エコー法あるいは3次元心エコー法を用いて、左室拡張末期容積と収縮末期容積を求めて、駆出率を算出することにより、左室収縮機能は全例で評価すべきである。(日本語訳では、ストレインについては割愛したが、勧告では、次のように記載されている。エコーの機械や、ソフトウェアによりばらつきがあるが、断層心エコー法で得られたスペクトルトラック法による長軸ストレインは再現性がある。この長軸ストレイン

は、駆出率よりも優れた予後予知能を有し、臨床的に利用可能である。-20%が健康人の長軸ストレインなので、絶対値がそれ以下であれば、異常の可能性が高い(訳:山本裕美、平野 豊)

3. 左室局所機能

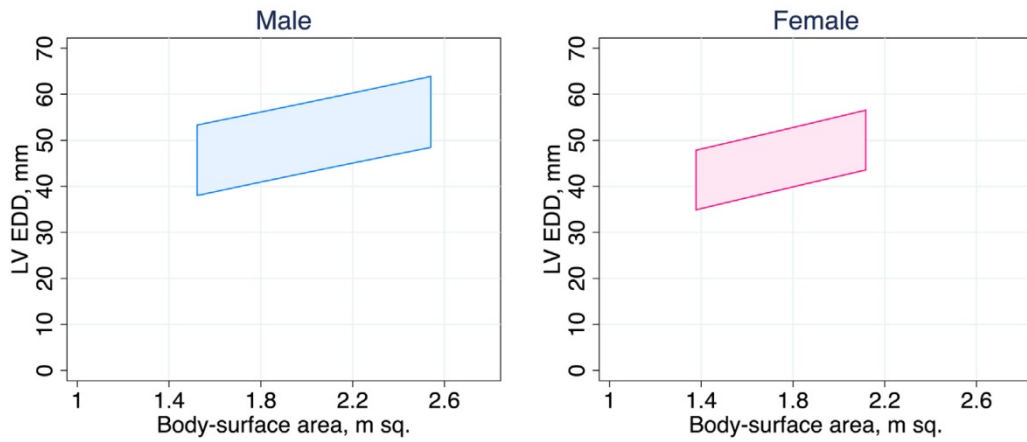
3.1 左室の分画化 (segmentation)

左室局所機能は、心室をいくつかの分画にわけて、評価する。適切な分画法とは、冠動脈の灌流域を反映し、分画ごとの心筋重量が同等であり、かつ心エコー同志および他の画像診断法と、情報交換が可能なものである(図3)。このためには、一般的に17分画モデルが用いられる。右室自由壁と心室中隔の前壁接合部から反時計回りに、基部と心室中部は前壁中隔、下壁中隔、下壁、下側壁、前側壁、前壁と名付けられる。この17分画モデルにおいて、心尖部は、中隔、下壁、側壁、前壁および心内腔ではない心筋部分 (apical cap と名付けられる) の5つに分けられる(図3、4)。17分割モデルは、心筋灌流評価や他の画像診断法、特にSPECT、PET、心臓MRIとの比較で用いられる。図5に3つの主要冠動脈の灌流域の代表的な模式図を示す。壁運動や局所ストレインを評価するために、この分画モデルを用いる際には、17番目の分画 (apical cap) は含めるべきではない。

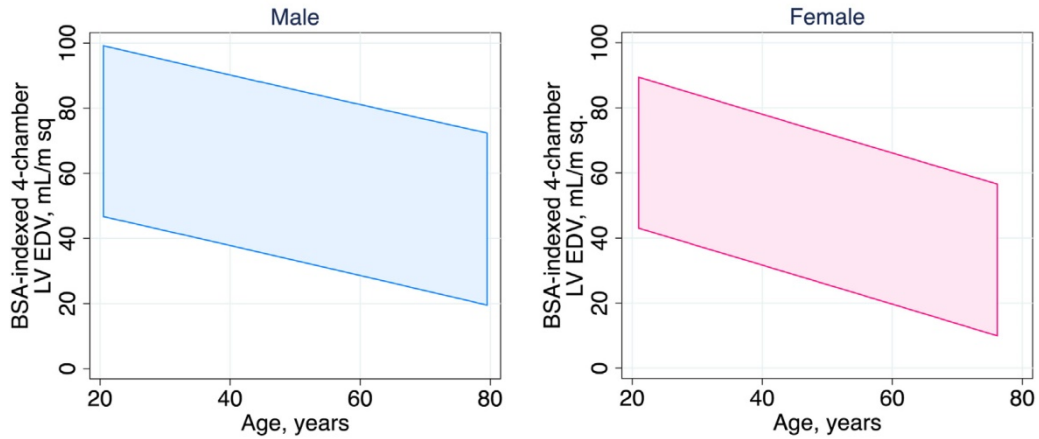
他の分画モデルは心尖部の扱い方が異なり、16分画モデルは心尖部全体を4つ(中隔、下壁、側壁、前壁; 図3左)に分けている。また、基部および心室中部レベルと同様に心尖部を6つに分画し、18分画モデル(図3右)としたものもある。これは単純ではあるもの、スコア化の際に心尖部を少しやや過大に反映させることになる。

全ての分画は断層心エコー法で描出することができる。心尖部2腔像と心尖部長軸像は、心尖部4腔像とそれぞれ平均して約53度と129度で交差している。どの分画法を用いても、心尖部からの画像により全ての分画を評価することができる。心筋分画への冠血流供給には、ある程度のばらつきはあるもの、通常は、各分画を3つの主要冠動脈の還流域と対比させることができる(図5)。

Parasternal LV End-Diastolic Dimension



Apical 4-chamber LV End-Diastolic Volume



Biplane LV End-Diastolic Volume

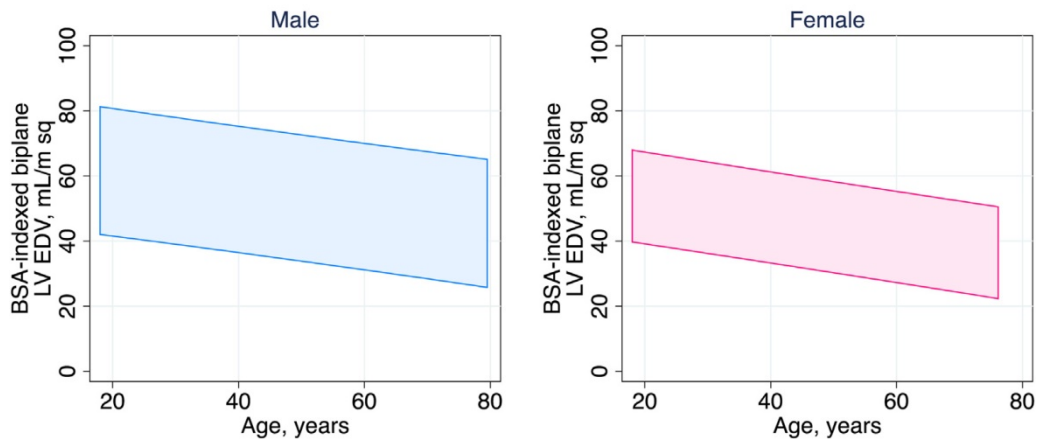
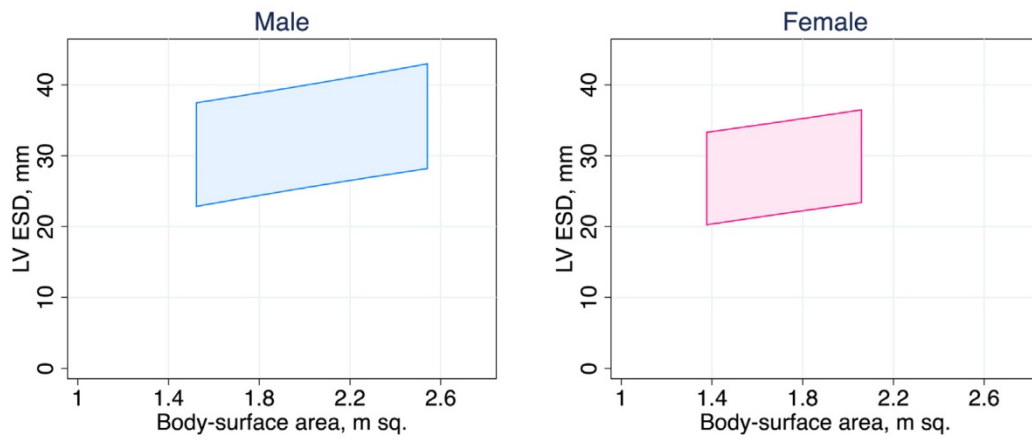
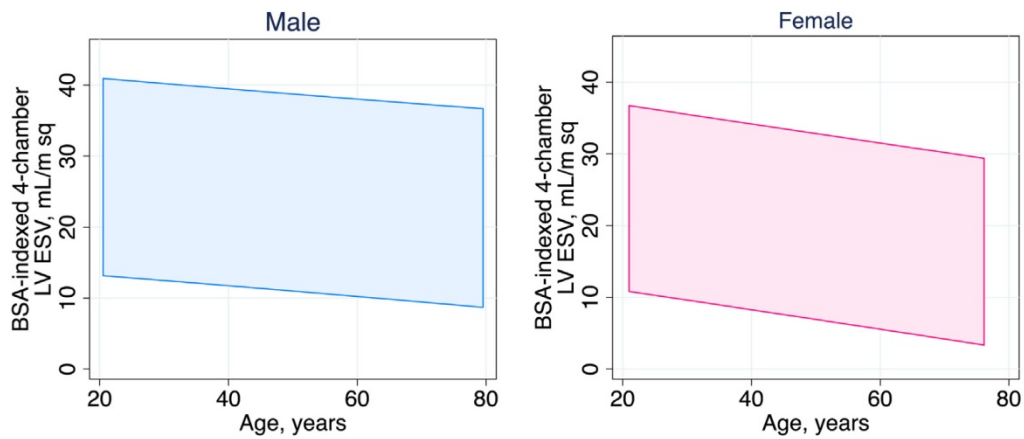


図1 男性(左)、女性(右)。95%信頼区間を表示している。上段：傍胸骨長軸像で計測した左室拡張末期径(LVEDD)と体表面積(BSA)の関係。中段：心尖部四腔像から求めた体表面積で補正した左室拡張末期容積と年齢の関係。下段：心尖部の2方向のディスク法(バイプレーン)で求めた体表面積で補正した左室拡張末期容積と年齢の関係。たとえば、40歳の女性であれば、心尖部四腔像から求めた体表面積で補正した左室拡張末期容積の正常値は、30~78ml/m²になる。

Parasternal LV End-Systolic Dimension



Apical 4-chamber LV End-Systolic Volume



Biplane LV End-Systolic Volume

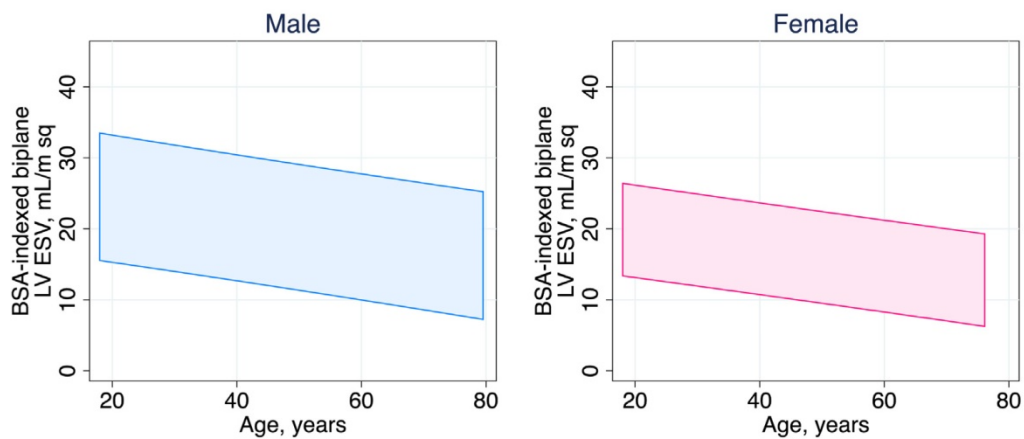


図2 男性（左）、女性（右）。95%信頼区間を表示している。上段：傍胸骨長軸像で計測した左室収縮末期径（LVEDD）と体表面積（BSA）の関係。中段：心尖部四腔像から求めた体表面積で補正した左室収縮末期容積と年齢の関係。下段：心尖部の2方向のディスク法（バイプレーン）で求めた体表面積で補正した左室収縮末期容積と年齢の関係

表3 3D エコーによる左室パラメータの正常値

	Aune et al. (2010)	Fukuda et al. (2012)	Chahal et al. (2012)	Muraru et al. (2013)
症例数	166	410	978	226
人種構成	スカンジナビア人	日本人	51%欧州人 49%アジア系インド人	白人 欧州
EDVi (mL/m²)				
男性 平均 (LLN, ULN)	66 (46, 86)	50 (26, 74)	白人:49 (31, 67) ア:41 (23, 59)	63 (41, 85)
女性 平均 (LLN, ULN)	58 (42, 74)	46 (28, 64)	白人:42 (26, 58) ア:39 (23, 55)	56 (40, 78)
ESVi (mL/m²)				
男性 平均 (LLN, ULN)	29 (17, 41)	19 (9, 29)	白人:19 (9, 29) ア:15 (6, 26)	24 (14, 34)
女性 平均 (LLN, ULN)	23 (13, 33)	17 (9, 25)	白人:16 (8, 24) ア:15 (7, 23)	20 (12, 28)
EF(%)				
男性 平均 (LLN, ULN)	57 (49, 65)	61 (53, 69)	白人:61 (49, 73) ア:62 (52, 72)	62 (54, 70)
女性 平均 (LLN, ULN)	61 (49, 73)	63 (55, 71)	白人:62 (52, 72) ア:62 (52, 72)	65 (57, 73)

EDVi: 左室拡張末期容量インデックス

ESVi: 左室収縮末期容量インデックス

EF: 左室駆出率

LLN; lower limit of normal, 正常下限値

ULN; upper limit of normal, 正常上限値

正常上・下限値は mean ± 2SDs で定義される。

Modified with permission from Bhave et al.

表4 Normal ranges and severity partition cutoff values for 2DE-derived LV EF and LA volume

	Male				Female			
	Normal range	Mildly abnormal	Moderately abnormal	Severely abnormal	Normal range	Mildly abnormal	Moderately abnormal	Severely abnormal
LV EF (%)	52–72	41–51	30–40	<30	54–74	41–53	30–40	<30
Maximum LA volume/BSA (mL/m ²)	16–34	35–41	42–48	>48	16–34	35–41	42–48	>48

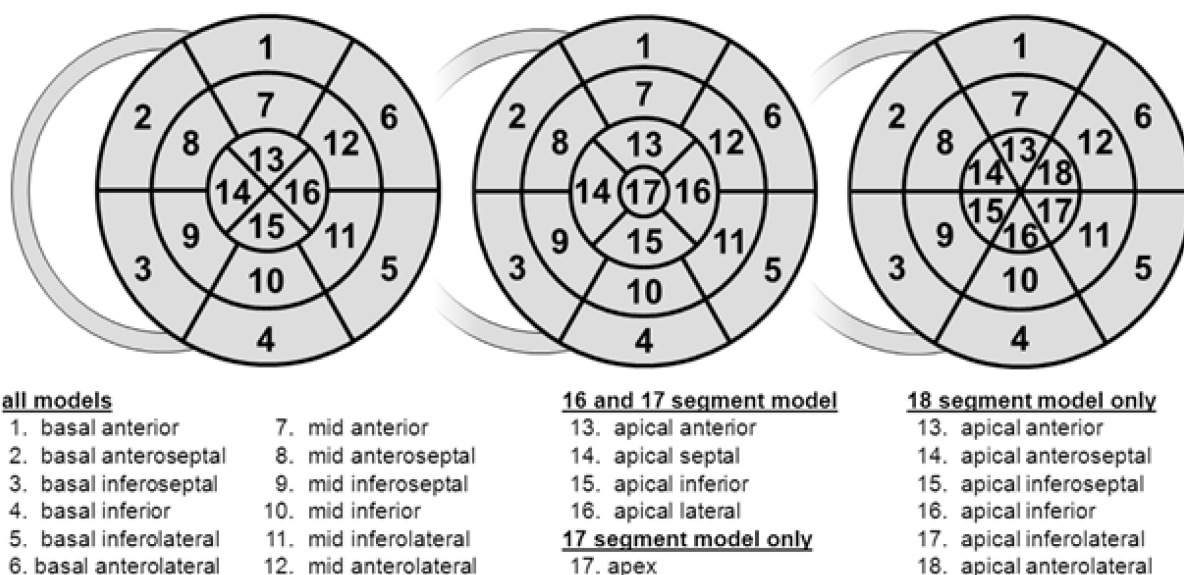


図3 いろいろな左室分画モデルの模式図: 16分画モデル (左)、17分画モデル (中央)、18分画モデル (右)。

全ての模式図において外側輪が基部、中央輪が乳頭筋位、中心輪が心尖部を表している。右室壁が前方で左室に付着するところを前壁と前壁中隔の境界と定めている。この位置から始まり、心筋は60度の6分画に均等に細分化される。16及び17分画モデルでは心尖部を90度で4分画に均等に分けている。17分画モデルにおいて追加分画 (apical cap) はブルズアイの中心に付け加えられている。

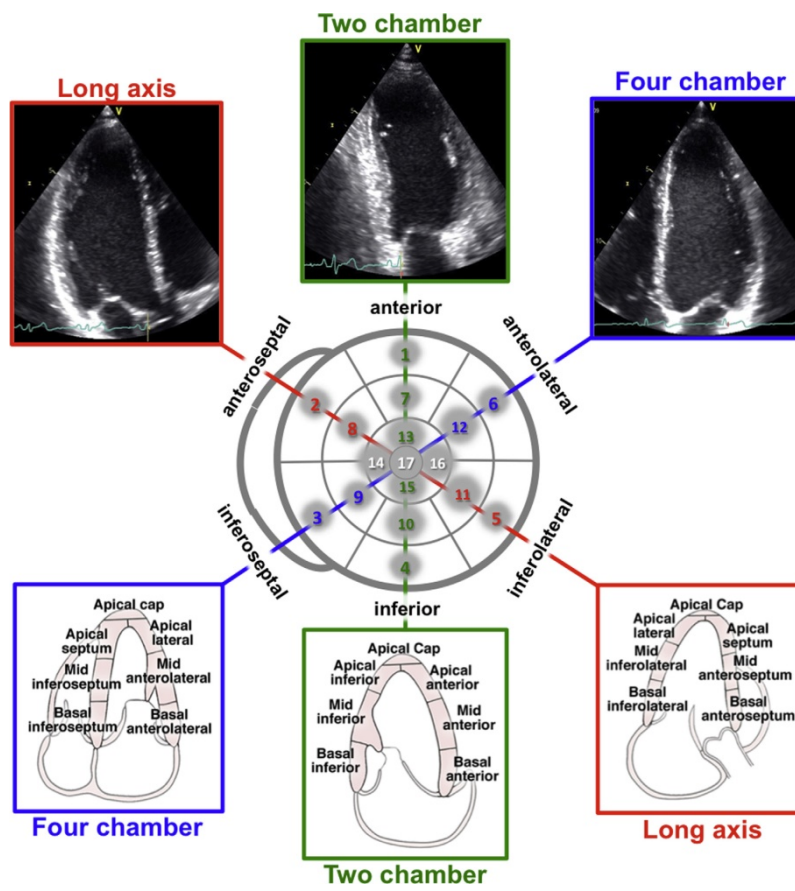


図4 左室分画のブルズアイ表示における心尖部4腔像の方向(A4C)、心尖部2腔像の方向(A2C)、心尖部長軸像の方向(ALX) (中央)。上段は実際の画像、下段はそれぞれの描出像の模式図に左室分画を記入したもの。

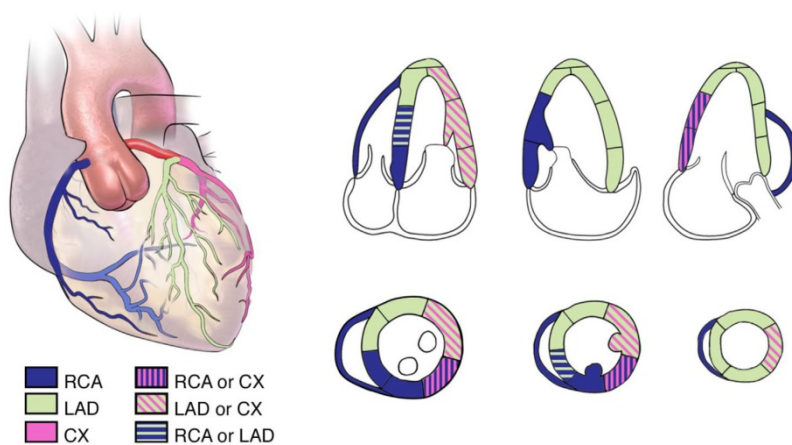


図5 右冠動脈 (RCA)、左前下行枝 (LAD)、左回旋枝 (LCX) の典型的分布。動脈の分布は患者間で異なる。冠動脈灌流が様々で定まっていない分画もある。

3.2 視覚的評価

断層心エコー法において局所心筋機能は、局所の左室壁の壁厚増加と当該部分の心内膜の動きで評価される。心筋の動きは隣接する左室壁の牽引（テザリング）と左室全体の動きの影響を受けるので、局所心筋そのものの機能を評価するためには局所心室壁の変形（壁厚増加、壁の短縮）に焦点を当てて解析する必要がある。しかしながら、その変形自体も、その局所心室壁が周囲から張力などにより受動的に引き起こされる壁厚変化や心筋長の短縮運動が混在するために、心筋そのものの収縮を反映していない要素があることを認識しておく必要がある。

各々の分画は多断面から個々に評価することが推奨される。半定量的壁運動のスコアを各分画に割り付けることで、視覚評価可能な全ての分画のスコアの平均が左室の壁運動スコアの指標として計算される。以下のスコアリングシステムが推奨される。(1) 正常もしくは過収縮、(2) 低収縮（壁厚増加の低下）、(3) 無収縮（壁厚増加を認めないか無視できるもの、例として癒痕）(4) 奇異性運動（収縮期の壁厚減少や伸展運動、例として心室瘤）。

心室瘤は形態学的な範疇として、局所の拡大と壁の非薄化（remodeling）に、無収縮あるいは奇異性の収縮期の変形を伴うものである。今までのガイドラインとは異なり、今回のガイドラインでは心室瘤に個別の壁運動スコアを付与しなかった。

3.3 心筋梗塞と心筋虚血における局所壁運動

負荷心エコーは、局所の冠動脈血流の予備能に応じ、壁運動異常を誘発させることで有意な冠動脈狭窄の存在を明らかにすることができる。一方、心筋癒痕は様々な程度の局所心筋運動の異常を生じさせる。心エコーによる壁運動から心筋収縮機能を評価することは、隣接する心筋の収縮機能、局所心筋にかかる負荷の状態、そして気絶心筋がどのくらい存在しているかが壁運動に影響を与えるので、壁運動のみから虚血や梗塞心筋の範囲や程度を評価する際には、過大あるいは過小に評価する可能性がある。

負荷心エコーにおける局所壁運動異常についての視覚的評価は、漠然と見るのではなく、デジタル技術を用いて安静時と負荷時の画像を同期させ、さらにその画像を並べて観察し比較することが重要で、そうすることにより、その正確性は改善する。

3.4 冠動脈疾患が存在しない中での局所的な異常

局所的な壁運動異常は、冠動脈疾患が存在しなくても、心筋炎、心サルコイドーシス、ストレス誘発（たこつぼ）心筋障害などの様々な状況においても起こりえる。心室中隔の壁運動異常パターンは、術後や、左脚ブロックや右室心外膜ペースキングの時、さらに右室の圧や容量負荷によって引き起こされる右心不全でも認められる。更に、伝導遅延の中には、一次的な心筋の機能障害が存在しなくても、局所の壁運動異常を来すものがある。この局所的な機能不全は、局所的心筋収縮が時間的にずれるために生じるもので、不均一な負荷やリモデリングの原因となる。心筋収縮の活性化の推移、局所心筋収縮の時間的な推移をきちんと可視化することが理想である。中隔の跳ね上がり運動（beaking あるいは flash）や、収縮期の心尖部の外方運動（apical rocking）などの、心筋活性化の順序が異常となるために生じる心筋収縮の時間的なずれから生じる特徴的な動きのパターンは、報告書に記載すべきである。

勧告

異なった左室区域モデルが臨床診療で用いられている。心エコー法や他の画像的な手法を用いて心筋灌流を評価する際に17分割モデルが推奨される。心尖部の先端の心内膜の動きや壁

厚増加はわずかであるため、ルーチンの検査においては、壁運動を判定には16分割モデルが推奨される。壁運動を評価する場合には、各区画を複数の断面で評価しなくてはならない。そして(1) 正常もしくは過収縮、(2) 低収縮（壁厚増加の低下）、(3) 無収縮（壁厚増加を認めないか無視できるもの、例として癒痕）(4) 奇異性運動（収縮期の壁厚減少や伸展運動）の4段階評価が適応されるべきである。魅力的なデータは発表されているが、まだ基準値も広く普及したものになっているとはいえず、さらに再現性も不十分で、機械業者間での測定値のばらつきも無視できないほどであることを考えると、左室局所心筋運動を定量的に評価することは、現時点では、時期尚早であると思われる。（訳：山本裕美、平野 豊）

4. 左室心筋重量 (LV mass)

左室心筋重量は心血管イベントにおける重要な危険因子、および強力な予測因子である⁵²⁻⁵⁵。Mモード心エコー法、断層心エコー法、三次元心エコー法で左室心筋重量を測定する方法がある。いずれの方法においても、計測は拡張末期に行う（つまり、僧帽弁が閉じる前のフレームまたは左室径や容積が最大時に計測する）。

Mモード心エコー法（2Dガイド下であるか否かに関わらず）および断層心エコー法による1次元計測（長さ）により求めた左室径と壁厚を用いる方法は、左室の形態を楕円球体と仮定し、数学的な公式で左室心筋重量を計算するが、三次元心エコー法では形態の仮定なしに直接測定することができる。この心筋の体積に密度（約1.05 g/mL）をかけることで心筋の重量が計算できる。

断層心エコー画像での心室全体の評価には、area-length法かtruncated ellipsoid法が用いられる。左室心筋重量を測る方法にはそれぞれ長所と短所があり、使い分けが重要である（表5）。

左室心筋重量を患者ごとに時系列で追っていく場合、特に心疾患では、断層心エコー法の方が径だけを求めて重量を計算する方法よりも優れている¹。しかし、過去に発表された左室心筋重量が予後予測に与える影響を調べた研究は、内径と壁厚だけの一次元データから求めた左室心筋重量を用いたものがほとんどである。断層心エコー法あるいはMモード法を用いて一次元データのみから左室重量を求める方法に比べて、断層心エコー法によるarea-length法かtruncated ellipsoid法は、心室の形状に合わせて計測することが可能で、長軸方向の左室の大きさの変化を説明できるのでより優れている。心疾患によっては、左室の形状がしばしば変化するので、形状に合わせた左室重量測定は重要である。

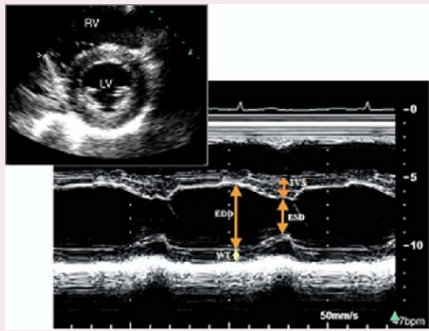
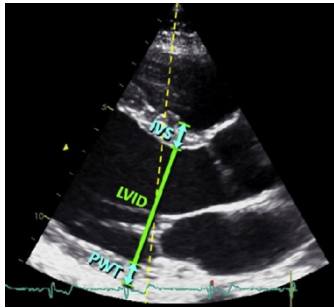
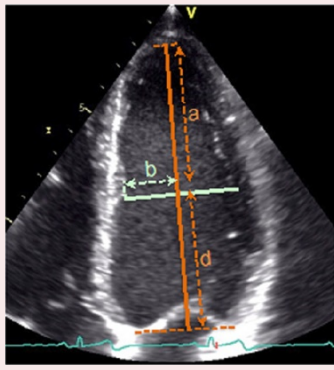
しかし、Mモード法は簡便で早く、測定誤差も少ないため、多くの患者を解析する場合は有利である。この方法の正確性が高いことを示した多くの報告があり、左室心筋重量と予後予測に関するほとんどの研究はこの方法を用いている⁵⁶。しかし、いくつかの注意が必要である。まず壁厚と左室径は左室長軸と垂直に測定することが重要なので、断層心エコーガイドMモード法や断層心エコー画像から内径、壁厚を測定する方法を用いた方が断層心エコーガイドなしのMモード法より正確である。さらに、Mモード法では20%ほどの過大評価を補正する式が用いられている。なぜなら壁厚を断層心エコー法で直接測定するとMモードより値が小さくなるため、左室心筋重量を計算する際に調整が必要だからである（表5）。予後予測のカットオフとして用いる場合はそこまで考慮する必要はないが、計算式では長さを3乗して体積とするため、些細な誤差が、左室心筋重量の計算に大きな影響を及ぼすことを忘れてはならない。

正常形態を有する左室において断層心エコーガイドMモードによる測定と、断層心エコー法の area-length 法、truncated ellipsoid 法による測定を比較した報告では、両者の差は僅かでありどちらが良いという結論はでていない⁵⁷。しかし、この研究は、古いもので、断層心エコー法の画質が向上した現代での比較研究は行われていない。実際に、多数例でハーモニックイメージ画像を用いた左室心筋重量の正常値を再評価した報告は数少ない^{58,59}。

三次元心エコー法は直接心筋の体積を測定できる唯一の心

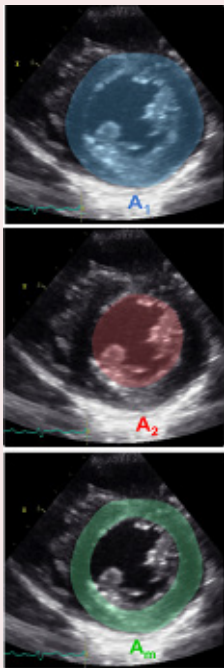
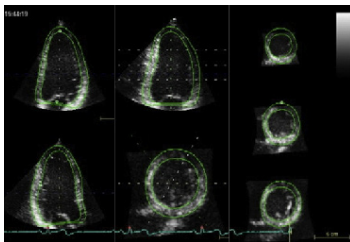
エコー法であり、適切な方法である。多くの検証が行われているが⁶⁰、今のところ実用性、実現性、ばらつき、および予後評価をした報告はあまりない⁶¹。従って、本委員会の見解としては、三次元心エコー法を用いた健常者における左室心筋重量解析による正常値を推奨するには至っていないと考える。三次元心エコー法の時間分解能および空間分解能が引き続き向上することで正常値や測定誤差に関する研究が進むことが期待される。

表5 エコーによる左室重量計測

各指標と計測法	エコー画像	利点	問題点
<p>一次元データによる計算 (Cube 式)</p> <p>Linear method: Cube formula LV mass = 0.8 · 1.04 · [(IVS + LVID + PWT)³ - LVID³] + 0.6g</p> <p>IVS : 心室中隔、LVID : 左室内径、PWT * 下側壁壁厚 左室内径の計測は傍胸骨像で行う。左室長軸と直交する左室内径を僧帽弁の弁尖の先端レベルで慎重に計測する。Mモード法を用いる場合には、長軸と直交するように狙いを定め、傍胸骨左室短軸像あるいは傍胸骨長軸像で測定する。全ての計測は拡張末期に行う</p>	<p>Mモード</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡便で一般的な方法である。 ● 豊富なデータがある。 ● 予後予測のデータがある。 ● 正常形態の左室では正確である (本態性高血圧や大動脈弁狭窄症など)。 ● スクリーニングに適している。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 左室が長軸/短軸比が2 : 1の楕円形状で心筋肥大が均一であるとの仮定に基づいた計算式である。 ● 超音波ビームが軸から外れていることが多い。 ● 測定値は3乗されるため、僅かな誤差が測定精度に影響する。 ● 左室心筋重量を過大評価する。 ● 非対称性心筋肥大、心室拡大および壁厚の局所的ばらつきを呈する疾患等があると不正確である。
	<p>2D</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 左室長軸に対して垂直に測定できる 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mモードと同じ左室形状を仮定した測定である。 ● 左室形状が異常な場合には Mモードと同様な問題点がある。 ● ハーモニックイメージングの左室重量計測や正常値に対する影響は明らかでない。 ● Mモードから算出した基準値に比べて、この方法で得られた基準値は、まだ確立していない。
<p>2Dを基準とした概算式 Truncated ellipsoid</p> <p>2D based formulas. Truncated ellipsoid: LV mass = 1.05π { (b+t)² [$\frac{2}{3}(a+t) + d - \frac{d^3}{3(a+t)^2}$] - b² [$\frac{2}{3}a + d - \frac{d^3}{3a^2}$] }</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● 左室のねじれをある程度補正できる。 ● 一次元データによる測定ほど左室形状の仮定に基づいていない (異常な左室形状でも測定可能)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 良好で適切な方向からの傍胸骨短軸像の描出が必要。 ● 心外膜の同定が重要。 ● より煩雑である。 ● 測定誤差がより大きい。 ● 正常値のデータが乏しい。 ● 予後データに乏しい。

(続く)

表5 エコーによる左室重量計測（続き）

各指標と計測法	エコー画像	利点	問題点
<p>Area length 法</p> <p>Area-length: $LV\ mass = 1.05$ $\left\{ \left[\frac{5}{6} A_1 (a + d + t) \right] - \left[\frac{5}{6} A_2 (a + d) \right] \right\}$</p> <p>Mean wall thickness is calculated from epicardial (A_1) and endocardial (A_2) cross-sectional areas in short-axis view at the papillary muscle level (top panel, green line) with the papillary muscles considered part of the LV cavity. The short axis radius is calculated as: $b\sqrt{\frac{A_2}{\pi}}$ Then, mean wall thickness t is calculated as: $t = \left(\sqrt{\frac{A_1}{\pi}} \right) - b$ and the cross sectional area of the myocardium (A_m) in short-axis view is: $A_m = A_1 - A_2$</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● 左室腔形状や肥大部位に関する仮定なしで直接測定できる。 ● 一次元データから求める方法や断層心エコー画像より求める方法よりも正確である。 ● 再現性が高い。 ● 同一患者内の細かな違いも検出できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 基準値は確立していない。 ● 画質に左右される。 ● 患者の協力が不可欠である。
<p>傍胸骨短軸像の乳頭筋レベルで、心外膜断面(A_1)と心内膜断面(A_2)を測定し、壁厚の平均値を計測する。 半径は～～で、壁厚 t は～で算出される。 心筋部分 $A_m = A_1 - A_2$ となる。 心筋重量は上記式で計算される。</p>		<p>三次元心エコー</p>	

心基部の中隔肥大の患者では、左室基部を測定する一次元データを用いると心室中隔の最も厚い部位を測定するため、左室心筋重量を過大評価してしまう。一方で左室中部を測定する area-length 法では最も厚い心室中隔を計測に入れないため、過小評価となる。非対称性の左室肥大や upper septal hypertrophy の患者で経時的に左室心筋重量を測定していく場合、同じ方法を用いて、測定箇所を一定にすることが重要である。三次元心エコー法は部位による壁厚の違いにも対応できる利点があるため、最も正確に評価ができる。

左室心筋重量は年齢や性別、体格、肥満や人種で異なるため、基準値を一つに決めることはできない。左室心筋重量は体格に関わらず男性で大きく、体格が大きいと増える。2005 年の勧告以降、いくつかの研究で（そのほとんどが一次元データを用いた方法（linear measurement 法））のであるが）正常人の左室心筋重量の基準値が報告されており [59.62-66](#)、過去のガイドライ

ンの推奨値と近い数値が示されている [62,65,66](#)。そのため、本ガイドラインでも過去のガイドラインに示された正常値と異常のカットオフ値を推奨している（表6）。しかし過去の報告では、それぞれの対象とする民族が異なっており、それらの数値から左室心筋重量の基準値を設定する際には注意を払う必要がある [10,16,67-69](#)。

左室心筋重量を標準化することにより体格の異なる患者を比較することが可能になる。しかし、身長、体重および体表面積のいずれかで補正すべきかは、議論がある。身長を 1.7、2.13 あるいは 2.7 乗した値で補正した方が体表面積より良く、特に肥満患者において有用であったという報告があるが [65,70](#)、多くの研究は体表面積で補正している。

最後に（2×後壁壁厚）/（左室拡張末期径）で計算される relative wall thickness (RWT) は左室心筋重量が増加している患者において求心性肥大か（RWT> 0.42）、遠心性肥大か

($RWT \leq 0.42$) を分類する指標であり、 RWT が高値で左室心筋重量が正常な場合、求心性リモデリングと定義されている(図6)。

表6 左室心筋重量指標の正常値

	女性	男性
1次元計測法		
左室心筋重量(g)	67-162	88-224
左室心筋重量係数(g/m^2)	43-95	49-115
相対的壁厚(cm)	0.22-0.42	0.24-0.42
中隔壁厚(cm)	0.6-0.9	0.6-1.0
後壁壁厚(cm)	0.6-0.9	0.6-1.0
断層心エコー法		
左室心筋重量(g)	66-150	96-200
左室心筋重量係数(g/m^2)	44-88	50-102

太字：推奨値

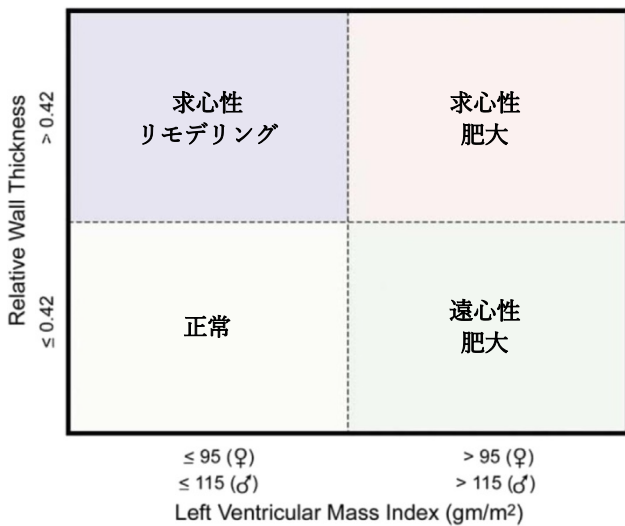


図6 RWT (相対的壁厚) による分類。正常心筋重量の症例は、求心性リモデリング (正常左室心筋重量、 $RWT \geq 0.42$) または正常 (正常左室心筋重量、 $RWT \leq 0.42$) である。左室心筋重量増加症例は、求心性肥大 (左室心筋重量増加、 $RWT \geq 0.42$) または遠心性肥大 (左室心筋重量増加、 $RWT \leq 0.42$) である。これらの左室心筋重量計測リニヤ計測法で行う。

勧告

正常な形状を有する左室であれば、Mモード心エコー法も断層心エコー法も左室心筋重量の計算に使用できる。基準値は以前の報告と大きく変わることなく、体表面積で補正した値で評価すべきである。一次元データで求めた方法での基準値上限は女性が $95 g/m^2$ 、男性が $115 g/m^2$ である。断層心エコー法での基準値上限は女性が $88 g/m^2$ 、男性が $102 g/m^2$ である。三次元心エコー法は左室の形状や局所的な壁肥厚に関わらず、直接心筋量を測定できる唯一のエコー法で、最も確実であり、形状が異常な心室や非対称性、局所的な壁肥厚を有する患者には有用である。三次元心エコー法での左室心筋重量の正常値は報告されているが、基準値として定めるだけのエビデンスに乏しいのが現状である。

(訳：平出貴裕、村田光繁)

II 右室

右室は、三日月型をした特殊な形態を有しており、その機能や大きさを定量化するのは単純ではない。右室は、呼吸循環器疾患の症状や徴候を有する患者の病態予後や生命予後に対して重要な役割を演じている。左室の定量化に多くの関心が集中していたことに加え、さまざまな技術に対する関心も低かったため、最近までは、右室を心エコーで撮像する統一されたやり方はほとんど提唱されて来なかった。

ASEは、最近、成人の心エコー検査における右室の大きさと機能の評価を標準化するガイドラインを作成した⁷¹。これは、EACVI とカナダ心エコー図学会も承認しているも。そのガイドラインを踏襲しながら、過去のガイドラインの内容を入れ替える必要がある「右室の大きさ、右室の収縮機能と拡張機能」の基準値を更新した。

5. 右室定量化における一般的な勧告

全ての臨床検査においては、検査の目的や得られている臨床情報を念頭に置きながら、右室の包括的な評価が行わなくてはならない。右室は、さまざまなエコーウィンドウから観察しなくてはならない。そして報告書には、定性的な指標と定量的な指標の両方を記載すべきである。それらの指標は、右室、右房の大きさ、右室の収縮機能指標である。収縮機能指標は少なくとも次の指標の一つ以上含んでいなくてはならない。：面積縮小率 (FAC)、組織ドプラによる三尖弁輪速度波形 (S')、三尖弁輪収縮期移動距離 (TAPSE)、右室心筋パフォーマンスインデックス (RIMP)。三尖弁逆流の血流波形がきれいに全収縮期で観察される場合には、右室収縮期圧を必ず記載しなくてはならない。右室収縮期圧は、典型的には、下大静脈径とその呼吸性変動の有無から推定した右房圧に、三尖弁逆流ジェットから求めた圧較差を加えて求めることができる⁷¹。可能ならば、右室容積と三次元心エコー法を用いた駆出率、上述した断層心エコー法で求めた指標に付け加えるとよい。推奨する方法について、その利点、問題点と合わせて表7と9に示した。また、新しい基準値は、表8と10に示した。これらの基準値は、過去に報告された心肺疾患を有しない正常成人から得られた平均と標準偏差から求めたものである(付録表7)。今回のガイドラインは各指標を多くの報告から集めて、メタ解析をするという過去の右室のガイドラインと同じ方法を用いた。この推奨値すべてが過去のガイドラインに記載されている数値と同じではない⁷¹。最近の発表された新しいデータを加えたことにより、右室径、S'、TAPSE、RIMPの値のカットオフ値に少し変更が生じた。前回のガイドライン以降に発表された新しい報告にもとづき、三次元心エコー法を用いた右室駆出率と容積の基準値を変更した(表8と10)。

本来は、標準化の方がよりよいと考えられるのだが、ここに掲げた数値のほとんどが、性別、体表面積、身長で補正されていないことに注意しなくてはならない(72-75)。その結果、身長や体表面積が著しく異なる患者では、基準値をはずれて評価ミスを起こすことがありうる。よって、報告書を作成する時には、解釈する医師は、これらの指標の意義を十分に考慮することを勧告する。特殊な患者に特有の基準値は存在しないため、同じような評価ミスが、先天性心疾患や耐久アスリートが患者である場合にも生じうる⁷⁶。

表7 右室の大きさの心エコー評価各指標と計測法

エコー画像	各指標と計測法	利点	問題点
<p>右室径（流入部）</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右室基部径 (RVD1)= 右室中心像の拡張末期で基部1/3の中で最大の横径 ● 右室中部径 (RVD2)= 拡張末期に乳頭筋レベルで右室中部1/3の横径。通常 RVD1と心尖部のほぼ中間になる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 迅速に測定できる。 ● 簡便で早い。 ● データが豊富である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右室は三日月状であり右室の大きさは過小評価となる。 ● プローベの回転や描出像で測定値が変わるため、毎回同じように測定することが重要である。
<p>右室径（流出部）</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 近位右室流出路徑(RVOT prox)= 拡張末期の傍胸骨長軸像で右室前壁から心室中隔—大動脈接合部（傍胸骨長軸像）または大動脈弁（傍胸骨短軸像）までの距離 ● 遠位右室流出路徑(RVOT distal)= 拡張末期の傍胸骨短軸像で肺動脈弁直下近位部の横径 	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡便で早い。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 近位右室流出路徑は描出によりずれやすく再現性が乏しい。 ● 右室流出路が斜めに切れている場合、過小評価または過大評価となる。 ● 胸郭や脊椎変性がある場合、不正確性になることがある。 ● 右室前壁の心内膜同定が時にしばしば最適でない。 ● 正常値のデータに乏しい ● 右室局所の径であり右室全体を反映していない可能性がある。
<p>右室面積（流入部）</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 拡張末期、収縮末期像それぞれで右室心内膜を外側三尖弁輪から自由壁を通して心尖部、中隔を経て内側三尖弁輪まで手動でなぞり面積を測定する。 ● 肉柱、乳頭筋、調節帯(moderator band)は心腔内に含める。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 比較的簡便。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右室自由壁の描出が難しい症例では困難である。 ● 肉柱があると測定が難しくなる。 ● 内腔を小さくすると過小評価となる。 ● 左室のねじれる運動と右室が三日月状をしているため、拡張末期と収縮末期で断面が異なる。 ● 右室全体の評価には向かない。
<p>三次元心エコー法 右室容積</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 深さとセクターの角度を絞り、20-25 volume/sec以上の解像度で右室全体を複数心拍で3D測定する。 ● 拡張末期と収縮末期は自動で同定される。 ● 心筋肉柱と調節帯は心腔内に含める。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 流入路、流出路、心尖部を含め、右室全体を測定できる唯一の方法。 ● 形状の仮定は不要。 ● 心臓 MRI との互換性もある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 画像の質や不整脈、患者の協力に左右される。 ● 三次元心エコー法の機器と訓練が必要。 ● 基準値の報告は乏しい。
<p>右室壁厚</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右室自由壁の壁厚を（Mモードまたは断層心エコー）測定する。拡張末期に三尖弁前尖が開いて右室自由壁と平行になった時、前尖弁尖部付近の右室自由壁の壁厚を測定する。肉柱、乳頭筋、心外膜の脂肪は含めない。 ● 右室中部に焦点をあて、呼吸を調整すると心内膜の境がはっきりする。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡便。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 一か所の測定である。 ● ハーモニックイメージや斜めのMモード描出だと壁厚を過大評価する。 ● 臓側心膜が肥厚している症例では困難。 ● 右室壁が薄いと定義するための基準値は存在しない。

表 8 右室腔サイズの正常値

指標	平均±標準偏差	正常範囲
右室基部径(mm)	33±4	25-41
右室中部径(mm)	27±4	19-35
右室長軸径(mm)	71±6	59-83
傍胸骨長軸像右室流出路径(mm)	25±2.5	20-30
右室流出路近位部径(mm)	28±3.5	21-35
右室流出路遠位部径(mm)	22±2.5	17-27
右室壁厚(mm)	3±1	1-5
右室流出路拡張末期面積(cm ²)		
男性	17±3.5	10-24
女性	14±3	8-20
右室拡張末期面積係数(体表面積で標準化)(cm ² /m ²)		
男性	8.8±1.9	5-12.6
女性	8.0±1.75	4.5-11.5
右室収縮末期面積(cm ²)		
男性	9±3	3-15
女性	7±2	3-11
右室収縮末期面積係数(体表面積で標準化)(cm ² /m ²)		
男性	4.7±1.35	2.0-7.4
女性	4.0±1.2	1.6-6.4
右室拡張末期容積係数(体表面積で標準化)(cm ² /m ²)		
男性	61±13	35-87
女性	53±10.5	32-74
右室収縮末期容積係数(体表面積で標準化)(cm ² /m ²)		
男性	27±8.5	10-44
女性	22±7	8-36

表 9 右室機能のエコーによる評価法の勧告

エコー画像	各指標と計測法	利点	問題点
<p>右室全体の機能 パルスドプラによる RIMP</p> 		<ul style="list-style-type: none"> ● 予後と関連。 ● 心拍数に依存しにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 別々のトレースから計測するので、心拍数を一致させなくてはならない。 ● 右房圧が高い時には信頼性が落ちる。
<p>組織ドプラによる RIMP</p> 		<ul style="list-style-type: none"> ● 心拍数に依存しにくい。 ● RR 間隔を合わせなくても 1 心拍の記録で計測可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右房圧が高い時には信頼性が落ちる。

(続く)

表9 右室機能のエコーによる評価法の勧告（続き）

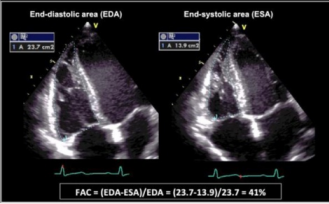
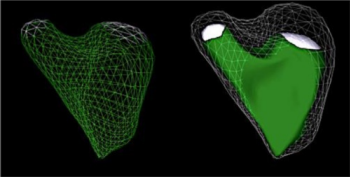
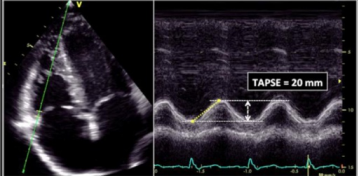
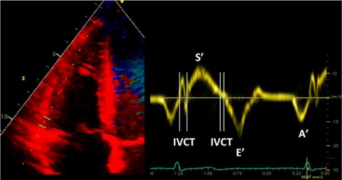
エコー画像	各指標と計測法	利点	問題点
右室全体の機能			
FAC		<ul style="list-style-type: none"> ● 予後との関連が確立している。 ● 長軸方向と内径方向の収縮両方を反映している。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右室流出路の収縮の関与を無視している。 ● 観察者間の再現性が高いとはいえない。
			
EF		<ul style="list-style-type: none"> ● 右室流出路も含んでいる。 ● 心臓MRIによるEFと相関する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 画像の質が十分でなくてはならない。 ● 負荷依存性である。 ● オフラインの解析が必要で、かつ経験が必要。 ● 予後との関連についてデータがない。
			
右室長軸方向収縮能			
TAPSE	<ul style="list-style-type: none"> ● 拡張末期から収縮期ピーク間のMモード法における三尖弁輪の長軸方向移動距離（mm）を求める。 ● 心尖部アプローチによる、右室の長軸方向カーソルの適切な調整が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 予後予測因子として確立している。 ● 放射線検査で求めたEFと相関している。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 角度依存性。 ● 右室全体の機能指標としては不十分。
			
パルス組織ドブラ法によるS波	<ul style="list-style-type: none"> ● 心尖部アプローチにおいて、ドブラビームと右室自由壁の長軸運動が平行となるように、パルスドブラ法で三尖弁輪の収縮期ピーク速度を求める。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 容易に施行可能。 ● 再現性が高い。 ● 放射線検査で求めたEFと相関している。 ● 予後予測因子として確立されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 角度依存性。 ● 右室全体の機能指標としては不十分、特に開胸術、肺動脈血拴内膜除去術や心臓移植後。
			
カラー組織ドブラ法によるS波	<ul style="list-style-type: none"> ● カラー組織ドブラで三尖弁輪の収縮期ピーク速度を求める。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 撮像後に計測が可能。 ● 同心拍内で複数の計測が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 角度依存性。 ● 右室全体の機能指標としては不十分、特に開胸術、肺動脈血拴内膜除去術や心臓移植後。 ● パルスドブラ法によるS波と比較して絶対値や基準範囲が低い。 ● オフラインでの解析が必要。
			

表 10 右室機能指標の正常値

Parameter	Mean ± SD	Abnormality threshold
TAPSE (mm)	24±3.5	<17
Pulsed Doppler S wave (cm/sec)	14.1±2.3	<9.5
Color Doppler S wave (cm/sec)	9.7±1.85	<6.0
RV fractional area change (%)	49±7	<35
RV free wall 2D strain* (%)	-29±4.5	>-20 (<20 in magnitude with the negative sign)
RV 3D EF (%)	58±6.5	<45
Pulsed Doppler MPI	0.26±0.085	>0.43
Tissue Doppler MPI	0.38±0.08	>0.54
E wave deceleration time (msec)	180±31	<119 or >242
E/A	1.4±0.3	<0.8 or >2.0
e'/a'	1.18±0.33	<0.52
e'	14.0±3.1	<7.8
E/e'	4.0±1.0	>6.0

MPI, Myocardial performance index.

ストレイン値は機械やソフトウェアにより数値が異なることがある。

6. 基本的なエコーウィンドウと画像

右室の大きさ、収縮機能、拡張機能、右室収縮期圧を総合的に評価するには、心尖部四腔像、RV に焦点を当てた四腔像、修正した心尖部四腔像、左傍胸骨長軸、短軸、左傍胸骨右室流入路、心窩部ビューは必須である (図 7A) ¹⁾。

ほとんどの場合、右室に焦点を当てた画像は、左室を中心に据える普通の四腔像よりも右室自由壁全体を観察するのに適している。その結果、右室に焦点をあてた専用の四腔像を用いて右室を計測することを勧告する。図 7 と表 7 で、右室のさまざまな画像 (ビュー) と測定方法を示した。

(訳: 赤石 誠)

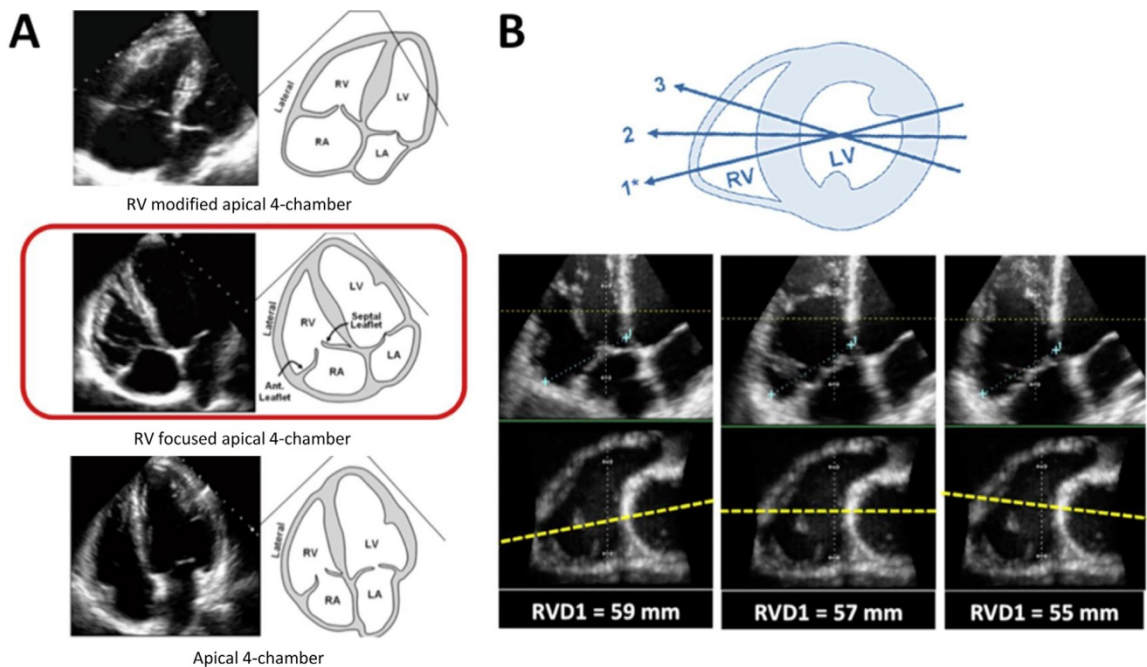


図 7 (A) 右室を描出する 3 つの心尖部ビュー。中央が右室に焦点を当てたビュー (RV-focused View) (B) RV-focused View では、右室の基部が最大になるようにすることが原則。右室の短軸のシェーマ図の下は、右室の三次元収集データを細工して、点線のごとく 3 つの RV-focused View を作ったものである。右室の三日月型の形については、四腔像にバリエーションがあることがわかる (破線で断面を示している)。そのために右室の大きさを内径で測定すると、様々な数値が得られてしまうことがわかる。

7. 右室計測

7.1 一次元計測法

右室径の定量的測定は重要であり、見た目だけの評価より検査者間の誤差を減らすことができる⁷¹。右室の形状は複雑であり、基準点となる解剖学的構造物がないため、断層心エコー法での評価は難しい。

従来の左室を中心とした心尖部四腔像では右室断面が一定にならないため、右室径や面積の測定はエコーの当て方が少し変わるだけで大きく変化する(図7B)。右室径はトランスデューサーを外側または内側に回して得られる右室に焦点を当てた心尖部四腔像(RV-focused apical four-chamber view)での測定が最良である(図7A, 表7)。画像を得る際に左室心尖部をセクターの中心に描出し右室基部径を最大にすることが重要で、過小評価を防ぐことができる。右室の大きさや胸骨との位置関係で右室自由壁の描出が難しい場合、右室測定の正確性は限られる。最近のデータでは状況によって体表面積で右室の大きさを補正することを勧めているが、これらの報告では右室中心像の測定基準点が明らかではなく、右室径よりむしろ右室面積が用いられている^{73,74}。右室径の基準値は表8に記載している。一般的に右室に焦点を当てた心尖部四腔像(RV-focused apical four chamber view)で、基部が41mm以上、中部が35mm以上であると右室拡大が示唆される。

7.2 容積計測

三次元心エコー法は右室容積の測定が可能であり(図8)、従来の断層心エコー法の右室画像での計測方向や基準点などの問題点を克服できている。技術的には難しいが、特に画像の質が完全でない、または高度な右室拡大を呈している患者においても正確な右室収縮期容積、拡張期容積を測定することが可能であり、右室駆出率も計算できる。3Dを用いた右室の実臨床における描出法や解析法が欧州心エコー図学会や米国心エコー図学会から最近提唱された⁶¹。右室容積の解析では、左室腔の変化を基準とせず右室容積が最大、最小になるフレームをそれぞれ拡張末期、収縮末期とマニュアルで定義することが極めて重要である(表7)。心筋の肉柱や調節帯(moderator band)は内腔に含め、右室の輪郭は心内膜や三尖弁輪の動きに厳密に合わせて計測すべきである。

三次元心エコー法での右室容積測定は心臓MRIと比較し過小評価となる傾向にあるが⁷⁸、心臓MRIと同様に三次元心エコー法で測定した右室容積と駆出率にも年齢や性別ごとに関連性が示されている⁷⁹。総じて、女性は体表面積で補正しても三次元心エコー法で評価した右室容積は小さく、駆出率が高い⁷⁵。さらに高齢ほど右室容積は小さく(拡張末期容積で5mL/10年、収縮末期容積で3mL/10年ほど減少すると推定される)、駆出率は高くなる(10年で1%高くなる)⁷⁵。三次元心エコー法で測定した右室容積(体表面積で補正)と駆出率の基準値は表8と10にまとめた。年齢、性別、体表面積と関連づけた詳細なデータは付録の表8に記載した⁷⁵。心臓MRIにより計測した右室容積は人種によって有意に影響を受けるが⁷⁹、三次元心エコー法のデータはまだ明らかではない。

勧告

右室の大きさは従来の断層心エコー法で多断面から日常的に評価し、報告書には定性的、定量的両方の指標を記載すべきである。三次元心エコーの経験がある施設では、右室容積が臨床的に重要な場合、三次元心エコー法による測定が推奨される。三次元心エコー法による右室容積の基準値はより多くの患者群で確立される必要があるが、現在の発表データによると基準上限値は拡張末期容積で男性87mL/m²、女性で74mL/m²、収縮末期容積は男性で44mL/m²、女性で36mL/m²である。

(訳：平出貴裕、村田光繁)

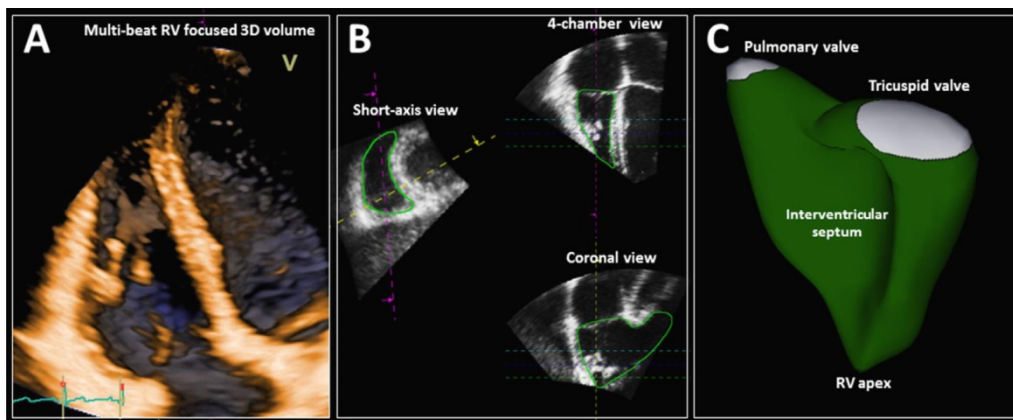


図8 右室(RV)の三次元解析。(A) 右室に焦点を当てた心尖部四腔像を用いて、数拍(4-6拍)の連続心拍とり、それらから作成した部分の容積を求め、それらを合計して、3Dのデータセットとして収集する。(B) 右室短軸断面、四腔断面、冠状断面の画像を用いて、拡張末期、収縮末期それぞれで、半自動的に右室の心内膜面を認識し、トレースする(最初の始点のみ手作業で行う)。(C) そのようにして作られた右室の表面モデルは右室の収縮末期、拡張末期容積、1回拍出量、駆出率の定量化を可能にする。

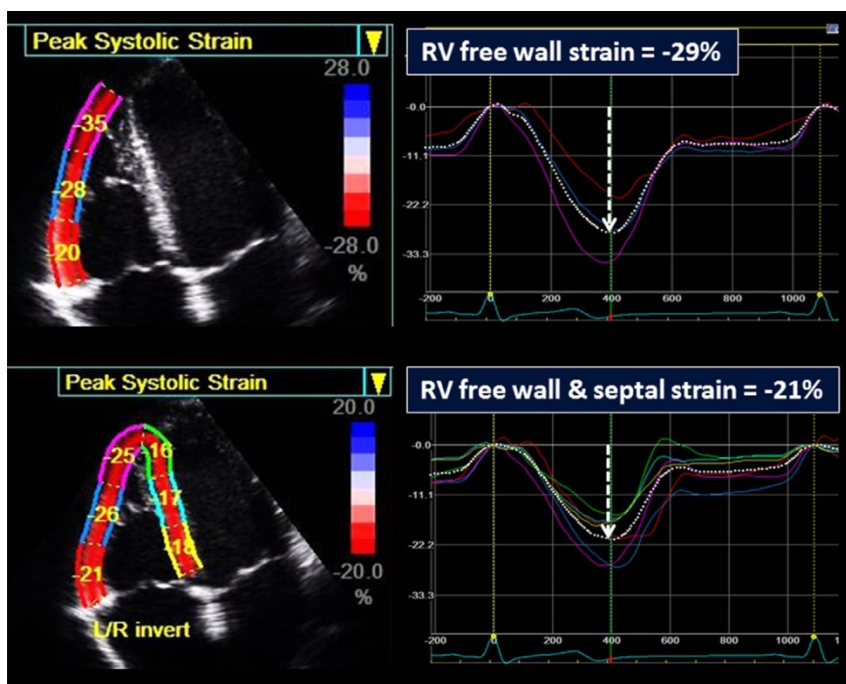


図9 2Dスペックルトラッキングエコー法による右室収縮期ストレインの計測。上段は、右室全体の自由壁のストレインを示している。これは、右室自由壁の3つの区画の平均である。下段は、右室全体の長軸方向ストレインで、心尖部四腔像の6分画、すなわち右室自由壁3分画と心室中隔3分画の合計6分画の平均である。ここで注目すべきは、右室自由壁のストレインの方が、自由壁と心室中隔を合わせたストレインよりも大きい(絶対値として)ということである。広く認められた標準が確立されるまでは、右室長軸方向ストレインの解釈をする際には、この値は、方法論、使用する機器や手法に左右される数値であることを考慮しておく必要がある。

8. 右室収縮能

右室収縮能は RV index of myocardial performance (RIMP)、三尖弁輪収縮期移動距離 Tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE)、断層(2D)心エコー法による右室面積変化率 Functional area change (FAC)、3次元(3D)心エコーによる右室駆出率、組織ドプラ法や2Dスペックルトラッキング(STE)法による S'、長軸方向ストレインとストレインレートを含む複数の指標で評価されてきた²⁵(表9)。複数の研究によって RIMP、TAPSE、2D FAC、三尖弁輪部 S'、STE 法による長軸方向ストレインの臨床現場での有用性が証明されてきた。3D 心エコーによる右室駆出率は、正しく撮像された場合には信頼性と再現性が高く、正常値に関する多数のデータが得られている。(表10と付録表8)

8.1 RIMP

RIMP は右室全体の機能を表す指標である。等容収縮時間、等容弛緩時間、そして駆出時間の間隔は、三尖弁輪側壁のパルスドプラ法または組織ドプラ法を用いて、同じ心拍内で計測されるべきである(表9)。パルスドプラ法を用いて RIMP を計測する場合、非連続性心拍は RR 間隔が同じ心拍で計測することが重要である。組織ドプラ法による RIMP 計測においては、駆出時間と等容収縮時間と等容弛緩時間を同じ画像で計測可能なので、RR 間隔を揃えなくてはならないという問題は存在しない。RIMP は等容弛緩時間を短縮させるような状況、つまり右房圧が上昇する状況においては過小評価となる場合がある。パルスドプラ法による RIMP が 0.43 以上、組織ドプラ法による RIMP が 0.54 以上は右心機能障害とされている。

8.2 TAPSE

TAPSE は容易に計測可能で右室長軸方向の機能を反映している。心尖部四腔像における三尖弁輪側壁方向に的確にカーソルを合わせた M モード法によって計測される(表9)。この指標は主に右室長軸方向の機能を反映しているにも関わらず、放射線検査で求められた右室駆出率、断層心エコー法で求めた FAC や右室駆出率など右室全体の収縮能を表す指標と良い相関を示すことがわかっている。トランスデューサーの位置による一方向の計測であるため、心臓の移動 translation によって TAPSE は右心機能を過大評価、または過小評価してしまうことがある⁷⁹。TAPSE の値に関しては性別および体表面積による多少の変動はあるが、一般的には 17mm 未満が右室収縮障害を強く示唆しているとされている。

8.3 RV 2D FAC

FAC は右室収縮機能全体を評価する指標である。収縮期および拡張期のどちらにおいても、心尖部と自由壁を含む右室全体が描出されている断面で計測されることが重要である。右室の心内膜をトレースする場合は右室内腔の肉柱も必ず含まなくてはならない(表9)。RV FAC が 35% 未満で右室収縮障害を示す。

8.4 組織ドプラ法による三尖弁輪側壁収縮速度

組織ドプラ法を用いて計測された S' は、容易に計測することが可能で信頼性と再現性があり、他の右室全体の収縮指標とも良い相関があることが示されている。多数の健康人データにおける、年齢別のカットオフ値が報告されている 80。S' の過小評価を避けるために、右室自由壁基部と弁輪部がドプラのカーソルに一直線に並ぶように維持することが重要である(表9)。

TAPSE と同様に、S'はトランスデューサーの位置に依存しているため、心臓全体の動きによって影響を受ける場合がある。自由壁における S'が 9.5cm/sec 未満の場合は右室収縮障害が示唆される。

勧告

特に右室自由壁における 2D STE を用いたストレインは再現性が高く、臨床現場において実用性が高い。多機種の超音波診断装置を用いた大規模研究における健常データが必要であるため、全体または局所的右室ストレインまたはストレインレートに関して現在推奨されている絶対的な基準範囲はない。

(訳：寺本佳楠子、鈴木健吾)

III 左房と右房

左房は、左室への血液流入とパフォーマンスに影響を与える 3つの主要な生理学的な役割を演じている。左房は、(1) 拡張期に流入する左室への血液流入の 15~30%を担う収縮ポンプ(ブラスター)、(2) 左室が収縮している間に肺静脈から血液を集めて左房に血液を貯留させておくというリザーバー、(3) 左室の拡張早期に左房から左室へ貯留していた血液を誘導する導管の3つの役割を演じている^{92,93}。拡大した左房は、心血管系の有害事象と関連する^{94,99}。僧帽弁疾患がなければ、左房の大きさは、心筋障害による左房機能障害とともに^{104,105}、左房圧増加による左房壁の張力を反映している^{100,103}。拡大した左房は、心房細動と脳卒中の罹病率^{9,106,115}、心筋梗塞後の全体死亡率^{104,105,116,117}、拡張型心筋症の死亡率、入院リスク^{118,122}、糖尿病患者の主要心イベント¹²³、死亡リスクと関連していることが明らかにされている。左房拡大は、拡張機能障害の重症度、慢性化の程度、左房圧上昇のマーカーである^{96,100,103}。

9. 左房計測

9.1 左房計測における概論

経胸壁心エコー法は左房の大きさの計測に推奨されており、その測定項目と計測法について表 11 に要約した。経食道心エコー法は、しばしば左房全体を画像の中に収めることが難しい。従って、経食道心エコー法によって左房の大きさを評価することは推奨されない。左房の大きさは、左房腔が最大となる左室収縮期の終わりで計測されるべきである。左房の大きさと容積を計測する際は、左房が短く描出されないような注意が必要である。左室と左房の長軸は、しばしば異なる断面に存在することから、最適な左房容積の計測には心尖部アプローチ法の習熟が必要である。左房の基部が最大となる時が、その断面が左房短軸の最大面を通過していることを示している。左房の長さも左房の真の長軸に沿って最大となるようにするべきである。左房容積を計測するためにディスク法を用いる場合は、心尖部二腔および四腔像から得られた左房長径が近似していなくてはならない。左房の心内膜をトレースする際には、肺静脈と左心耳の合流部は含めないように留意する。房室接合部に関しては、僧帽弁尖の先端ではなく僧帽弁輪を結んだ面で評価されるべきである。

9.2 左房径と左房面積の計測

最も広く使用されている計測法は胸骨左縁長軸像での M モード心エコー法、または断層心エコー法から得られる左房前後径である^{92,107,109,110,114,118,120,121,124,125}。この計測法は実際の臨床現場で広く使用されてきたが、しばしば左房の大きさを正確に表すものではないことが明らかとなった^{126,127}。左房前後径が広く使用されてきた背景は、最も再現性のある計測法だった

からである。しかし、左房の大きさを前後径だけで評価することは、左房が拡大する際に、他の方向にも前後方向と同様に拡大すると仮定しているが、実際はそうではない^{128,130}。それゆえ、左房前後径のみから左房の大きさを評価するべきではない。左房面積は心尖部四腔像と心尖部二腔像において計測可能で、正常値も報告されている¹²。左房の長軸に沿って直交する断面で記録する。左房の長軸を軸に直交する2つの画質のよい断面で左房の最良の輪郭を得なくてはならない。その時には、左房が小さくならないように配慮する。臨床現場において左房容積が容易に測定されるようになり、その正常値や予後指標としての有用性も多く報告されるようになったので、左房面積を測定する必要性は低くなってきている。

9.3 左房容積の計測

左房の大きさとリモデリングの評価には、左房容積の評価が推奨される。左房容積は、多方向に拡大した左房の大きさを評価することが可能である。左房容積は様々な心疾患における重要な予後因子であることが示されている^{99,106,112,113,115,117,122,131,136}。左房前後径に比べて、左房容積は心疾患患者の予後と強い関連がある^{113,137}。心エコー法によって得られた左房容積は CT や心臓 MRI によって測定された左房容積よりも過小評価する傾向があるといわれている。左房容積は慢性的な左室充満圧上昇による負荷を反映していることから重要とされ、強力な予後予測因子である。

左房容積の計測にはいくつかの方法がある。楕円形モデルを利用する際には3つの径(長径 L、直行する短径 D1、D2)が左房容積を計算するのに用いられるが^{131,137,143}、これらの径の相対的な不正確さがこの方法の問題点である。左房容積は左室容積を測定する場合と同様にディスク法を用いて計測されるべきである(表 11)^{144,145}。

左房心内膜の境界を心尖部四腔像と心尖部二腔像の両方でトレースする。Single-plane 法も用いられるが、これは左房の短軸断面が円形であるという物理的な仮定を前提としており、常に正確とは限らない。日常診療でルーチンな使用には適さないが、この方法は両断面でのトレースが困難な場合には用いることができる。心尖部四腔像のみの Single-plane 法によって算出された左房容積は、心尖部二腔像のみと比較して、たいてい 1~2ml/m²ほど小さいとされている^{12,146}。

それに対して、Biplane 法は心尖部四腔像と心尖部二腔像から得られた左房面積や左房長径を用いて計算することができる(表 11)。Area-length 法は左房が楕円形であるということ前提としているが、左房の面積と長径(心尖部四腔像と二腔像で計測される長径のうち、短い方の長径を採用)の2つだけで計算できるという利点がある^{98,147}。

9.4 左房計測値の正常値

2005年の心内腔定量化に関するガイドラインの発表以降、左房径の正常値に関する報告が2件あった^{12,143}。これらの値は以前の通りであり、左房前後径の正常値に関して一切修正は加えられなかった(付録表9)。臨床現場でルーチンには推奨されないが、心尖部四腔像と心尖部二腔像それぞれの正常値と体格で補正されていない左房面積と左房容積も報告されている¹²。

左房の大きさは性別に依存している。しかし、左房の大きさにおける性別の違いは、体格による補正で説明される¹²。補正の方法はいくつか提案されているが^{137,148}、体表面積で補正する方法が一般的であり、ガイドラインで推奨される方法である。左房の大きさにおける性別の違いは、体表面積による補正で説明され、補正された値のみが報告されるべきである^{93,137,149,150}。

心内腔定量化に関するガイドライン発表以前は、体表面積で補正された左房容積係数の正常値は、症例数が少ない2つ

の研究をもとに報告されたものであった。ガイドライン発表後、area-length 法またはディスク法を用いて算出された左房容積の正常値について 8 つの研究結果が追加報告された [11,12,145,147,151-155](#)。これにより左房容積係数の上限値は $34\text{ml}/\text{m}^2$ へ（以前は $28\text{ml}/\text{m}^2$ ）と変更になった。さらに 5 つのデータベースから合計 1331 人の患者における、左房容積のデータが入手可能となり、左房容積係数の平均が $25\text{ml}/\text{m}^2$ であることがわかった。この変更された $34\text{ml}/\text{m}^2$ という上限値は予後リスクの観点から、正常と拡大した左房の境界を判別するのに適していると推測された [106,123,134,136](#)。この境界値は ASE とヨーロッパ心臓超音波学会ガイドラインの拡張障害における評価とも一致していた [156](#)。左房容積係数の正常値と重症度区分を表 4 に示した。注目すべきことは、左房容積は優秀なアスリートでは増大することがあり、異常であると誤診しないように注意しなくてはならない。

3次元心エコー法は左房容積の評価に有用で、心臓 CT [157,158](#) や MRI [159,160](#) と相関することが期待される。断層心エコー法による左房容積と比較して、3次元心エコー法は心臓 MR よりも正確で [159,160](#) 予後予測因子としても優れているとされている [161,162](#)。多くの研究において、3次元心エコー図によって得られた左房容積は断層心エコー図によって得られた左房容積よりも大きく計測されると報告されている。 [160,163](#) これらの利点が3次元心エコー図にあるにも関わらず現時点で推奨されていないのは、計測法が統一されておらず、正常値との比較が不十分 [164](#) であるからである。

勧告

Biplane のディスク法は Area-length 法よりも理論上正確であり、物理的な前提が少ないため、臨床現場で左房容積を計測するのに適した方法である。男女ともに断層法による左房容積の上限は $34\text{ml}/\text{m}^2$ である。

10. 右房計測

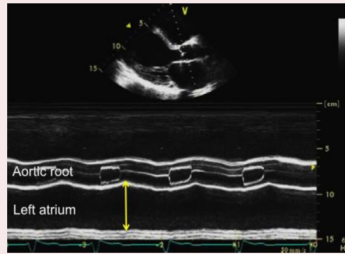
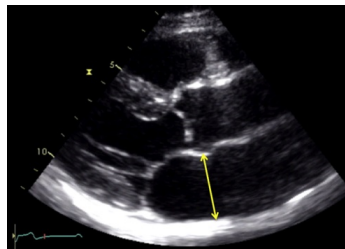
右房の大きさの定量化に関する研究や予後に関するデータは少ない。右房は様々な断層によって評価することが可能であるが、右房の大きさの定量化は心尖部四腔像で最も一般的に評価されている (表 12)。右房側壁から心房中隔までの右房短径と、これに垂直な右房長径から評価される。左房と対照的に、右房の大きさは性別に依存しているようだが、以前の ASE ガイドラインでは性別ごとの正常値を提供できるだけの健常人データが十分に得られなかった [171](#)。3つのコホート研究、併せて 2400 人以上の患者を対象に行われた最近のデータから、男性と女性における右房径の正常値を得ることができた [12,73,165](#)。

左房と同様に、右房の大きさの評価において右房容積は右房径よりも信頼性があり正確である。以前のガイドラインでは、右房容積の正常値を検討するには十分なデータを得ることができなかった。それは、心尖部 biplane の算出に必要な右房に直交する断面が標準化されていないからであり、single-plane での area-length 法、またはディスク法、またはその両方が右房容積の計測として提案された [150,153,165-167](#)。特記すべきことは、男性の正常右房容積は女性よりもやや大きく、体表面積で補正しても性別の違いを説明できなかったが、その原因はわかっていない [150,165](#)。右房容積の正常値は最近行われた 2 つの大きなデータに基づいて記載した [12,165](#) (表 13)。右房容積は、断層法では 3次元心エコーと比較して過小評価となる。 [164,165,168](#) 成人の右房容積は左房容積よりも小さいとされている。 [12,150,153,165](#) これは、左房容積が確立された biplane 法によって得られるのに対し、右房容積は single-plane 法によって得られるからである。

勧告

右房の大きさを評価するのに推奨される指標は右房容積で、右房計測のための心尖部四腔像において single-plane での area-length 法またはディスク法を用いて計測される。断層法における右房容積の正常域は男性で $25 \pm 7\text{ml}/\text{m}^2$ 、女性で $21 \pm 6\text{ml}/\text{m}^2$ である。(訳：寺本佳楠子、鈴木健吾)

表 11 左房の大きさに関する心エコー指標の推奨

各指標と計測法	心エコー図	利点	問題点
Internal linear dimensions 左房径 左房の前後径は胸骨左縁長軸像で大動脈の軸に垂直となる断面において、leading-edge to leading-edge 法を用いてバルサルバ洞レベルで計測する。	Mモード法トレース 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高い再現性。 ● 高い時間分解能。 ● 豊富な臨床試験データ。 	左房一方向の長さのみであり、実際の左房の大きさを反映していない (特に心房が拡張した場合)。
	2Dガイドで長さを計測 	<ul style="list-style-type: none"> ● 左房後壁の垂線であり容易なオリエンテーションである。 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mモードと比較して低いフレームレート。 ● 左房一方向の長さのみ。

(続く)

表 11 左房の大きさに関する心エコー指標の推奨（続き）

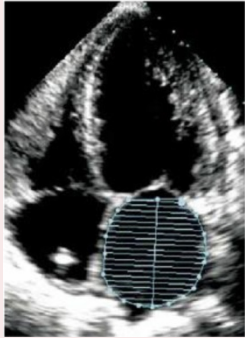
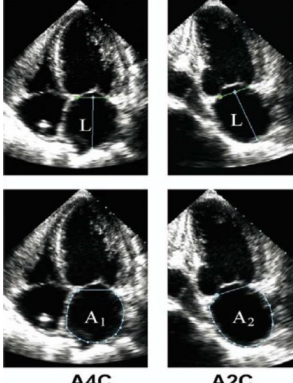
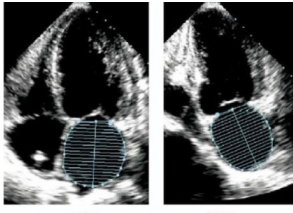

各指標と計測法	心エコー図	利点	問題点
<p>Area 左房面積 心尖部四腔像において、僧帽弁が開放する直前の収縮末期に左房内膜の境界をトレースする。僧帽弁輪直下と肺静脈の入口部は除外する。</p>	<p>2D 断層図</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 左房前後径よりも実際の左房の大きさを反映している。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 左房が短く描出されないようなエコー断面が必要。 ● 左房が対称形であるという仮定に基づいている。
<p>Volume 左房容積 断層法による計測は心尖部四腔像と心尖部二腔像における blood-tissue interface のトレースに基づいている。僧帽弁レベルは、対側の僧帽弁輪部を直線で結ぶ。左心耳と肺静脈は除外されるべきである。左房長径は心尖部四腔像と心尖部二腔像から得られた 2 つの長径のうち短い方と定義されている（2 つの長さは 5mm 以内の違いでなければならない）。左房容積は下記の area-length 法を用いて計算される（A1 と A2 はそれぞれ心尖部四腔像と心尖部二腔像から得られた左房面積である）。もう一つの方法は、ディスク法と用いて計測される。左房が楕円形であることを仮定して、高さ h、左室長軸に対し直角な 20 のディスク面積（D1×D2）の総和を下記の式で算出する。</p>	<p>2D 断層図 Area-length 法</p>  <p>A4C A2C</p> <p>Biplane ディスク法</p>  <p>A4C A2C</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● リモデリングで非対照形に拡大した左房を正確に評価できる。 ● 左房の径や面積より強固な心血管イベントの予測因子である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 左房の形状について、物理的な仮定が必要。 ● 健常人データの不足。 ● 単一断面のみから算出された場合は不正確（A1=A2 と仮定しているため）。
	<p>3D data sets</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 左房の形に関する物理的な仮定が不要。 ● 断層法と比較してより正確。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 画質に依存的。 ● 低時間分解能。 ● 健常人データの不足。 ● 患者協力が必要。

表 12 右房の大きさに関する心エコー指標の推奨

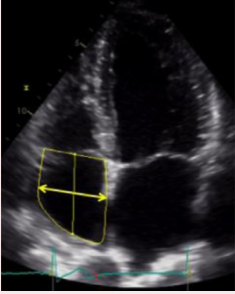
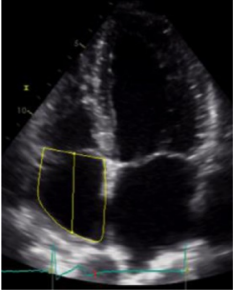
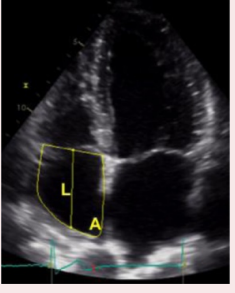
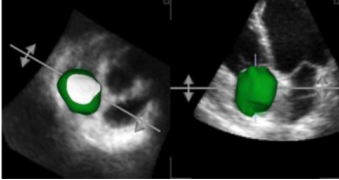
各指標と計測法	心エコー図	利点	問題点
<p>linear dimensions 右房径 右房短径は心尖部四腔像において、右房長径の半分の高さでの右房側壁から心房中隔の長さとしてされている。</p>	<p>断層法による右房内径</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 容易に計測可能。 ● 確立された健常人データがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右房一方向の長さのみ。 ● 対称的な右房拡大を仮定。 ● 断面に依存的。
<p>Area 右房面積 心尖部四腔像において、三尖弁が開く直前の収縮末期に右房内膜の境界をトレースする。右房 blood-tissue interface をトレースし、三尖弁輪直下の面積は除く。</p>	<p>断層法</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右房径より実際の右房の大きさを反映している。 ● 確立された健常人データがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右房収縮を防ぐための専用断面が必要。 ● 右房が対称形であるという仮定に基づいている。 ● 断面に依存的。
<p>断層法による計測は心尖部四腔像と心尖部二腔像における blood-tissue interface のトレースに基づいている。三尖弁レベルは、対側の三尖弁輪部を直線で結ぶ。右房容積は下記の area-length を概算する式を用いて計算される。</p> $\frac{8}{3\pi} \left[\frac{(A)^2}{L} \right]$ <p>もう一つの方法は、ディスク法を用いて計算される。</p>	<p>断層法</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右房径より実際の右房の大きさを反映している。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右房の形状について、物理的な仮定が必要。 ● 対称的な右房拡大を前提としているので単一断面のみから算出された場合は不正確。 ● 健常人データの不足。
<p>三次元データは multibeam full-volume acquisition を用いて心尖部アプローチから得られる。</p>	<p>3D</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 右房の形状に関する物理的な仮定が不要。 ● 確立された健常人データがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 撮像画像の質に依存的。 ● 低時間分解能。 ● 患者協力が必要。

表 13 断層法による右房サイズの正常値

	女性	男性
右房短径	1.9±0.3	1.9±0.3
右房長径	2.5±0.3	2.4±0.3
右房容積	21±6	25±7

IV. 大動脈弁輪と大動脈基部

経カテーテル的大動脈弁植え込み術 (TAVI / TAVR) の普及に伴って、大動脈基部～大動脈弁の形態における詳細な知識とその定量化の重要性が増してきている。TAVI/TAVR の術前計画、術中ガイド、術後評価において、この領域の知識はとくに重要である。

大動脈基部は左室流出路内の大動脈弁の付着部から、sinotubular junction (STJ) 内の大動脈弁の付着部までをさす¹⁶⁹。大動脈基部は次に挙げる解剖学的複合体；(1) 大動脈弁輪(2) 弁尖間三角(3) 半月型弁尖とその付着部(4) Valsalva 洞(5) STJ から構成される¹⁷⁰⁻¹⁷²。大動脈の計測部位は、(1) 大動脈弁輪(2) Valsalva 洞の最大径(3) STJ (通常は上行大動脈と Valsalva 洞の境界部分)(4) 上行大動脈近位部の最大径 (STJ からの距離を併記) である (図 10A)。

11. 大動脈弁輪

大動脈弁輪とは、真の、あるいは明確な解剖学的構造物ではなく、仮想弁輪と呼ばれる大動脈弁三つの弁尖それぞれの最下点を結ぶ平面で決定される。弁尖の最も外側は冠状の形をし、真の弁輪を形成している (図 10B)。大動脈弁基部円周の外側 3分の2 は中隔心筋と接し、残り内側 3分の1 は線維性連続を介して僧帽弁前尖につながる¹⁷⁴。TAVI/TAVR 術前における大動脈弁の計測は困難で、計測のための画像診断技術ははまだ確立されていない。初期の TAVI/TAVR において、大動脈輪計測は断層心エコー法で評価された。TAVI/TAVR の黎明期における標準アプローチは、弁輪径の1次元計測 (長さ) であり、留置弁のサイズを決定するには限界があった。大動脈弁輪を計測するために広く使われている二つの心臓イメージング法として、心エコー法のほかに多列 CT (MDCT) がある。

心エコー検査において、大動脈弁輪はズーム法を用いて大動脈弁尖のヒンジポイント (多くは右冠尖のヒンジポイントから、左冠尖と無冠尖の交連部の間) を内側-内側境界間で計測する。収縮中期において計測するが、理由は大動脈弁輪が拡張期に比べやや大きく、丸くなるためである。他のすべての大動脈計測は、大動脈長軸と正確に直交する断面において拡張末期で計測される。大動脈弁輪は石灰化のために計測が難しいことがある¹⁷⁶⁻¹⁷⁹。一般的なルールとして、石灰化の突出物は内腔の一部として評価され、壁とは評価されず、径の計測において除外されるべきである。

一般的に、前後径は、経胸壁心エコー検査 (傍胸骨長軸像) および三次元経食道心エコー検査 (大動脈基部を含む長軸像、おおむね 110~130 度) で計測され、MDCT 上で最も小さく計測される径である^{3,176,180}。しかし、弁輪はしばしば楕円形であり、様々な径があるので、三次元イメージングで決定した適切な断面で計測するのが好ましいと、ヨーロッパ心血管画像学会、アメリカ心エコー学会のガイドライン¹⁸¹、TAVR におけるアメリカ心臓病学会、アメリカ胸部外科学会、カナダ血管造影学会、カナダ胸部外科学会の合意文書¹⁸²、心血管画像学会の合意文書など^{183,184-187} において示されている⁵。

三次元経食道心エコー検査を用いて、前後径 (矢状断)、横径 (冠状断)、円周長、弁輪面積は、収縮中期の適切な断面で計測されるべきである (図 11)。前後径と横径の両者の差は最大で 6mm にもおよび^{173,188-193}。詳しい順序だった計測法について、最近の 4 つの報告がある¹⁸⁴⁻¹⁸⁷。この手法を用いると MDCT で計測した値と合致することが示されている^{184,185}。

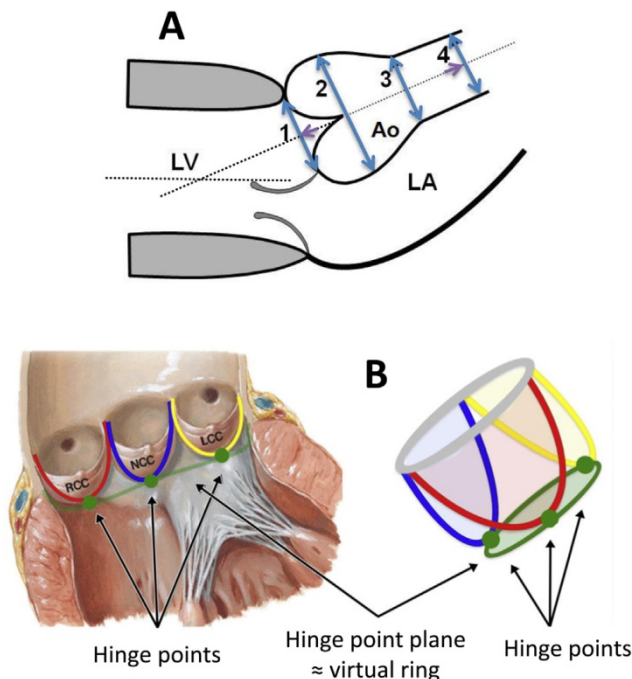


図 10 (A) 大動脈基部と上行大動脈の計測部位。計測すべき 4 つの部位について図示する (水色矢印)。 (1) 大動脈弁輪 (弁尖の hinge point: ヒンジポイント、緑点) (2) Valsalva 洞の最大径 (多くは中部で最大となる) (3) STJ (4) 上行大動脈近位部の最大径 (計測部から STJ までの距離を併記)。大動脈弁輪は収縮中期で計測するが、他の径については拡張末期で計測する。左室長軸と大動脈基部～上行大動脈近位部を結んだ軸は異なる (破線)。その 2 つの軸のなす角度は年齢や病態によって異なる。 (B) 大動脈基部の正常構造。大動脈弁輪は大動脈基部構造のうちの最狭部で計測する。すなわち 3 つの弁尖それぞれの最下点を結ぶ平面で形成される仮想弁輪 (virtual ring: 影付部) である。画像元は Kasel らの報告。184 Ao: 大動脈, LA: 左房。

これらの手法を用いる際に、三次元心エコー法と MDCT のそれぞれの利点に注目すべきである。それぞれの手法には明らかな利点と問題点がある。MDCT の明確な問題点は造影剤を使うこと、被爆すること、リアルタイムでの計測が困難、心拍数をコントロールする必要があることである。三次元心エコー検査での問題点を次に示す。第一に、専用のソフトウェアが必要であり、Kasel ら¹⁸⁴や Pershadet ら¹⁸⁵が示したとおり、すべてのプラットフォームで用いることが現時点ではできない。第二に弁輪の胸壁側は弁輪石灰化によりエコーが欠損してしまうことであり、さらに石灰化により正確な内膜面の同定が困難である。第三に 3 つの弁尖の最下面がしばしば左室流出路や大動脈基部と直交しないことである。右冠尖は左冠尖・無冠尖より低位となることが多い¹⁸³。第四に、三次元心エコー検査の時間・空間分解能が現時点では制限されていることである。最後の問題点として、手技自体が検査者の技術に依存しており、経験を積んでも評価困難となることがある^{173,174}。これらの問題点があるので、大動脈弁輪計測においては、複数の画像診断技術によるアプローチが重要である。

(訳: 楠瀬賢也、山田博胤)

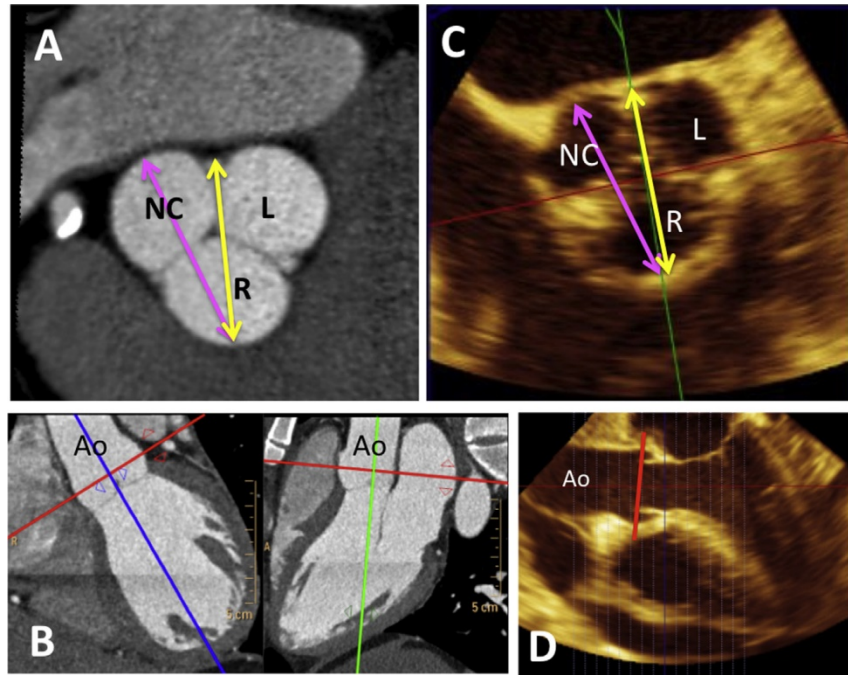


図 11 CT (A) および 3DTEE (C: 拡大断面像) を用いた大動脈基部計測。前後径は左冠尖 (L) と無冠尖 (NC) 間の交連部内側から反対の右冠尖 (R) までの部分であり、黄色矢印で示され、小さめに計測される。横径は右冠尖と無冠尖の中部間で最も離れた部分であり、紫色矢印で示され、大きめに計測される。パネル B は CT で大動脈基部の直交断面をズームした画像である。パネル D は 3次元再構築画像データから切り出した大動脈の長軸画像である。B および D の赤色ラインは Valsalva 洞の計測すべき断面を示す。

12. 大動脈基部

大動脈基部径 (Valsalva 洞の最大径) は、経胸壁断層心エコー法の傍胸骨長軸像で大動脈基部および上行大動脈近位部を描出した断面から計測すべきである。この断面は左室長軸像とはわずかに異なる (図 10A)。この断面を描出するために、異なる肋間もしくは通常よりも胸骨から距離を離してのアプローチが必要なことがある。またマトリックス探触子を用いたバイプレインモードでの直交 2 断面の使用も有用とされている。上行大動脈は、通常の傍胸骨アプローチでは十分な観察が難しいことが多く、そのような場合、探触子をより胸骨に近づけることにより、上行大動脈がより広範囲に描出することができる。特に大動脈が拡張している症例では、第 2 または第 3 肋間の右胸骨アプローチから上行大動脈が明瞭に描出されることがある。

計測は、大動脈長軸と垂直方向で、最大大動脈径が描出された状態で行う必要がある。大動脈弁が三尖の症例では、弁尖の接合部 (典型的には右冠尖および無冠尖の接合部) が、大動脈基部腔の中心かつ、閉鎖弁尖が 2 枚の弁尖のヒンジポイントを結んだラインから大動脈側にある状態で行わなければならない。接合部が中央になく、弁尖が非対称的に描出される場合 (弁尖の接合部分がどちらかの弁尖のヒンジポイントに偏っている場合) は、最大径断面が描出されていないことを示している (図 12)。

大動脈基部および大動脈の定まった計測方法は残念ながら存在しない。心エコー法では、上縁から上縁で計測 (リーディングエッジ-リーディングエッジ: L-L 法) を行うもの、MDCT や CMR などの他のモダリティでは、内縁から内縁 (インナーエッジ-インナーエッジ; I-I 法) または外縁から外縁 (アウトターエッジ-アウトターエッジ) で計測を行う。モダリティ間で一定し

た計測を行えるよう、ASE や EACVI のガイドライン作成委員会は同意文書 194 の中で、大動脈基部や大動脈の計測の標準化のため、心エコー法においても I-I 法での計測に変更することを勧めた。しかし、モダリティ間で計測法を一致させる目標は次に述べる理由から達成されなかった。①現在使用されている大動脈径の基準値は L-L 法を用いて得られている 195, 196、②L-L 法では I-I 法よりも大きな径 (+2~4mm) となるため、I-I 法へ切り替えることによって、計測値をこれまでよりも過小評価し、大動脈解離や破裂といった致死性の疾患において、現在のガイドラインでの治療介入の基準値では、治療介入が必要な症例を見逃してしまう危険性がある、などの理由である。これらの理由から、I-I 法を用いるべきではあるが、現在も大動脈基部および大動脈の計測は L-L 法を用いて行うことを推奨している。

Mモード法ではカーソル位置が心収縮によって変化するため、大動脈径の計測は Mモード法よりも断層心エコー法による計測が好ましいとされている。並進運動 (translational motion) によって、Mモード法による大動脈径の計測値は、断層心エコー法と比較して過小評価 (約 2mm) につながる可能性がある 195。胸部大動脈は、経胸壁心エコー法と比較して経食道心エコー法で探触子がより近くなるため、良好に観察できる。大動脈基部および上行大動脈は、中部食道レベルの大動脈弁長軸像 (約 120~140° の 3 腔像) で最もよく観察でき 3、上行大動脈の短軸像は、中部食道レベルの約 45 度断面で最もよく観察できる。下行大動脈は、横隔膜レベルから大動脈弓まで、0° の短軸像および 90° の長軸像で観察するべきとされているが、現在の 3次元心エコー法のバイプレインイメージングにより、短軸像および長軸像の同時観察が可能となる。

(訳: 西村俊亮、泉 知里)

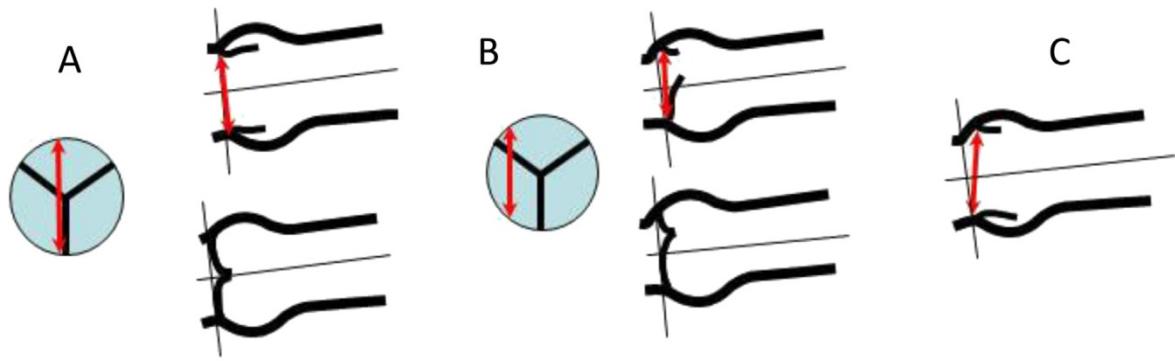


図 12 正しい弁輪計測 (A) と間違った弁輪計測 (B, C) .

弁尖の閉鎖部を中央において弁輪径を計測する。細い線は上行大動脈の長軸ラインと、その長軸ラインに直交する大動脈弁輪径を計測する際の正しいラインを示す。

間違い例、中心を通らない弁輪計測。ヒンジポイント (弁尖附着部位) が少し上行大動脈側にずれ、計測すべき弁尖を結ぶ最下点を示していない。不完全な弁尖の開放および閉鎖が描出される。

13. 大動脈基部拡大の評価

大動脈基部拡張は、大動脈弁閉鎖不全症の発症や進行¹⁹⁷、また大動脈解離の発症と関連する。高血圧は、バルサルバ洞の拡大にはあまり影響はないが¹⁹⁷、より遠位の大動脈の拡大には関連がある。バルサルバ洞径の測定は、体表面積 (BSA) および年齢と密接に関連している。それゆえ、BSA は、公表された式¹⁹⁵を用いて、20 歳未満、20 歳以上 40 歳未満および 40 歳以上の 3 つの年齢層における大動脈基部径を予測するために使用される。バルサルバ洞は、大きな母集団における分布の 95% 信頼区間の上限を超えた場合に拡張と定義される。大動脈の拡張は、以前に公表されたノモグラムに BSA と大動脈基部の径をプロットすることで容易に検出することができる (図 13)¹⁹⁵。

表 14 や図 13 は、3 つの年齢層ごとに BSA に関連してバルサルバ洞径の予測値を求める式を示している。大動脈基部指数、つまり大動脈基部径の計測値・予測値比は、計測値を予測値で割ることによって計算することができる。

勧告

大動脈弁輪径は、収縮中期に内縁から内縁までを測定する (I-I 法)。他のすべての大動脈基部径 (バルサルバ洞、ST 接合部、および近位上行大動脈の最大径) は、拡張末期に、大動脈の長軸の正確に直交する断面において、上縁から上縁にかけて測定する (L-L 法)。バルサルバ洞の最大径の測定値は、年齢および BSA のモノグラムまたは特定のアロメトリー方程式から計算された値と比較する。経カテーテル大動脈弁留置術前には大動脈弁輪の正確な測定が重要であるが、現在まで、大動脈弁輪部測定法のゴールドスタンダードは確立されていない。3 次元経食道心エコー法および MDCT は大動脈弁輪部の測定のための信頼できる、そしておそらく推奨される方法と考えられる。

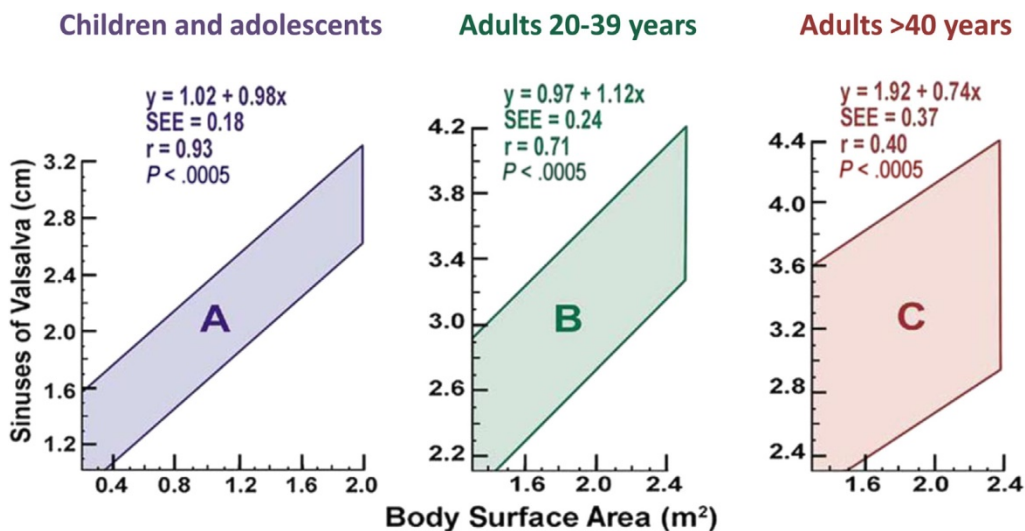


図 13 それぞれ体表面積におけるバルサルバ洞レベルでの大動脈基部径の 95% 信頼区間 (A) 小児および思春期 (B) 20-39 歳成人 (C) 40 歳以上成人 Roman らの報告¹⁹⁵から引用

表 14 正常成人における大動脈基部径

大動脈基部	計測値 (cm)		体表面積補正 (cm/m ²)	
	男性	女性	男性	女性
弁輪	2.6±0.3	2.3±0.2	1.3±0.1	1.3±0.1
バルサルバ洞	3.4±0.3	3.0±0.3	1.7±0.2	1.8±0.2
ST 接合部	2.9±0.3	2.6±0.3	1.5±0.2	1.5±0.2
近位上行大動脈	3.0±0.4	2.7±0.4	1.5±0.2	1.6±0.3

Roman らの報告¹⁹⁵, Hiratzka らの報告²⁰⁴から引用

V. 下大静脈

肋骨弓下からの下大静脈の計測は、ルーチンの経胸壁心エコー法検査項目に含まれている。一般的には、下大静脈の径は、仰臥位で肋骨弓下からのアプローチで長軸を描出し、右房との接合部から 1.0~2.0cm で測定する。正確に計測するために、下大静脈長軸に対して直交する断面で計測する。吸気時には胸腔内圧が陰圧のため、右室への静脈灌流が増加し、下大静脈の径は減少する。下大静脈の径および吸気中の径の減少率は右房圧と相関する。この関係は、虚脱指数 (collapsibility index) として定量化することができる¹⁹⁸。呼吸性変動の評価では、通常の呼吸ではっきりしないことが多く、しばしば短い鼻すすり (sniff) を必要とする。

報告の簡素化と一貫性のために、肺動脈収縮期圧の決定には、右房圧を、範囲ではなく、特定の値で使用すべきである。下大静脈の径が 2.1cm 未満でかつ、鼻すすりでの虚脱が 50%以上であれば、右房圧は 3mmHg (0~5mmHg) であり、下大静脈の径が 2.1cm 以上で、かつ鼻すすりでの虚脱が 50%以下であれば右房圧は 15mmHg (10~20mmHg) である¹⁹⁹。これら以外の場合の右房圧は 8mmHg (5~10mmHg) を使用する、もしくは右房圧の他の指標を統合して、右房圧を適宜変更することが望ましい。若い運動選手では、通常の圧でも下大静脈が拡張していることに注意する必要がある^{200,201}。また、人工呼吸器を装着している患者では、一般的に下大静脈は拡張していて虚脱しないので、このような症例では右房圧推定にルーチンに用いるべきではない²⁰²。しかし、経食道心エコー法により、下大静脈と右房の接合部で測定された下大静脈の径は、鎮静下で人工呼吸器を装着している患者の中心静脈圧を推定することに使用できる²⁰³。右房圧の推定に下大静脈の径と呼吸性変動の使用が推奨される。すべての患者に対して一定の右房圧推定値を用いるのではなく、この右房圧推定値を用いて、三尖弁逆流の流速に基づいた肺動脈圧の推定を行うべきである。

(訳: 坂本二郎、泉 知里)

通知と免責事項

この報告書は、ASE および EACVI の好意により、それらの会員が参考資料として利用できるようにしているものである。この報告書には推奨事項のみが記載されており、診療方針の決定や従業員の懲戒処分の唯一の資料として使用してはならない。この報告書に含まれる声明と勧告は、科学的に検証されたデータではなく、主に専門家の意見に基づいている。ASE および EACVI が、本報告書の情報の完全性または正確性 (商品性や特定目的適合性の保証を含む) に関して明示したり暗黙の保障をしたりすることはない。いかなる場合でも、ASE および EACVI は、貴殿、または他の関係者がこの報告書に基づいておこなった診療方針決定または診療行為に関して、貴殿、貴殿

の患者、または他の第三者に対して責任を負わない。本報告書は、ASE および EACVI による医学的助言を提供するものではなく、また、ASE および EACVI と患者または他の誰との間にも医師-患者関係を作成するものではない。

(訳: 三宅誠、泉 知里)

文献

- Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:1440-63
- Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for chamber quantification. *Eur J Echocardiogr* 2006;7:79-108
- Hahn RT, Abraham T, Adams MS, Bruce CJ, Glas KE, Lang RM, et al. Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination: recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:921-64
- Mulvagh SL, Rakowski H, Vannan MA, Abdelmoneim SS, Becher H, Bierig SM, et al. American Society of Echocardiography Consensus Statement on the Clinical Applications of Ultrasonic Contrast Agents in Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:1179-201. quiz 281
- Hoffmann R, von Bardeleben S, Kasprzak JD, Borges AC, ten Cate F, Firschke C, et al. Analysis of regional left ventricular function by cineventriculography, cardiac magnetic resonance imaging, and unenhanced and contrast-enhanced echocardiography: a multicenter comparison of methods. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:121-8
- Doros JL, Lezotte DC, Weitzenkamp DA, Allen LA, Salcedo EE. Performance of 3-dimensional echocardiography in measuring left ventricular volumes and ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:1799-808
- Rietzschel ER, De Buyzere ML, Bekaert S, Segers P, De Bacquer D, Cooman L, et al. Rationale, design, methods and baseline characteristics of the Asklepios Study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2007;14:179-91
- Kuznetsova T, Herbots L, Lopez B, Jin Y, Richart T, Thijs L, et al. Prevalence of left ventricular diastolic dysfunction in a general population. *Circ Heart Fail* 2009;2:105-12
- Friedman GD, Cutter GR, Donahue RP, Hughes GH, Hulley SB, Jacobs DR Jr, et al. CARDIA: study design, recruitment, and some characteristics of the examined subjects. *J Clin Epidemiol* 1988;41:1105-16
- Muraru D, Badano LP, Peluso D, Dal Bianco L, Casablanca S, Kocabay G, et al. Comprehensive analysis of left ventricular geometry and function by three-dimensional echocardiography in healthy adults. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:618-28
- Lancellotti P, Badano LP, Lang RM, Akhaladze N, Athanassopoulos GD, Barone D, et al. Normal Reference Ranges for Echocardiography: rationale, study design, and methodology (NORRE Study). *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:303-8
- Kou S, Caballero L, Dulgheru R, Voilliot D, De Sousa C, Kacharava G, et al. Echocardiographic reference ranges for normal cardiac chamber size: results from the NORRE study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014;15:680-90

13. Bhave NM, Lang RM. Evaluation of left ventricular structure and function by three-dimensional echocardiography. *Curr Opin Crit Care* 2013;19:387-96
14. Chahal NS, Lim TK, Jain P, Chambers JC, Kooner JS, Senior R. Population- based reference values for 3D echocardiographic LV volumes and ejection fraction. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:1191-7
15. Kaku K, Takeuchi M, Otani K, Sugeng L, Nakai H, Haruki N, et al. Age and gender-dependency of left ventricular geometry assessed with real-time three-dimensional transthoracic echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:541-7
16. Fukuda S, Watanabe H, Daimon M, Abe Y, Hirashiki A, Hirata K, et al. Normal values of real-time 3-dimensional echocardiographic parameters in a healthy Japanese population: the JAMP-3D Study. *Circ J* 2012;76: 1177-81
17. Germans T, Gotte MJ, Nijveldt R, Spreeuwenberg MD, Beek AM, Bronzwaer JG, et al. Effects of aging on left atrioventricular coupling and left ventricular filling assessed using cardiac magnetic resonance imaging in healthy subjects. *Am J Cardiol* 2007;100:122-7
18. Sandstede J, Lipke C, Beer M, Hofmann S, Pabst T, Kenn W, et al. Age- and gender-specific differences in left and right ventricular cardiac function and mass determined by cine magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 2000;10:438-42
19. Muraru D, Badano LP, Piccoli G, Gianfagna P, Del Mestre L, Ermacorad, et al. Validation of a novel automated border-detection algorithm for rapid and accurate quantitation of left ventricular volumes based on three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2010;11: 359-68
20. Aune E, Baekkevar M, Rodevand O, Otterstad JE. Reference values for left ventricular volumes with real-time 3-dimensional echocardiography. *Scand Cardiovasc J* 2010;44:24-30
21. Lang RM, Borow KM, Neumann A, Janzen D. Systemic vascular resistance: an unreliable index of left ventricular afterload. *Circulation* 1986;74:1114-23
22. Reisner SA, Lysyansky P, Agmon Y, Mutlak D, Lessick J, Friedman Z. Global longitudinal strain: a novel index of left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:630-3
23. Dalen H, Thorstensen A, Aase SA, Ingul CB, Torp H, Vatten LJ, et al. Segmental and global longitudinal strain and strain rate based on echocardiography of 1266 healthy individuals: the HUNT study in Norway. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:176-83
24. Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, Marwick TH, Houle HC, Baumann R, et al. Definitions for a Common Standard for 2D Speckle Tracking Echocardiography. Consensus document of the EACVI/ASE/ Industry Task Force to Standardize Deformation Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014 (in press)
25. Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, Belohlavek M, Cardim NM, Derumeaux G, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2011; 24:277-313
26. Thomas JD, Badano LP. EACVI-ASE-industry initiative to standardize deformation imaging: a brief update from the co-chairs. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:1039-40
27. Yingchoncharoen T, Agarwal S, Popovic ZB, Marwick TH. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:185-91
28. Mignot A, Donal E, Zaroui A, Reant P, Salem A, Hamon C, et al. Global longitudinal strain as a major predictor of cardiac events in patients with depressed left ventricular function: a multicenter study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:1019-24
29. Stanton T, Leano R, Marwick TH. Prediction of all-cause mortality from global longitudinal speckle strain: comparison with ejection fraction and wall motion scoring. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2: 356-64
30. Di Salvo G, Rea A, Mormile A, Limongelli G, D'Andrea A, Pergola V, et al. Usefulness of bidimensional strain imaging for predicting outcome in asymptomatic patients aged \leq 16 years with isolated moderate to severe aortic regurgitation. *Am J Cardiol* 2012;110:1051-5
31. Witkowski TG, Thomas JD, Debonnaire PJ, Delgado V, Hoke U, Ewe SH, et al. Global longitudinal strain predicts left ventricular dysfunction after mitral valve repair. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:69-76
32. Kocabay G, Muraru D, Peluso D, Cucchini U, Mihaila S, Padayattil-Jose S, et al. Normal left ventricular mechanics by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Rev Esp Cardiol* 2014;67:651-8
33. Takigiku K, Takeuchi M, Izumi C, Yuda S, Sakata K, Ohte N, et al. Normal range of left ventricular 2-dimensional strain: Japanese Ultrasound Speckle Tracking of the Left Ventricle (JUSTICE) study. *Circ J* 2012;76: 2623-32
34. Kuznetsova T, Herbots L, Richart T, D'Hooge J, Thijs L, Fagard RH, et al. Left ventricular strain and strain rate in a general population. *Eur Heart J* 2008;29:2014-23
35. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation* 2002;105: 539-42
36. Schiller NB, Shah PM, Crawford M, DeMaria A, Devereux R, Feigenbaum H, et al. 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;2:358-67
37. Amzulescu MS, Slavich M, Florian A, Goetschalckx K, Voigt JU. Does two-dimensional image reconstruction from three-dimensional full volume echocardiography improve the assessment of left ventricular morphology and function? *Echocardiography* 2013;30:55-63
38. Voigt JU, Lindenmeier G, Exner B, Regenfus M, Werner D, Reulbach U, et al. Incidence and characteristics of segmental postsystolic longitudinal shortening in normal, acutely ischemic, and scarred myocardium. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:415-23
39. Lieberman AN, Weiss JL, Jugdutt BI, Becker LC, Bulkley BH, Garrison JG, et al. Two-dimensional echocardiography and infarct size: relationship of regional wall motion and thickening to the extent of myocardial infarction in the dog. *Circulation* 1981;63:739-46
40. Takeuchi M, Sonoda S, Miura Y, Kuroiwa A. Reproducibility of dobutamine digital stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; 10:344-51
41. Lumens J, Leenders GE, Cramer MJ, De Boeck BW, Doevendans PA, Prinzen FW, et al. Mechanistic evaluation of echocardiographic dyssynchrony indices: patient data combined with multiscale computer simulations. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:491-9
42. Little WC, Reeves RC, Arciniegas J, Katholi RE, Rogers EW. Mechanism of abnormal interventricular septal motion during delayed left ventricular activation. *Circulation* 1982;65:1486-91
43. Parsai C, Bijnsen B, Sutherland GR, Baltabaeva A, Claus P, Marciniak M, et al. Toward understanding response to cardiac resynchronization therapy: left ventricular dyssynchrony is only one of multiple mechanisms. *Eur Heart J* 2009;30:940-9
44. Voigt JU, Schneider TM, Korder S, Szulik M, Gurel E, Daniel WG, et al. Apical transverse motion as surrogate parameter to determine regional left ventricular function inhomogeneities: a new, integrative approach to left ventricular asynchrony assessment. *Eur Heart J* 2009;30: 959-68
45. Stankovic I, Aarones M, Smith HJ, Voros G, Kongsgaard E, Neskovic AN, et al. Dynamic relationship of left-ventricular dyssynchrony and contractile reserve in patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J* 2014;35:48-55
46. Heimdal A, Stoylen A, Torp H, Skjaerpe T. Real-time strain rate imaging of the left ventricle by ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr* 1998;11: 1013-9
47. Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, Shir V, Peleg E, Binenbaum M, et al. Two-dimensional strain-a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:1021-9
48. Stefani L, Toncelli L, Gianassi M, Manetti P, Di Tante V, Vono MR, et al. Two-dimensional tracking and TDI are consistent methods for evaluating myocardial longitudinal peak strain in left and right ventricle basal segments in athletes. *Cardiovasc Ultrasound* 2007;5:7
49. Voigt JU, Exner B, Schmiedehausen K, Huchzermeyer C, Reulbach U, Nixdorff U, et al. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia. *Circulation* 2003;107:2120-6
50. Maffessanti F, Nesser HJ, Weinert L, Steringer-Mascherbauer R, Niel J, Gorissen W, et al. Quantitative evaluation of regional left ventricular function using three-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with and without heart disease. *Am J Cardiol* 2009;104: 1755-62
51. Badano LP, Cucchini U, Muraru D, Al Nono O, Sarais C, Iliceto S. Use of three-dimensional speckle tracking to assess left ventricular myocardial mechanics: inter-vendor consistency and reproducibility of strain measurements. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:285-93
52. Verdecchia P, Carini G, Circo A, Dovellini E, Giovannini E, Lombardo M, et al. Left ventricular mass and cardiovascular morbidity in essential hypertension: the MAVI study. *J Am Coll Cardiol* 2001;38:1829-35
53. Schillaci G, Verdecchia P, Porcellati C, Cuccurullo O, Cosco C, Perticone F. Continuous relation between left ventricular mass and cardiovascular risk in essential hypertension. *Hypertension* 2000;35: 580-6
54. Ghali JK, Liao Y, Simmons B, Castaner A, Cao G, Cooper RS. The

- prognostic role of left ventricular hypertrophy in patients with or without coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1992;117:831-6
55. Verma A, Meris A, Skali H, Ghali JK, Arnold JM, Bourgoun M, et al. Prognostic implications of left ventricular mass and geometry following myocardial infarction: the VALIANT (VALsartan In Acute myocardial iNfarctiOn) Echocardiographic Study. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008; 1:582-91
 56. Armstrong AC, Gidding S, Gjesdal O, Wu C, Bluemke DA, Lima JA. LV mass assessed by echocardiography and CMR, cardiovascular outcomes, and medical practice. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:837-48
 57. Park SH, Shub C, Nobrega TP, Bailey KR, Seward JB. Two-dimensional echocardiographic calculation of left ventricular mass as recommended by the American Society of Echocardiography: correlation with autopsy and M-mode echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1996;9:119-28
 58. McGavigan AD, Dunn FG, Goodfield NE. Secondary harmonic imaging overestimates left ventricular mass compared to fundamental echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2003;4:178-81
 59. de Las Fuentes L, Spence KE, Davila-Roman VG, Waggoner AD. Are normative values for LV geometry and mass based on fundamental imaging valid with use of harmonic imaging? *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:1317-22
 60. Mor-Avi V, Sugeng L, Weinert L, MacEneaney P, Caiani EG, Koch R, et al. Fast measurement of left ventricular mass with real-time three-dimensional echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging. *Circulation* 2004;110:1814-8
 61. Lang RM, Badano LP, Tsang W, Adams DH, Agricola E, Buck T, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25: 3-46
 62. Lam CS, Roger VL, Rodeheffer RJ, Bursi F, Borlaug BA, Ommen SR, et al. Cardiac structure and ventricular-vascular function in persons with heart failure and preserved ejection fraction from Olmsted County, Minnesota. *Circulation* 2007;115:1982-90
 63. Ng AC, Tran da T, Newman M, Allman C, Vidaic J, Lo ST, et al. Left ventricular longitudinal and radial synchrony and their determinants in healthy subjects. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:1042-8
 64. Chahal NS, Lim TK, Jain P, Chambers JC, Kooner JS, Senior R. Ethnicity-related differences in left ventricular function, structure and geometry: a population study of UK Indian Asian and European white subjects. *Heart* 2010;96:466-71
 65. Chirinos JA, Segers P, De Buyzere ML, Kronmal RA, Raja MW, De Bacquer D, et al. Left ventricular mass: allometric scaling, normative values, effect of obesity, and prognostic performance. *Hypertension* 2010;56:91-8
 66. Cuspidi C, Facchetti R, Sala C, Bombelli M, Negri F, Carugo S, et al. Normal values of left-ventricular mass: echocardiographic findings from the PAMELA study. *J Hypertens* 2012;30:997-1003
 67. Kizer JR, Arnett DK, Bella JN, Paranic M, Rao DC, Province MA, et al. Differences in left ventricular structure between black and white hypertensive adults: the Hypertension Genetic Epidemiology Network study. *Hypertension* 2004;43:1182-8
 68. Rodriguez CJ, Diez-Roux AV, Moran A, Jin Z, Kronmal RA, Lima J, et al. Left ventricular mass and ventricular remodeling among Hispanic subgroups compared with non-Hispanic blacks and whites: MESA (Multi-ethnic Study of Atherosclerosis). *J Am Coll Cardiol* 2010;55: 234-42
 69. Park CM, March K, Ghosh AK, Jones S, Coady E, Tusan C, et al. Left-ventricular structure in the Southall And Brent REvisited (SABRE) study: explaining ethnic differences. *Hypertension* 2013;61:1014-20
 70. de Simone G, Kizer JR, Chinali M, Roman MJ, Bella JN, Best LG, et al. Normalization for body size and population-attributable risk of left ventricular hypertrophy: the Strong Heart Study. *Am J Hypertens* 2005;18: 191-6
 71. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:685-713. quiz 86-8
 72. Kawut SM, Lima JA, Barr RG, Chahal H, Jain A, Tandri H, et al. Sex and race differences in right ventricular structure and function: the multiethnic study of atherosclerosis-right ventricle study. *Circulation* 2011; 123:2542-51
 73. D'Oronzio U, Senn O, Biaggi P, Gruner C, Jenni R, Tanner FC, et al. Right heart assessment by echocardiography: gender and body size matters. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:1251-8
 74. Willis J, Augustine D, Shah R, Stevens C, Easaw J. Right ventricular normal measurements: time to index? *J Am Soc Echocardiogr* 2012; 25:1259-67
 75. Maffessanti F, Muraru D, Esposito R, Gripari P, Ermacora D, Santoro C, et al. Age-, body size-, and sex-specific reference values for right ventricular volumes and ejection fraction by three-dimensional echocardiography: a multicenter echocardiographic study in 507 healthy volunteers. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:700-10
 76. D'Andrea A, Cocchia R, Caso P, Riegler L, Scarafilo R, Salerno G, et al. Global longitudinal speckle-tracking strain is predictive of left ventricular remodeling after coronary angioplasty in patients with recent non-ST elevation myocardial infarction. *Int J Cardiol* 2011;153:185-91
 77. Ling LF, Obuchowski NA, Rodriguez L, Popovic Z, Kwon D, Marwick TH. Accuracy and interobserver concordance of echocardiographic assessment of right ventricular size and systolic function: a quality control exercise. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:709-13
 78. Shimada YJ, Shiota M, Siegel RJ, Shiota T. Accuracy of right ventricular volumes and function determined by three-dimensional echocardiography in comparison with magnetic resonance imaging: a meta-analysis study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:943-53
 79. Giusca S, Dambrauskaite V, Scheurwegs C, D'Hooge J, Claus P, Herbots L, et al. Deformation imaging describes right ventricular function better than longitudinal displacement of the tricuspid ring. *Heart* 2010; 96:281-8
 80. Innelli P, Esposito R, Olibet M, Nistri S, Galderisi M. The impact of ageing on right ventricular longitudinal function in healthy subjects: a pulsed tissue Doppler study. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:491-8
 81. Maffessanti F, Gripari P, Tamborini G, Muratori M, Fusini L, Alamanni F, et al. Evaluation of right ventricular systolic function after mitral valve repair: a two-dimensional Doppler, speckle-tracking, and three-dimensional echocardiographic study. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25: 701-8
 82. Verhaert D, Mullens W, Borowski A, Popovic ZB, Curtin RJ, Thomas JD, et al. Right ventricular response to intensive medical therapy in advanced decompensated heart failure. *Circ Heart Fail* 2010;3:340-6
 83. Guendouz S, Rappeneau S, Nahum J, Dubois-Rande JL, Gueret P, Monin JL, et al. Prognostic significance and normal values of 2D strain to assess right ventricular systolic function in chronic heart failure. *Circ J* 2012;76:127-36
 84. Antoni ML, Scherptong RW, Atary JZ, Boersma E, Holman ER, van der Wall EE, et al. Prognostic value of right ventricular function in patients after acute myocardial infarction treated with primary percutaneous coronary intervention. *Circ Cardiovasc Imaging* 2010;3:264-71
 85. Hardegree EL, Sachdev A, Villarraga HR, Frantz RP, McGoon MD, Kushwaha SS, et al. Role of serial quantitative assessment of right ventricular function by strain in pulmonary arterial hypertension. *Am J Cardiol* 2013;111:143-8
 86. Haecck ML, Scherptong RW, Marsan NA, Holman ER, Schaliq MJ, Bax JJ, et al. Prognostic value of right ventricular longitudinal peak systolic strain in patients with pulmonary hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012; 5:628-36
 87. Cappelli F, Porciani MC, Bergesio F, Perlini S, Attana P, Moggi Pignone A, et al. Right ventricular function in AL amyloidosis: characteristics and prognostic implication. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2012;13:416-22
 88. Grant AD, Smedira NG, Starling RC, Marwick TH. Independent and incremental role of quantitative right ventricular evaluation for the prediction of right ventricular failure after left ventricular assist device implantation. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:521-8
 89. Unsworth B, Casula RP, Kyriacou AA, Yadav H, Chukwumeka A, Cherian A, et al. The right ventricular annular velocity reduction caused by coronary artery bypass graft surgery occurs at the moment of pericardial incision. *Am Heart J* 2010;159:314-22
 90. Lindqvist P, Holmgren A, Zhao Y, Henein MY. Effect of pericardial repair after aortic valve replacement on septal and right ventricular function. *Int J Cardiol* 2012;155:388-93
 91. Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, Niel J, Ebner C, Steringer-Mascherbauer R, et al. Multimodality comparison of quantitative volumetric analysis of the right ventricle. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010;3:10-8
 92. Rosca M, Lancellotti P, Popescu BA, Pierard LA. Left atrial function: pathophysiology, echocardiographic assessment, and clinical applications. *Heart* 2011;97:1982-9
 93. Spencer KT, Mor-Avi V, Gorcsan J, DeMaria AN, Kimball TR, Monaghan MJ, et al. Effects of aging on left atrial reservoir, conduit, and booster pump function: a multi-institution acoustic quantification study. *Heart* 2001;85:272-7
 94. Bouzas-Mosquera A, Brouillon FJ, Alvarez-Garcia N, Mendez E, Peteiro J, Gandara-Sambade T, et al. Left atrial size and risk for all-cause mortality and ischemic stroke. *Can Med Assoc J* 2011;183:E657-64
 95. Kizer JR, Bella JN, Palmieri V, Liu JE, Best LG, Lee ET, et al. Left atrial diameter as an independent predictor of first clinical

- cardiovascular events in middle-aged and elderly adults: The Strong Heart Study (SHS). *Am Heart J* 2006;151:412-8
96. Lancellotti P, Donal E, Magne J, Moonen M, O'Connor K, Daubert JC, et al. Risk stratification in asymptomatic moderate to severe aortic stenosis: the importance of the valvular, arterial and ventricular interplay *Heart* 2010;96:1364-71
 97. Le Tourneau T, Messika-Zeitoun D, Russo A, Detaint D, Topilsky Y, Mahoney DW, et al. Impact of Left Atrial Volume on Clinical Outcome in Organic Mitral Regurgitation. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:570-8
 98. Tsang TSM, Barnes ME, Gersh BJ, Bailey KR, Seward JB. Left atrial volume as a morphophysiologic expression of left ventricular diastolic dysfunction and relation to cardiovascular risk burden. *Am J Cardiol* 2002;90:1284-9
 99. Tsang TSM, Barnes ME, Gersh BJ, Takemoto Y, Rosales AG, Bailey KR, et al. Prediction of risk for first age-related cardiovascular events in an elderly population: The incremental value of echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1199-205
 100. Appleton CP, Galloway JM, Gonzalez MS, Gaballa M, Basnight MA. Estimation of left ventricular filling pressures using two-dimensional and Doppler echocardiography in adult patients with cardiac disease. Additional value of analyzing left atrial size, left atrial ejection fraction and the difference in duration of pulmonary venous and mitral flow velocity at atrial contraction. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1972-82
 101. Geske JB, Sorajja P, Nishimura RA, Ommen SR. The Relationship of Left Atrial Volume and Left Atrial Pressure in Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy: An Echocardiographic and Cardiac Catheterization Study *J Am Soc Echocardiogr* 2009;22:961-6
 102. Guron CW, Hartford M, Rosengren A, Thelle D, Wallentin I, Caidahl K. Usefulness of atrial size inequality as an indicator of abnormal left ventricular filling. *Am J Cardiol* 2005;95:1448-52
 103. Simek CL, Feldman MD, Haber HL, Wu CC, Jayaweera AR, Kaul S. Relationship between left ventricular wall thickness and left atrial size: comparison with other measures of diastolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 1995;8:37-47
 104. Ersboll M, Anderson MJ, Valeur N, Mogensen UM, Waziri H, Moller JE, et al. The prognostic value of left atrial peak reservoir strain in acute myocardial infarction is dependent on left ventricular longitudinal function and left atrial size. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6: 26-33
 105. Lonborg JT, Engstrom T, Moller JE, Ahtarovski KA, Kelbaek H, Holmvang L, et al. Left atrial volume and function in patients following ST elevation myocardial infarction and the association with clinical outcome: a cardiovascular magnetic resonance study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:118-26
 106. Barnes ME, Miyasaka Y, Seward JB, Gersh BJ, Rosales AG, Bailey KR, et al. Left atrial volume in the prediction of first ischemic stroke in an elderly cohort without atrial fibrillation. *Mayo Clin Proc* 2004;79:1008-14
 107. Benjamin EJ, D'Agostino RB, Belanger AJ, Wolf PA, Levy D. Left Atrial Size and the Risk of Stroke and Death - the Framingham Heart Study. *Circulation* 1995;92:835-41
 108. Bolca O, Akdemir O, Eren M, Dagdeviren B, Yildirim A, Tezel T. Left atrial maximum volume is a recurrence predictor in lone-atrial fibrillation - An acoustic quantification study. *Jpn Heart J* 2002;43:241-8
 109. Di Tullio MR, Sacco RL, Sciacca RR, Homma S. Left atrial size and the risk of ischemic stroke in an ethnically mixed population. *Stroke* 1999;30:2019-24
 110. Flaker GC, Fletcher KA, Rothbart RM, Halperin JL, Hart RG. Clinical and Echocardiographic Features of Intermittent Atrial-Fibrillation That Predict Recurrent Atrial-Fibrillation. *Am J Cardiol* 1995;76:355-8
 111. Kottkamp H. Fibrotic Atrial Cardiomyopathy: A Specific Disease/Syndrome Supplying Substrates for Atrial Fibrillation, Atrial Tachycardia, Sinus Node Disease, AV Node Disease, and Thromboembolic Complications. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2012;23:797-9
 112. Tsang TS, Gersh BJ, Appleton CP, Tajik AJ, Barnes ME, Bailey KR, et al. Left ventricular diastolic dysfunction as a predictor of the first diagnosed nonvalvular atrial fibrillation in 840 elderly men and women. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:1636-44
 113. Tsang TS, Barnes ME, Bailey KR, Leibson CL, Montgomery SC, Takemoto Y, et al. Left atrial volume: Important risk marker of incident atrial fibrillation in 1655 older men and women. *Mayo Clin Proc* 2001;76:467-75
 114. Vaziri SM, Larson MG, Benjamin EJ, Levy D. Echocardiographic predictors of nonrheumatic atrial fibrillation. The Framingham Heart Study. *Circulation* 1994;89:724-30
 115. Tsang TS, Barnes ME, Gersh BJ, Bailey KR, Seward JB. Risks for atrial fibrillation and congestive heart failure in patients >= 65 years of age with abnormal left ventricular diastolic relaxation. *Am J Cardiol* 2004;93: 54-8
 116. Beinart R, Boyko V, Schwammenthal E, Kuperstein R, Sagie A, Hod H, et al. Long-term prognostic significance of left atrial volume in acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:327-34
 117. Moller JE, Hillis GS, Oh JK, Seward JB, Reeder GS, Wright RS, et al. Left atrial volume - A powerful predictor of survival after acute myocardial infarction. *Circulation* 2003;107:2207-12
 118. Dini FL, Cortigiani L, Baldini U, Boni A, Nuti R, Barsotti L, et al. Prognostic value of left atrial enlargement in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy and ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2002;89:518-23
 119. Kim H, Cho YK, Jun DH, Nam CW, Han SW, Hur SH, et al. Prognostic implications of the NT-ProBNP level and left atrial size in non-ischemic dilated cardiomyopathy. *Circ J* 2008;72:1658-65
 120. Modena MG, Muia N, Sgura FA, Molinari R, Castelli A, Rossi R. Left atrial size is the major predictor of cardiac death and overall clinical outcome in patients with dilated cardiomyopathy: A long-term follow-up study. *Clin Cardiol* 1997;20:553-60
 121. Quinones MA, Greenberg BH, Kopelen HA, Koilpillai C, Limacher MC, Shindler DM, et al. Echocardiographic predictors of clinical outcome in patients with Left Ventricular Dysfunction enrolled in the SOLVD Registry and Trials: Significance of left ventricular hypertrophy. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:1237-44
 122. Sabharwal N, Cemin R, Rajan K, Hickman M, Lahiri A, Senior R. Usefulness of left atrial volume as a predictor of mortality in patients with ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2004;94:760-3
 123. Poulsen MK, Dahl JS, Henriksen JE, Hey TM, Hoiland-Carlson PF, Beck-Nielsen H, et al. Left atrial volume index: relation to long-term clinical outcome in type 2 diabetes. *J Am Coll Cardiol* 2013;62:2416-21
 124. Olshansky B, Heller EN, Mitchell LB, Chandler M, Slater W, Green M, et al. Are transthoracic echocardiographic parameters associated with atrial fibrillation recurrence or stroke? - Results from the atrial fibrillation follow-up investigation of rhythm management (AFFIRM) study. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:2026-33
 125. Rusinaru D, Tribouilloy C, Grigioni F, Avierinos JF, Suri RM, Barbieri A, et al. Left Atrial Size Is a Potent Predictor of Mortality in Mitral Regurgitation Due to Flail Leaflets Results From a Large International Multicenter Study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2011;4:473-81
 126. Schabelman S, Schiller NB, Silverman NH, Ports TA. Left Atrial Volume Estimation by Two-Dimensional Echocardiography. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1981;7:165-78
 127. Wade MR, Chandraratna PAN, Reid CL, Lin SL, Rahimtoola SH. Accuracy of Nondirected and Directed M-Mode Echocardiography as an Estimate of Left Atrial Size. *Am J Cardiol* 1987;60:1208-11
 128. Lester SJ, Ryan EW, Schiller NB, Foster E. Best method in clinical practice and in research studies to determine left atrial size. *Am J Cardiol* 1999; 84:829-32
 129. Loperfido F, Pennestri F, Digaetano A, Scabbia E, Santarelli P, Mongiardo R, et al. Assessment of left atrial dimensions by cross sectional echocardiography in patients with mitral valve disease. *Br Heart J* 1983; 50:570-8
 130. Vyas H, Jackson K, Chenzbraun A. Switching to volumetric left atrial measurements: impact on routine echocardiographic practice. *Eur J Echocardiogr* 2011;12
 131. Gottdiener JS, Kitzman DW, Aurigemma GP, Arnold AM, Manolio TA. Left atrial volume, geometry, and function in systolic and diastolic heart failure of persons >= 65 years of age (The Cardiovascular Health Study) *Am J Cardiol* 2006;97:83-9
 132. Losi Ma, Betocchi S, Aversa M, Lombardi R, Miranda M, Ciampi Q, et al. Determinants of the development of atrial fibrillation in hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 2002;106:710
 133. Rossi A, Ciccoira M, Zanolla L, Sandrini R, Golia G, Zardini P, et al. Determinants and prognostic value of left atrial volume in patients with dilated cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:1425-30
 134. Takemoto Y, Barnes ME, Seward JB, Lester SJ, Appleton CA, Gersh BJ, et al. Usefulness of left atrial volume in predicting first congestive heart failure in patients >= 65 years of age with well-preserved left ventricular systolic function. *Am J Cardiol* 2005;96:832-6
 135. Tani T, Tanabe K, Ono M, Yamaguchi K, Okada M, Sumida T, et al. Left atrial volume and the risk of paroxysmal atrial fibrillation in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:644-8
 136. Tsang TS, Abhayaratna WP, Barnes ME, Miyasaka Y, Gersh BJ, Bailey KR, et al. Prediction of cardiovascular outcomes with left atrial size - Is volume superior to area or diameter? *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1018-23
 137. Pritchett AM, Jacobsen SJ, Mahoney DW, Rodeheffer RJ, Bailey KR, Redfield MM. Left atrial volume as an index of left atrial size: a population-based study. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:1036-43
 138. Jenkins C, Bricknell K, Marwick TH. Use of real-time three-dimensional echocardiography to measure left atrial volume:

- Comparison with other echocardiographic techniques. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:991-7
139. Maceira AM, Cosin-Sales J, Roughton M, Prasad SK, Pennell DJ. Reference left atrial dimensions and volumes by steady state free precession cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010;12: 65
 140. Rodevand O, Bjornerheim R, Ljosland M, Maehle J, Smith HJ, Ihlen H. Left atrial volumes assessed by three- and two-dimensional echocardiography compared to MRI estimates. *Int J Cardiovasc Imaging* 1999;15: 397-410
 141. Stojanovska J, Cronin P, Patel S, Gross BH, Oral H, Chughtai K, et al. Reference Normal Absolute and Indexed Values From ECG-Gated MDCT: Left Atrial Volume, Function, and Diameter. *Am J Roentgenol* 2011;197:631-7
 142. Ujino K, Barnes ME, Cha SS, Langins AP, Bailey KR, Seward JB, et al. Two-dimensional echocardiographic methods for assessment of left atrial volume. *Am J Cardiol* 2006;98:1185-8
 143. Aurigemma GP, Gottdiener JS, Arnold AM, Chinali M, Hill JC, Kitzman D. Left Atrial Volume and Geometry in Healthy Aging The Cardiovascular Health Study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:282-9
 144. Thomas L, Levett K, Boyd A, Leung DYC, Schiller NB, Ross DL. Compensatory changes in atrial volumes with normal aging: Is atrial enlargement inevitable? *J Am Coll Cardiol* 2002;40:1630-5
 145. Yamaguchi K, Tanabe K, Tani T, Yagi T, Fujii Y, Konda T, et al. Left atrial volume in normal Japanese adults. *Circ J* 2006;70:285-8
 146. Russo C, Hahn RT, Jin ZZ, Homma S, Sacco RL, Di Tullio MR. Comparison of Echocardiographic Single-Plane versus Biplane Method in the Assessment of Left Atrial Volume and Validation by Real Time Three-Dimensional Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23: 954-60
 147. Nistri S, Galderisi M, Ballo P, Olivetto I, D'Andrea A, Pagliani L, et al. Determinants of echocardiographic left atrial volume: implications for normalcy. *Eur J Echocardiogr* 2011;12:826-33
 148. Vasan RS, Levy D, Larson MG, Benjamin EJ. Interpretation of echocardiographic measurements: a call for standardization. *Am Heart J* 2000; 139:412-22
 149. Knutsen KM, Stugaard M, Michelsen S, Otterstad JE. M-mode echocardiographic findings in apparently healthy, non-athletic Norwegians aged 20-70 years. Influence of age, sex and body surface area. *J Intern Med* 1989;225:111-5
 150. Wang Y, Gutman JM, Heilbron D, Wahr D, Schiller NB. Atrial volume in a normal adult population by two-dimensional echocardiography. *Chest* 1984;86:595-601
 151. Cacciapuoti F, Scognamiglio A, Paoli VD, Romano C, Cacciaputo F. Left Atrial Volume Index as Indicator of Left Ventricular Diastolic Dysfunction. *J Cardiovasc Ultrasound* 2012;20:25-9
 152. Orban M, Bruce CJ, Pressman GS, Leinveber P, Romero-Corral A, Korinek J, et al. Dynamic Changes of Left Ventricular Performance and Left Atrial Volume Induced by the Mueller Maneuver in Healthy Young Adults and Implications for Obstructive Sleep Apnea, Atrial Fibrillation, and Heart Failure. *Am J Cardiol* 2008;102:1557-61
 153. Whitlock M, Garg A, Gelow J, Jacobson T, Broberg C. Comparison of Left and Right Atrial Volume by Echocardiography Versus Cardiac Magnetic Resonance Imaging Using the Area-Length Method. *Am J Cardiol* 2010; 106:1345-50
 154. Yoshida C, Nakao S, Goda A, Naito Y, Matsumoto M, Otsuka M, et al. Value of assessment of left atrial volume and diameter in patients with heart failure but with normal left ventricular ejection fraction and mitral flow velocity pattern. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:278-81
 155. Iwataki M, Takeuchi M, Otani K, Kuwaki H, Haruki N, Yoshitani H, et al. Measurement of left atrial volume from transthoracic three-dimensional echocardiographic datasets using the biplane Simpson's technique. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:1319-26
 156. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, Marino PN, Oh JK, Smiseth OA, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2009; 22:107-33
 157. Miyasaka Y, Tsujimoto S, Maeba H, Yuasa F, Takehana K, Dote K, et al. Left atrial volume by real-time three-dimensional echocardiography: validation by 64-slice multidetector computed tomography. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:680-6
 158. Rohner A, Brinkert M, Kawel N, Buechel RR, Leibundgut G, Grize L, et al. Functional assessment of the left atrium by real-time three-dimensional echocardiography using a novel dedicated analysis tool: initial validation studies in comparison with computed tomography. *Eur J Echocardiogr* 2011;12:497-505
 159. Artang R, Migrino RQ, Harmann L, Bowers M, Woods TD. Left atrial volume measurement with automated border detection by 3-dimensional echocardiography: comparison with Magnetic Resonance Imaging. *Cardiovasc Ultrasound* 2009;7:16
 160. Mor-Avi V, Yodanis C, Jenkins C, Kuhl H, Nesser HJ, Marwick TH, et al. Real-time 3D echocardiographic quantification of left atrial volume: multicenter study for validation with CMR. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:769-77
 161. Caselli S, Canali E, Foschi ML, Santini D, Di Angelantonio E, Pandian NG, et al. Long-term prognostic significance of three-dimensional echocardiographic parameters of the left ventricle and left atrium. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:250-6
 162. Suh IW, Song JM, Lee EY, Kang SH, Kim MJ, Kim JJ, et al. Left atrial volume measured by real-time 3-dimensional echocardiography predicts clinical outcomes in patients with severe left ventricular dysfunction and in sinus rhythm. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:439-45
 163. Maddukuri PV, Vieira ML, DeCastro S, Maron MS, Kuvin JT, Patel AR, et al. What is the best approach for the assessment of left atrial size? Comparison of various unidimensional and two-dimensional parameters with three-dimensional echocardiographically determined left atrial volume. *J Am Soc Echocardiogr* 2006;19:1026-32
 164. Aune E, Baekkevar M, Roislien J, Rodevand O, Otterstad JE. Normal reference ranges for left and right atrial volume indexes and ejection fractions obtained with real-time three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:738-44
 165. Peluso D, Badano LP, Muraru D, Dianco LD, Cucchini U, Kocabay G, et al. Right Atrial Size and Function assessed with three-dimensional and speckle-tracking echocardiography in 200 healthy volunteers. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:1106-14
 166. DePace NL, Ren JF, Kotler MN, Mintz GS, Kimbiris D, Kalman P. Twodimensional echocardiographic determination of right atrial emptying volume: a noninvasive index in quantifying the degree of tricuspid regurgitation. *Am J Cardiol* 1983;52:525-9
 167. Kaplan JD, Evans GT, Foster E, Lim D, Schiller NB. Evaluation of Electrocardiographic Criteria for Right Atrial Enlargement by Quantitative 2-Dimensional Echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1994;23:747-52
 168. Quraini D, Pandian NG, Patel AR. Three-Dimensional Echocardiographic Analysis of Right Atrial Volume in Normal and Abnormal Hearts: Comparison of Biplane and Multiplane Methods. *Echocardiogr J Cardiovasc Ultrasound Allied Tech* 2012;29:608-13
 169. Anderson RH. Clinical anatomy of the aortic root. *Heart* 2000;84:670-3
 170. Anderson RH. Further anatomical insights regarding the Ross procedure. *Ann Thorac Surg* 2006;81:411-2
 171. Piazza N, de Jaegere P, Schultz C, Becker AE, Serruys PW, Anderson RH. Anatomy of the aortic valvar complex and its implications for transcatheter implantation of the aortic valve. *Circ Cardiovasc Interv* 2008;1: 74-81
 172. Ho SY. Structure and anatomy of the aortic root. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:3-10
 173. Messika-Zeitoun D, Serfaty JM, Brochet E, Ducrocq G, Lepage L, Detaint D, et al. Multimodal assessment of the aortic annulus diameter: implications for transcatheter aortic valve implantation. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:186-94
 174. Moss RR, Ivens E, Pasupati S, Humphries K, Thompson CR, Munt B, et al. Role of echocardiography in percutaneous aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008;1:15-24
 175. Walther T, Dewey T, Borger MA, Kempfert J, Linke A, Becht R, et al. Transapical aortic valve implantation: step by step. *Ann Thorac Surg* 2009;87:276-83
 176. Tops LF, Wood DA, Delgado V, Schuijf JD, Mayo JR, Pasupati S, et al. Noninvasive evaluation of the aortic root with multislice computed tomography implications for transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008;1:321-30
 177. Kazui T, Izumoto H, Yoshioka K, Kawazoe K. Dynamic morphologic changes in the normal aortic annulus during systole and diastole. *J Heart Valve Dis* 2006;15:617-21
 178. Shiran A, Adawi S, Ganaeem M, Asmer E. Accuracy and reproducibility of left ventricular outflow tract diameter measurement using transthoracic when compared with transesophageal echocardiography in systole and diastole. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:319-24
 179. Hamdan A, Guetta V, Konen E, Goitein O, Segev A, Raanani E, et al. Deformation dynamics and mechanical properties of the aortic annulus by 4-dimensional computed tomography: insights into the functional anatomy of the aortic valve complex and implications for transcatheter aortic valve therapy. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:119-27
 180. Chin D. Echocardiography for transcatheter aortic valve implantation. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:21-9
 181. Zamorano JL, Badano LP, Bruce C, Chan KL, Goncalves A, Hahn RT, et al. EAE/ASE recommendations for the use of echocardiography in new transcatheter interventions for valvular heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:937-65
 182. Holmes DR Jr, Mack MJ, Kaul S, Agnihotri A, Alexander KP, Bailey SR, et al. 2012 ACCF/AATS/SCAI/STS expert consensus document on transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:

- 1200-54
183. Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Schoenhagen P, Min JK, Leipsic JA. SCCTExpert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2012;6:366-80
 184. Kasel AM, Cassese S, Bleiziffer S, Amaki M, Hahn RT, Kastrati A, et al Standardized imaging for aortic annular sizing: implications for transcatheter valve selection. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013;6:249-62
 185. Pershad A, Stone D, Morris MF, Fang K, Gellert G. Aortic annulus measurement and relevance to successful transcatheter aortic valve replacement: a new technique using 3D TEE. *J Interv Cardiol* 2013;26:302-9
 186. Hahn RT, Khalique O, Williams MR, Koss E, Paradis JM, Daneault B, et al Predicting paravalvular regurgitation following transcatheter valve replacement: utility of a novel method for three-dimensional echocardiographic measurements of the aortic annulus. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:1043-52
 187. Flachskampf FA, Wouters PF, Edvardsen T, Evangelista A, Habib G, Hoffman P, et al. Recommendations for transoesophageal echocardiography: EACVI update 2014. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014;15: 353-65
 188. Hutter A, Opitz A, Bleiziffer S, Ruge H, Hettich I, Mazzitelli D, et al. Aortic annulus evaluation in transcatheter aortic valve implantation. *Catheter Cardiovasc Interv* 2010;76:1009-19
 189. Leipsic J, Gurvitch R, Labounty TM, Min JK, Wood D, Johnson M, et al Multidetector computed tomography in transcatheter aortic valve implantation *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:416-29
 190. Delgado V, Ng AC, van de Veire NR, van der Kley F, Schuijff JD, Tops LF, et al. Transcatheter aortic valve implantation: role of multidetector row computed tomography to evaluate prosthesis positioning and deployment in relation to valve function. *Eur Heart J* 2010;31: 1114-23
 191. Willson AB, Webb JG, Freeman M, Wood DA, Gurvitch R, Thompson CR, et al. Computed tomography-based sizing recommendations for transcatheter aortic valve replacement with balloon-expandable valves: Comparison with transesophageal echocardiography and rationale for implementation in a prospective trial. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2012;6:406-14
 192. Utsunomiya H, Yamamoto H, Horiguchi J, Kunita E, Okada T, Yamazato R, et al. Underestimation of aortic valve area in calcified aortic valve disease: effects of left ventricular outflow tract ellipticity. *Int J Cardiol* 2012;157:347-53
 193. Gurvitch R, Webb JG, Yuan R, Johnson M, Hague C, Willson AB, et al. Aortic annulus diameter determination by multidetector computed tomography: reproducibility, applicability, and implications for transcatheter aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Interv* 2011;4:1235-45
 194. Goldstein SA, Evangelista A, Abbara S, Arai A, Acsh F, Badano LP, et al ASE/EAE recommendations for multimodality imaging techniques for diseases of the aorta: Expert consensus statement. *J Am Soc Echocardiogr* 2014 (in press)
 195. Roman MJ, Devereux RB, Kramer-Fox R, O'Loughlin J. Two-dimensional echocardiographic aortic root dimensions in normal children and adults *Am J Cardiol* 1989;64:507-12
 196. Vasani RS, Larson MG, Benjamin EJ, Levy D. Echocardiographic reference values for aortic root size: the Framingham Heart Study. *J Am Soc Echocardiogr* 1995;8:793-800
 197. Roman MJ, Devereux RB, Niles NW, Hochreiter C, Kligfield P, Sato N, et al Aortic root dilatation as a cause of isolated, severe aortic regurgitation. Prevalence, clinical and echocardiographic patterns, and relation to left ventricular hypertrophy and function. *Ann Intern Med* 1987;106:800-7
 198. Moreno FL, Hagan AD, Holmen JR, Pryor TA, Strickland RD, Castle CH Evaluation of size and dynamics of the inferior vena cava as an index of right-sided cardiac function. *Am J Cardiol* 1984;53:579-85
 199. Brennan JM, Blair JE, Goonewardena S, Ronan A, Shah D, Vasaiwala S, et al. Reappraisal of the use of inferior vena cava for estimating right atrial pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:857-61
 200. Kircher BJ, Himelman RB, Schiller NB. Noninvasive estimation of right atrial pressure from the inspiratory collapse of the inferior vena cava *Am J Cardiol* 1990;66:493-6
 201. Goldhammer E, Mesnick N, Abinader EG, Sagiv M. Dilated inferior vena cava: a common echocardiographic finding in highly trained elite athletes *J Am Soc Echocardiogr* 1999;12:988-93
 202. Jue J, Chung W, Schiller NB. Does inferior vena cava size predict right atrial pressures in patients receiving mechanical ventilation? *J Am Soc Echocardiogr* 1992;5:613-9
 203. Arthur ME, Landolfo C, Wade M, Castresana MR. Inferior vena cava diameter (IVCD) measured with transesophageal echocardiography (TEE) can be used to derive the central venous pressure (CVP) in anesthetized mechanically ventilated patients. *Echocardiography* 2009;26: 140-9
 204. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, Bersin RM, Carr VF, Casey DE Jr, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with Thoracic Aortic Disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/ American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Circulation* 2010;121:e266-369
 205. Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. *N Engl J Med* 1987;317:1098

参考 日本人の正常値 (JAMP 研究)

	男性	女性
<i>LV wall thickness</i>		
<i>Septal thickness, cm</i>	0.9±0.1	0.8±0.1
<i>Posterior wall thickness, cm</i>	0.9±0.1	0.8±0.1
<i>LV dimensions</i>		
<i>LVDd, cm</i>	4.8±0.4	4.4±0.3
<i>LVDs, cm</i>	3.0±0.4	2.8±0.3
<i>LVDd/BSA, cm/m²</i>	2.7±0.2	3.0±0.2
<i>LVDs/BSA, cm/m²</i>	1.7±0.2	1.8±0.2
<i>LV volumes</i>		
<i>LV diastolic volume, ml</i>	93±20	74±17
<i>LV systolic volume, ml</i>	33±20	25±7
<i>LV diastolic volume/BSA, ml/m²</i>	53±11	49±11
<i>LV systolic volume/BSA, ml/m²</i>	19±5	17±5
<i>LV ejection fraction, %</i>	64±5	66±5
<i>LV mass, g</i>	133±28	105±22
<i>LV mass/BSA, g/m²</i>	76±16	70±14
<i>LA volumes</i>		
<i>Maximum LA volume, ml</i>	42±14	38±12
<i>Minimum LA volume, ml</i>	20±9	17±7
<i>Maximum LA volume/BSA, ml/m²</i>	24±7	25±8
<i>Minimum LA volume/BSA, ml/m²</i>	11±5	12±5
<i>RVDd, cm</i>	3.1±0.5	2.8±0.5
<i>RV areas</i>		
<i>RV diastolic area, cm²</i>	16±4	13±3
<i>RV systolic area, cm²</i>	9±3	7±2
<i>RV fractional area change, %</i>	44±13	46±11

JAMP 研究より

17 の協力施設にて、20 歳から 79 歳までの健常ボランティア計 700 名 (男性 383 名、平均年齢 43.7±14.5 歳、女性 317 名、平均年齢 43.5±14.5 歳) を登録した。本研究のために、心エコー計測法の標準的なプロトコルを確立した。脂質異常症、高血圧、糖尿病、腎不全、心血管疾患、異常心電図所見 (不整脈および脚ブロックを含む)、または異常心エコー検査所見 (左室壁運動異常または有意な弁膜症) を有する被験者は除外した。また、心エコー画質不良、発熱、貧血、または心エコー検査時の血圧高値 (収縮期≧135 または拡張期≧85mmHg) を認めた被験者や、心エコー計測に影響を与える可能性のある薬剤の投与下にある被験者も除外した。

Daimon M, Watanabe H, Abe Y, Abe, MD3; Hirata K, Hozumi T, Ishii K, Ito H, Iwakura K, Izumi C, Matsuzaki M, Minagoe S, Abe H, Murata K, Nakatani S, Negishi K, Yoshida K, Tanabe K, Tanaka N, Tokai K, Yoshikawa J for the JAMP Study Investigators Normal Values of Echocardiographic Parameters in Relation to Age in a Healthy Japanese Population *Circ J* 2008; 72: 1859–1866