

# 心エコー図法による左室局所壁運動定量化の変遷 - Mモード法から組織ドプラ法, スペックル・トラッキング法まで -

上松正朗<sup>†</sup>

IRYO Vol. 73 No. 7 (341-350) 2019

## 要旨

超音波を用いた心エコー図法が臨床に応用され、心臓をその運動も含めて非侵襲的かつリアル・タイムに観察することができるようになった。しかし左室局所壁運動の定量化は研究レベルでは種々試みられているものの、日常臨床においては確立されているとはいえず、いまだ定性的評価の域を出ない。心エコー図法による壁運動の評価はMモード法に始まり、断層心エコー図法、組織ドプラ法を経てスペックル・トラッキング法による評価が行われるようになった。スペックル・トラッキング法によるglobal longitudinal strainは抗がん剤による心毒性の評価に有用であるとして注目されつつある。本稿では心エコー図法による壁運動定量化の変遷を辿り、その道程を整理することにより、今後の心エコー領域における研究発展への縁としたい。

キーワード 左室局所壁運動, Mモード心エコー図, 断層心エコー図, 組織ドプラ法, スペックル・トラッキング法

## はじめに

急性心筋梗塞をはじめとする虚血性心疾患においては、冠動脈の狭窄・閉塞機転により左室局所壁運動異常が生じるため、左室局所壁運動異常を迅速かつ客観的に評価することは臨床上きわめて重要である。近年、超音波を用いた心エコー図法が発達し、左室壁運動を非侵襲的かつリアル・タイムに観察することができるようになった。しかし心エコー図法による左室局所壁運動の定量化は、研究レベル

では種々試みられているものの、日常臨床においては確立されているとはいえず、いまだ定性的評価の域を出ない。著者は1980年より工学領域の人々と共に心臓領域における超音波診断学の臨床研究に従事し、ことに超音波ドプラ法については研究室でサウンド・スペクトログラフ(かつて声紋分析に用いられた)を用いてドプラ偏移の周波数分析を行っていた時代から臨床応用にかかわった。超音波ドプラ法はわが国の里村、仁村により世界に先駆けて臨床応用が開始され、弁ドプラ法に始まり、その後は主

国立病院機構大阪医療センター 循環器内科 <sup>†</sup>医師

著者連絡先: 上松正朗 国立病院機構大阪医療センター 副院長 〒540-0006 大阪府大阪市中央区法円坂2-1-14

e-mail: uematsu.masaaki.rz@mail.hosp.go.jp

(2019年1月4日受付, 2019年4月12日受理)

Quantitation of the Left Ventricular Regional Wall Motion by Ultrasound: -From M-mode to Tissue Doppler Imaging and Speckle Tracking Echocardiography-

Masaaki Uematsu, NHO Osaka National Hospital

(Received Jan. 4, 2019, Accepted Apr. 12, 2019)

Key Words: left ventricular regional wall motion, M-mode echocardiography, two-dimensional echocardiography, tissue Doppler imaging, speckle tracking echocardiography

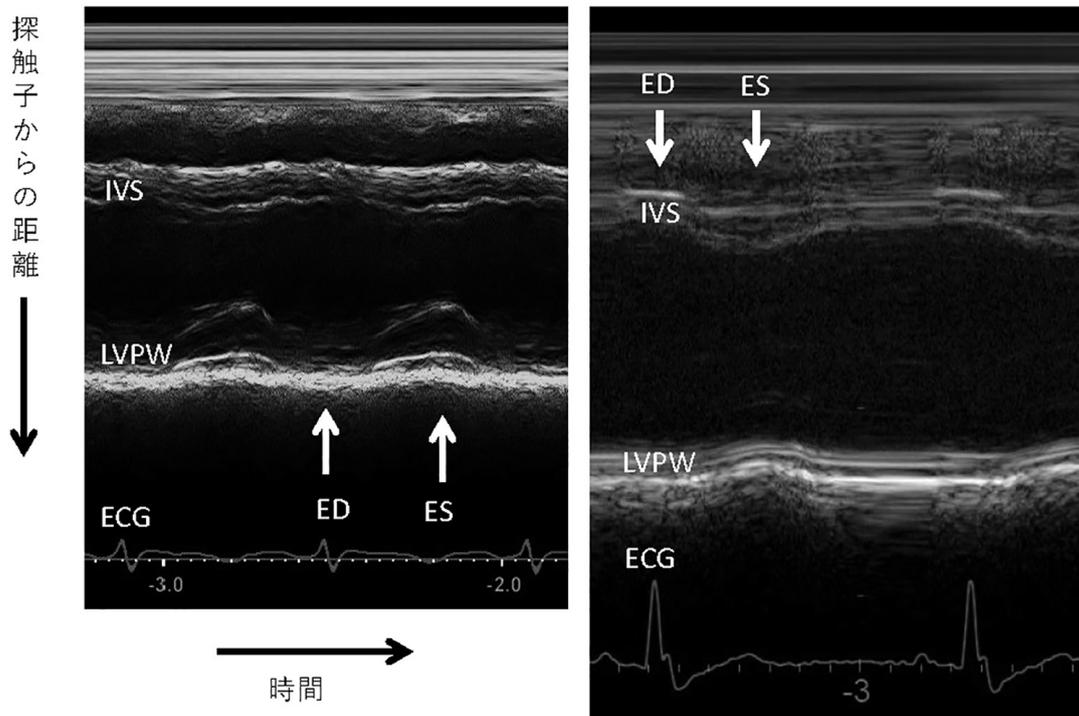


図1 Mモード法による左室の描出

Mモード法では縦軸は探触子からの距離を、横軸は時間経過を表す。健常例（左）および陳旧性後壁心筋梗塞例（右）。健常例では心室中隔、左室後壁ともに拡張期末に比し収縮期末には壁厚は増大し、心内膜は内方に移動していることが観察される。壁厚増大および内膜の移動距離を計測することにより、心室中隔および左室後壁に限定されるものの、局所壁運動を定量的に評価することができる。陳旧性心筋梗塞例では、心室中隔の壁運動は保たれ、壁厚増大、心内膜の内方運動を認めるが、後壁では壁厚増大は認めず、心内膜の移動距離も低下している。

IVS：心室中隔 LVPW：左室後壁 ED：拡張期末 ES：収縮期末

として非侵襲的に血流を計測する方法として発展した<sup>1)2)</sup>。後には血流計測の際にノイズとして除去されていた左室壁からのドプラ偏移を検出することにより心筋速度を計測する、組織ドプラ法が開発され、著者はその黎明期からかかわってきた。組織ドプラ法はスペックル・トラッキング法へと発展し、現在盛んに臨床的有用性が模索されている。本稿ではその変遷を辿ることにより、壁運動定量化への道程を整理し、今後の心エコー領域における研究発展への縁としたい。

## 1. Mモード心エコー図法

仁村<sup>3)</sup>によると、1950年代初め、ドイツのEdlerが心臓カテーテル法に代わる患者に苦痛のない方法はないかと考え、物理工学者であったHertzに相談した。Hertzは超音波の応用を勧めた。Edlerらは魚群探知機や金属探傷法などに用いられていたAモード超音波パルス反射法を用いて研究を始めた。すな

わちパルス波を用いることにより距離分解能をもたせ、後方散乱の強さを輝度表示する方法を開発した。ところが心臓の構造（反射源）と信号とを対応させることが困難であったので、心周期にともなう動きを同定の参考にするためにMモード法を試みることになったという。Mモード法とはAモードを時間によって横方向に展開表示するもので、心臓の周期的な動きをパターンとして表示できるため、反射源が何かを推定するのに役立つと考えられた。このようにMモードの導入は当初から計画されていたのではなく、研究過程の中から反射源の同定のために発想され、後に臨床における効用の認識が次第に深められてきた。Mモード法を用いて、僧帽弁尖の動きをとらえることにより僧帽弁狭窄症を診断するのみならず、心室中隔、左室後壁の壁運動の可視化が実現し、この領域に限定されるものの、左室局所壁運動の定量的評価が行われるようになった。図1にMモード法による左室像を示す。健常例では心室中隔、左室後壁ともに収縮期に壁厚増大がみられ、かつ内

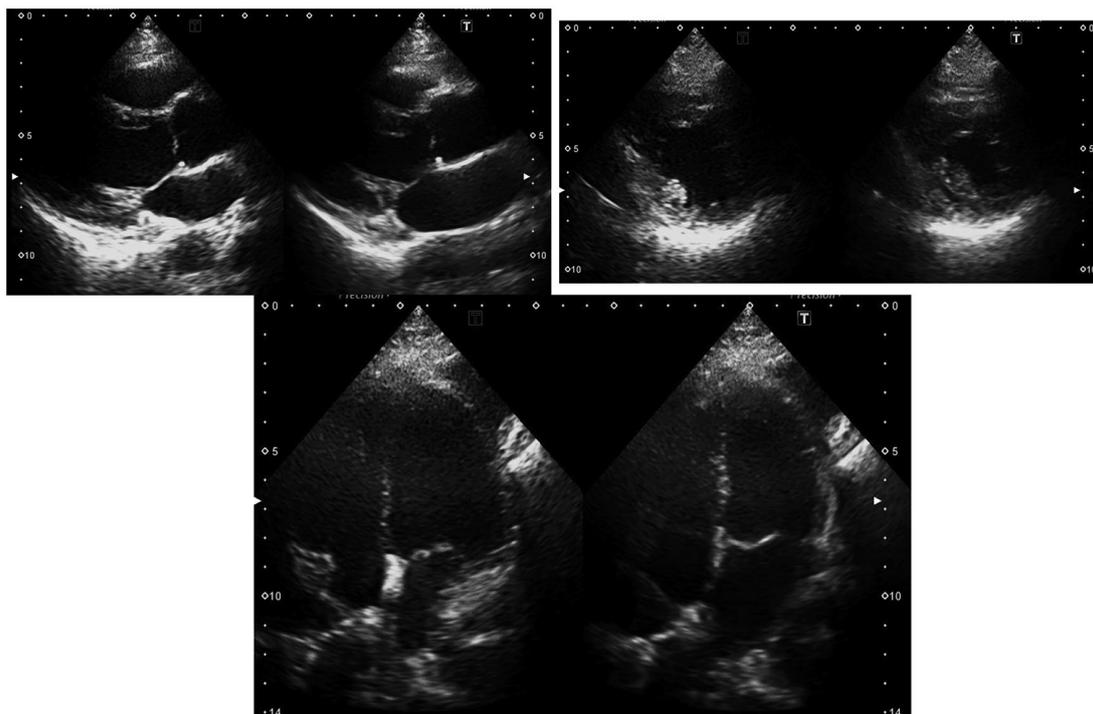


図2 断層心エコー図による左室の描出

断層心エコー図を用いた拡張期末および収縮期末における左室の描出。実際は動画でリアルタイムに局所および全体の壁運動が観察可能である。胸骨傍-左室長軸像（左上），胸骨傍-左室短軸像（右上），心尖-四腔像（下）。

膜の移動もみられることから、心室中隔、左室後壁に限定されるものの、左室の局所壁運動は正常であることが示されている。一方陳旧性心筋梗塞例では、心室中隔の壁運動は保たれ、壁厚増大、心内膜の内方運動を認めるが、後壁では壁厚増大は認めず、心内膜の移動距離も低下している。壁厚増大および内膜の移動距離を計測することにより、心室中隔および左室後壁に限定されるものの、局所壁運動を定量的に評価することができる。ただし内膜の移動距離は局所壁運動に加えて心臓全体の動きの影響を受ける。

当初Mモード法の超音波探触子は単一発振子からなる細長いペンシル型であった。検者は被検者の傍胸骨左縁に探触子をあて、Mモードのパターンをみながら探触子を操作し、大動脈・左房レベルから僧帽弁レベル、左室心基部から心尖部方向へとスキャンし、ストリップ・チャート・レコーダーに記録した。形態そのものをみているわけではなく、動きのパターンをみているため、何が写っているのかの判定は検者の想像力を必要とした。また胸骨左縁からの単一ビームによる観察のため、左室の観察は中隔および後壁に限られた。下壁や側壁、心尖部に限局

した壁運動異常は検出し得ないという欠点はあったが、時間分解能に優れ、対象物の動きをパターン化して判断するには有用であった。現在でも次に述べる断層心エコー図ガイド下に用いられることがある。

## 2. 断層心エコー図法

断層心エコー図は、ペンシル型よりも大きなセクター型探触子を用いて、超音波発振子を機械的に回転させたり（機械式）、あるいは複数の発振子を電子的に制御したりすることによるフェーズド・アレイ方式（電子式）を用いて超音波ビーム方向を制御し、2次元平面上に超音波後方散乱信号をリアルタイムに輝度表示する方法である。Mモードに対してBモードとも呼ばれた。断層心エコー図法の出現により、2次元断層上に心臓の形態をリアルタイムに描出することが可能となった。すなわち心臓の断面を、動きを含めて観察し得るようになった<sup>4)</sup>。ビーム上の1次元の動きしかわからなかったMモード法に比し、2次元断層上の形態、動きを把握できるようになり、正に「百聞は一見にしかず」で、心臓領

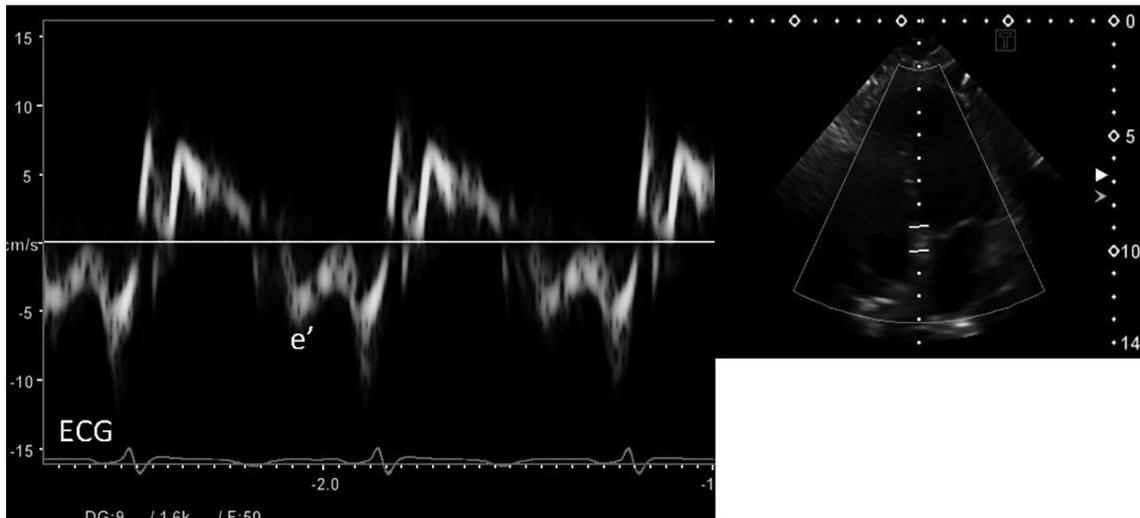


図3 スペクトル組織ドプラ法による僧帽弁輪速度の計測

カーソルを僧帽弁輪部におき(右), 僧帽弁輪速度を計測することが可能である(左). 拡張早期ピーク速度 $e'$ は左室拡張機能の評価に用いられる.

域の診断学は大きく進歩した. 左室壁運動についても, 心尖アプローチや心窩部アプローチを用いることにより左室のほぼ全体が評価可能となった(図2). ところが, ここで問題が生じる. 定量化が困難になったのである. Mモード法では, excursion(移動距離)やthickening(壁厚増加)等の計測が可能であり, 数値に基づく局所壁運動評価が可能であったが, 断層心エコー図法では, 各セグメントについてhyperkinesis, normokinesis, hypokinesis, akinesis, dyskinesisなどと検者が判断することにより, 動きが正常か低下しているかを定性的に評価をせざるを得なくなった. 一方, 左室全体については, 心尖-二腔像および四腔像の心内膜をトレースすることによりmodified Simpson法を用いて左室容積を算出し, 左室駆出率を求めることができる. この方法は現在臨床でも広く用いられているが, 左室全体の評価であり, 左室局所壁運動の評価ではない. 断層心エコー図により左室全体を観察できるのはよいが, 局所壁運動評価における定量性が失われたのである. そこで左室を分割してそれぞれ壁運動の程度についてスコア化する方法などが提唱されたが<sup>5)</sup>, 本質的には定性的である. そこで多くの人々が左室壁運動の定量化にチャレンジすることになった.

### 3. 組織ドプラ法

組織ドプラ法は, 心筋からのドプラ偏移を検出することにより, 超音波ビーム方向における心筋速度

成分を計測する方法である. 心筋からのドプラ信号は, 従来の血流ドプラ法ではノイズとして認識され, MTIフィルター(地形など動きのないものを除去し, 動きのあるもののみ表示するレーダー技術の一つで, ハイパスフィルターで構成される)により除去されていた. 心筋からの後方散乱は, 赤血球からの後方散乱(血流信号)に比し信号強度は大きく, 偏移(速度)は小さいという特徴がある.

#### (1) 第I世代

1989年Isaazらは血流計測用のパルス・ドプラ法を用いてMTIフィルターのカット・オフ周波数を下げ, ゲインを下げることによって左室壁の運動速度をスペクトラム表示した<sup>6)</sup>. この計測法は現在でも心尖アプローチによる僧帽弁輪速度 $e'$ の計測に用いられ(図3),  $E/e'$ として拡張障害の評価の一部としてガイドラインでも用いられる<sup>7)</sup>. 大木らはその後このスペクトラム表示パルス・ドプラ法を用いて精力的に左室弛緩障害に関する臨床研究を行った<sup>8)</sup>.

1991年になると, 東芝メディカル社(当時)の山崎, 嶺, 佐野, 平間らが, 元来血流用に開発されたカラードプラ法を, MTIフィルターをバイパスすることにより心筋組織の速度表示に応用し, これをtissue doppler imaging (TDI)と命名した. この時点では残念ながら論文化されていなかった. 1992年になるとMcDicken, SutherlandらがAccuson社(当時)の装置を用いてMTIフィルターのカット・

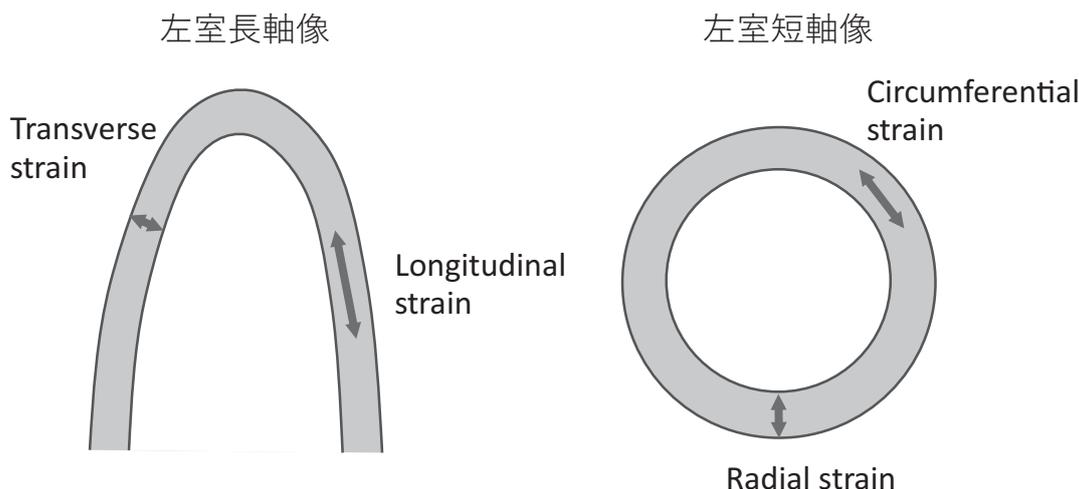


図4 スペックル・トラッキング法で用いられる主な局所壁運動指標

心尖アプローチにおける長軸方向のlongitudinal strain, 心筋壁厚方向のtransverse strain, 短軸断面における円周方向のcircumferential strain, 心筋壁厚方向のradial strainを模式的に示す。

オフ周波数を下げることにより心筋速度のカラー表示を行い、doppler tissue imaging (DTI) と命名した<sup>9)</sup>。1993年には山岸、宮武らが米国心エコー図学会（フロリダ）にてTDIの臨床応用を発表し、翌1994年には山崎らが技術論文を出版した<sup>10)</sup>。同1994年にはSutherlandらによるカラーDTI論文が出版され<sup>11)</sup>、翌1995年には宮武、山岸、上松らによるカラーTDI論文が出版された<sup>12)</sup>。まさに組織ドプラ法研究における、Sutherlandらのグループと宮武らのグループとの日英白熱戦であった。

第I世代のカラー組織ドプラ法は、断層心エコー図上に速度情報を重ねてカラー表示するもので、超音波ビーム方向における速度成分の情報であり、ドプラ角依存性をもつ。血流のように探触子から遠ざかる流れ、近づく流れであればよいが、円形をした左室短軸像においては壁運動の方向は放射線状に360度にわたるため、探触子に対する速度の表示をみてもその解釈は難しく、実用にはほど遠かった。

## (2) 第II世代

第II世代の組織ドプラ法は、ビーム方向に対する速度成分の表示であった第I世代の組織ドプラ法から、画像処理によって臨床的に意味のある情報を抽出しようとする試みであった。上松らは断層心エコー図上で左室短軸像において心筋の厚さ方向の心筋速度勾配myocardial velocity gradientを求め、心筋速度勾配は理論的に心臓全体の並進運動に影響されることなく、心筋の厚さ方向の動きを定量化できることを1994年American Heart Associationにおい

て発表した。発表に先立って論文投稿したものの、論文の出版は翌1995年となった<sup>13)</sup>。一方FlemingらはMモード上ではあるものの、カラー組織ドプラ法を用いて健常例における左室壁のmyocardial velocity gradientを求め、1994年に出版した<sup>14)</sup>。われわれは記録上後塵を拝した形となったが、独立した研究グループから同じmyocardial velocity gradientという用語が提案されたことは驚きであった。心房中隔欠損症では右室の過大な動きにより心室中隔はMモード法では奇異性運動を呈することが知られているが、上松らはさらに本法を用いて、心室中隔のthickeningが正常に保たれていることを示し、本法による局所壁運動評価が全体の動きに影響されないことを実際に示した<sup>15)</sup>。1998年になると、Heimdalらノルウェーのグループが組織ドプラ法による心尖アプローチ左室長軸像におけるストレイン・レートという概念を提唱した<sup>16)</sup>。ストレイン・レートは歪みの変化率であり、myocardial velocity gradientと同一であるが、長軸方向の解析が可能になったことにより、実用性は格段に進歩した。ストレイン・レートのみならず、ストレイン・レートを時間積分して求めたストレインも解析されるようになり<sup>17)</sup>、以降はストレイン、ストレイン・レートをを用いた種々の臨床研究が開花することになった。

## 4. オイラーの方法とラグランジュの方法

ストレイン・レートは瞬時瞬時のストレインの変化率であるから、ドプラ法（瞬時瞬時における速度）

から求めた値は正しいが、それを時間積分して求めたストレインは正確ではないことが、菅原らにより理論的に指摘された<sup>18)</sup>。組織ドプラ法は固定点における心筋速度を計測する方法で、流体力学的にはオイラーの方法といえる。オイラーの方法を用いて固定点において測定されたストレイン・レートを時間積分してもストレインを求めることはできない。一方、ある時刻 $t$ に $x$ という位置にある点の移動を追跡する方法がラグランジュの方法である。ラグランジュの方法で流れや動きを記述するには多数の点を追跡せねばならず、定量的取り扱いが難しい。次項に述べるスペックル・トラッキングはあるパターンを呈するテンプレートを追跡する方法であり、ラグランジュの方法に相当する<sup>18)</sup>。ラグランジュの方法を用いれば理論的にはストレインを正確に求めることができるため、以後壁運動定量化の試みは組織ドプラ法からスペックル・トラッキング法へと移っていく。

## 5. スペックル・トラッキング法

ドプラ法を用いず、断層心エコー図上でパターン・マッチングを行うことにより、心筋の動きを自動追跡する技術である。理論的には各点の動きを追跡するラグランジュの方法にあたる。工学分野では比較的古くから研究されていたが、コンピュータ性能の著しい向上により実用化されたといえる。スペックルとは超音波の波長よりも小さい組織の微細構造により、超音波の後方散乱が作り出す模様である。断層心エコー図上では不規則なツブツブ模様として表示されるが、実際の微細構造物を表しているわけではなく、いわば虚像であるが、Mモードでみると壁運動にともなって動くことがわかる。この模様をパターンとして追跡する。収縮末期の左室短軸像で心内膜、心外膜をそれぞれトレースして関心領域を設定すると、その関心領域は自動的に碁盤の目のような矩形に分割され、それぞれがテンプレートとなって次のフレームで最も類似しているパターンが探され、移動ベクトルが求められる<sup>19)</sup>。このようにスペックル・トラッキング法は膨大な情報処理が必要であり、その精度はハード、ソフトに依存するところが大きい。

スペックル・トラッキング法を用いて左室壁運動定量化のためのさまざまな指標が提唱されてきた。代表的なものには心尖アプローチにおける長軸方向

のlongitudinal strain, 心筋壁厚方向のtransverse strain, 短軸断面における円周方向のcircumferential strain, 心筋壁厚方向のradial strainがある(図4)。その他ねじれtwistなども解析されるようになった<sup>20)21)</sup>。また3次元心エコーにも応用され、3次元セグメントの面積変化% area changeなども検討された<sup>22)</sup>。血流計測に通常用いられる心尖アプローチの場合、左室流入血流はほぼ探触子に向かう方向、左室駆出血流は探触子から遠ざかる方向に向かうため、ドプラ入射角の影響は少なく、ドプラ法による計測精度は良好である。ところが左室壁運動の場合、壁運動の速度ベクトル方向は部位によって異なる。左室心筋の走行は3次元的であり、必ずしも計測断面上にあるわけではない。断層心エコー図では、あくまで断層上における速度成分を計測しているに過ぎない。収縮の過程でベクトル方向が変化すれば、原理的に正しいストレインは求め得ない。また、断面を変えれば速度成分の値は変化する。2次元断面における評価の限界である。3次元エコーのエリア変化でみればこの点を解決できると考えられるが、3次元エコーの画質やトラッキング精度など克服すべき課題もある。

スペックル・トラッキング法を用いたストレイン計測値はベンダー間で異なることがあり、精度の違いも含めて議論されているが、今のところベンダーによるアルゴリズムの違いやストレインの計算方法などは公開されていない<sup>19)</sup>。患者のフォローアップの際などには注意が必要であり、現時点では可及的に同一ベンダーの装置を用いるべきであろう。

がん患者の増加、がん療法の発展により、心機能に影響を及ぼす抗がん剤も増えてきた。スペックル・トラッキング法により求めたglobal longitudinal strain (GLS)は、従来収縮機能を表す指標として用いられてきた左室駆出率に比し、より鋭敏に抗がん剤の影響を検出し得るといって報告があり、期待されている<sup>22)23)</sup>。図5にスペックル・トラッキング法によるストレインの計測例を示す。GLSは心尖アプローチから得られる左室全体のストレインであり、左室全体における平均値であるため、ストレイン指標の中では比較的安定し、計測誤差の少ない指標であると考えられる。左室全体の指標であるため、拡張型心筋症等左室全体の壁運動低下がみられる病態の評価には適している。しかし、局所心筋の評価はできないため、局所の壁運動異常が問題となる、たとえば虚血性心疾患における壁運動評価には有用で

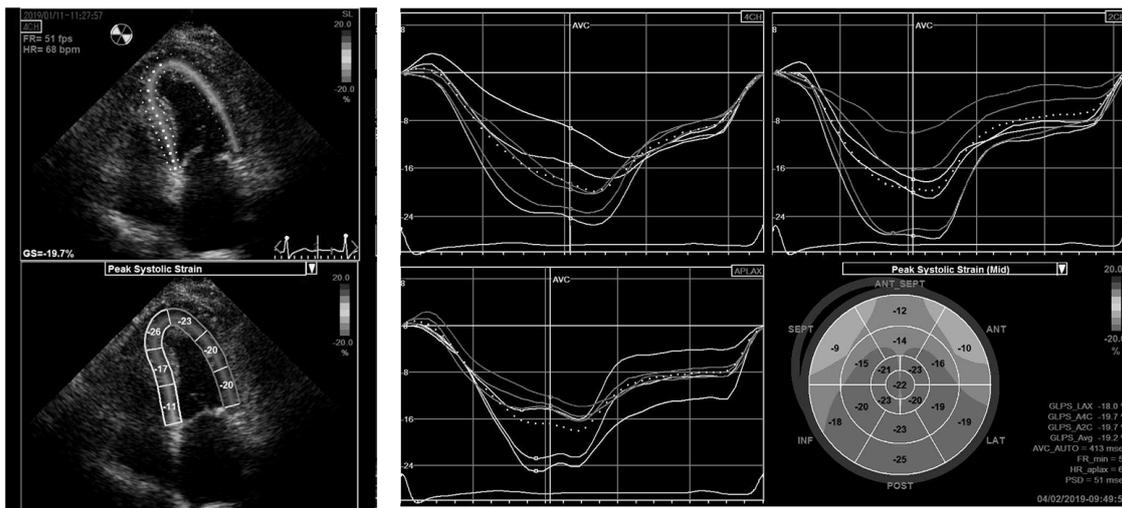


図5 スペックル・トラッキング法によるストレイン計測

心尖-四腔断面におけるストレイン計測画面（左）および得られたストレイン値の表示（右）. 右図では、心尖-四腔像（左上）、心尖-二腔像（右上）および心尖-長軸像により求められたセグメント毎のストレインの経時の変化が示されている. 右図右下は左室におけるピーク・ストレイン値をブルズ・アイ表示したものである. 右下にglobal longitudinal strain値が表示されている.

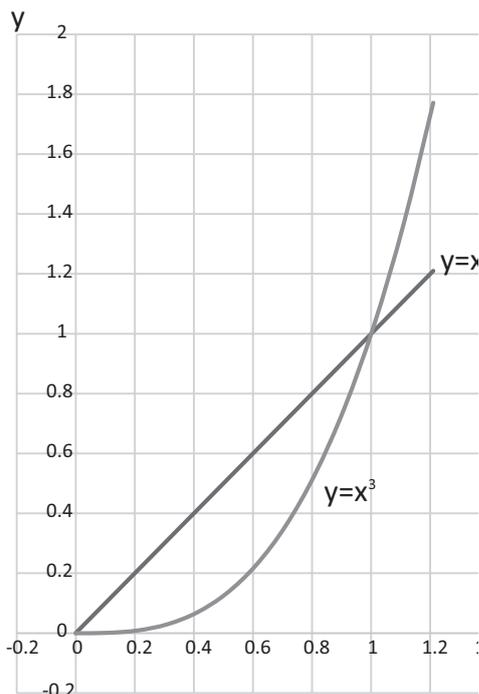


図6 直線 $y=x$ と3次曲線 $y=x^3$ との対比

$0 < x < 1$  の領域では直線の方が3次曲線に比し  $x$  の変化に対する  $y$  の変化が大きい. したがって1次元の指標であるストレインは3次元の指標である容積変化率すなわち左室駆出率に比し微小な変化に対しては鋭敏である可能性がある.

はない.

ここでGLSと従来の左室駆出率との違いを考えてみたい. GLSは左室壁に沿った長さ（1次元）の変化率であり、一方左室駆出率は左室容積（3次元）の変化率である. 両者とも左室の収縮機能を反映する指標であるが、ストレインは1次元であるのでリニアに変化するのに比し、容積変化率である左室駆出率は三乗に変化するもので、直線と三次曲線との0近傍の  $x$  の変化に対する  $y$  の変化を考えると、リニアに変化するGLSの方が微小な変化に対しては鋭敏なだけかもしれない（図6）. 本質的には同一の事象をみているとすれば、今後のがん患者数の増加を考えると、臨床的には簡便に計測できかつ再現性のよい方が生き残るであろう.

最後に重要なことを指摘しておきたい. スペックル・トラッキング法が導入されてから、GLSを中心にその臨床応用が盛んに行われているが、ストレインを論じる場合、ストレスすなわち壁応力を無視しては議論にならない. 壁応力が大きく異なる状況下でストレインを比較することは意味がない<sup>24)</sup>. 残念ながら左室の壁応力を正確に求めることは困難であるが、少なくとも壁応力が大きく異なる状況下での比較であるという前提は確認しつつデータを解釈する必要がある. すなわち血圧や左室の大きさ、壁厚の違いを考慮しつつ、ストレインの解釈を行うべきである.

## おわりに

心エコー図法による左室局所壁運動定量化の変遷について、Mモードエコー図法からスペックル・トラッキング法にいたるまでを概説した。心エコー図法は非侵襲的であり、かつリアルタイムに心臓の動きを観察することが可能であるという大きな特徴を有する。装置やランニング・コストもほかの画像診断に比し安価である。ただし壁運動の評価は定性的であるために検者間のばらつきが大きく、客観的な評価は困難であった。そのため多くの研究者が壁運動の定量化に取り組んだ。ただ、定量化しようとするれば何らかの画像処理が必要になり、超音波法の利点であるリアルタイム性が多少なりとも損なわれる。簡便性、リアルタイム性を損なうことなく、精度よく左室局所壁運動を定量化することは可能なのだろうか。いまだ難しい問題である。しかし、近年のコンピュータ技術の進歩をみていると、近い将来可能になるかもしれない。その場合でも、基本的な事項は理解しておく必要がある。第一に、壁運動は負荷依存性である。すなわちストレス・ストレイン関係を考慮する必要がある。第二に、断層像では、3次元のベクトルの2次元断面における成分をみているに過ぎない。これらをしっかり認識しつつ、将来の展望を新たな技術の出現にゆだねたいと思う。人工知能や高速通信が実用化されつつある時代である。すべてのエコーマシンが高速で繋が<sup>つな</sup>がり、互いの学習結果を参照しながら人工知能が局所壁運動評価を行う時代が遠からず来るかもしれない。

**利益相反について：**本論文に関連し、開示すべき利益相反関係にある企業・法人組織や営利を目的とした団体はありません。

### [文献]

- 1) Satomura S, Matsubara S, Yoshioka M. A new method of mechanical vibration measurement and its application. Mem Insti Sci Ind Res Osaka Univ 1956 ; **13** : 125.
- 2) Satomura S, Nimura Y, Yoshida T. Ultrasound Doppler cardiograph. Proceedings of the Third International Conference on Medical Electronics : London, 1960 ; London ; Institution of Electrical Engineers, 1961, p.249.
- 3) 仁村泰治. [心エコーの歴史] 心エコーの創始時代. 心エコー 1999 ; **1** : 96-9.
- 4) Armstrong WF, Ryan T eds. Physics and Instrumentation, In : Feigenbaum's Echocardiography 7th ed. Philadelphia, Pa. ; London , Wolters Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins Health, 2010. p 9-38.
- 5) Schiller, NB, Shah, PM, Crawford, M et al. American Society of Echocardiography committee on standards, subcommittee on quantitation of two-dimensional echocardiograms. Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 1989 ; **2** : 358-67.
- 6) Isaza K, Thompson A, Ethevenot G et al. Doppler echocardiographic measurement of low velocity motion of the left ventricular posterior wall. Am J Cardiol 1989 ; **64** : 66-75.
- 7) Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA et al. Doppler tissue imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. J Am Coll Cardiol 1997 ; **30** : 1527-33.
- 8) Oki T, Tabata T, Yamada H et al. Clinical application of pulsed Doppler tissue imaging for assessing abnormal left ventricular relaxation. Am J Cardiol 1997 ; **79** : 921-8.
- 9) McDicken WN, Sutherland GR, Moran CM et al. Colour Doppler velocity imaging of the myocardium. Ultrasound Med Biol 1992 ; **18** : 651-4.
- 10) Yamazaki N, Mine Y, Sano A et al. Analysis of ventricular wall motion using color-coded tissue Doppler imaging system. Jpn J Appl Phys 1994 ; **33** : 3141-6.
- 11) Sutherland GR, Stewart MJ, Groundstroem KW et al. Color Doppler myocardial imaging: a new technique for the assessment of myocardial function. J Am Soc Echocardiogr 1994 ; **7** : 441-58.
- 12) Miyatake K, Yamagishi M, Tanaka N et al. New method for evaluating left ventricular wall motion by color-coded tissue Doppler imaging: in vitro and in vivo studies. J Am Coll Cardiol 1995 ; **25** : 717-24.
- 13) Uematsu M, Miyatake K, Tanaka N et al. Myocardial velocity gradient as a new indicator of regional left ventricular contraction: detection by a

- two-dimensional tissue Doppler imaging technique. *J Am Coll Cardiol* 1995 ; **26** : 217-23.
- 14) Fleming AD, Xia X, McDicken WN et al. Myocardial velocity gradients detected by Doppler imaging. *Br J Radiol* 1994 ; **67** : 679-88.
- 15) Uematsu M, Nakatani S, Yamagishi M et al. Usefulness of myocardial velocity gradient derived from two-dimensional tissue Doppler imaging as an indicator of regional myocardial contraction independent of translational motion assessed in atrial septal defect. *Am J Cardiol* 1997 ; **79** : 237-41.
- 16) Heimdal A, Støylen A, Torp H et al. Real-time strain rate imaging of the left ventricle by ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr* 1998 ; **11** : 1013-9.
- 17) Urheim S, Edvardsen T, Torp H et al. Myocardial strain by Doppler echocardiography. Validation of a new method to quantify regional myocardial function. *Circulation* 2000 ; **102** : 1158-64.
- 18) 菅原基晃, 仁木清美, 大手信之. イメージで理解する心エコー・ドプラ・循環力学. 東京 ; 文光堂 2011 ; p.166-7.
- 19) 山崎延夫. 日本初&世界初 エコーで心臓を定量することに魅せられた人々. 東京 ; 国際メディア 2013.
- 20) Notomi Y, Lysyansky P, Setser RM et al. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005 ; **45** : 2034-41.
- 21) Seo Y, Ishizu T, Enomoto Y et al. Endocardial surface area tracking for assessment of regional LV wall deformation with 3D speckle tracking imaging. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011 ; **4** : 358-65.
- 22) Reisner SA1, Lysyansky P, Agmon Y et al. Global longitudinal strain : a novel index of left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004 ; **17** : 630-3.
- 23) Yang H, Wright L, Negishi T et al. Research to Practice: Assessment of Left Ventricular Global Longitudinal Strain for Surveillance of Cancer Chemotherapeutic-Related Cardiac Dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging* 2018 ; **11** : 1196-201.
- 24) Uematsu M. Speckle tracking echocardiography- Quo Vadis? *Circ J* 2015 ; **79** : 735-41.

---

## Quantitation of the Left Ventricular Regional Wall Motion by Ultrasound : From M-mode to Tissue Doppler Imaging and Speckle Tracking Echocardiography

Masaaki Uematsu

### Abstract

Noninvasive and real time assessment of the left ventricular wall motion has become feasible with the advent of echocardiography. Nonetheless, quantitation of the regional wall motion has not been established in clinical settings in spite of a large number of clinical researches. Routine examinations of the left ventricular regional wall motion remain qualitative using two-dimensional echocardiography, based on the eyes. Recently, global longitudinal strain has been introduced as a sensitive maker of the left ventricular dysfunction related to chemotherapy. In this manuscript, history of the assessment of the left ventricular regional wall motion by using ultrasound was reviewed from classic M-mode, two-dimensional echocardiography, tissue Doppler imaging and finally to speckle tracking echocardiography. Current issues and future directions on the quantitation were also discussed.