

経胸壁ドプラエコー法による前下行枝冠動脈 ならびに心筋内小動脈血流の描出

Visualization of blood flow in anterior descending coronary artery
and myocardial small coronary arteries by transthoracic Doppler echocardiography

皆越 眞一 Shinichi Minagoe

外山 芳史 Yoshifumi Toyama

水上 尚子 Naoko Mizukami

鹿児島共済会 南風病院 循環器科

高周波探触子を用いた経胸壁ドプラ法によって、前下行枝冠動脈の近位部だけでなく、中間部や遠位部の血流シグナルを直接描出することが比較的容易になり、虚血性心疾患における同血管の狭窄度、冠血流予備能の評価、PTCA後再狭窄の検出、急性心筋梗塞再灌流後のno reflow現象の検出などが検討されつつある。さらに、同法を用いて肥大型心筋症、高血圧心などの肥大型心筋内小動脈の血流速パターンやその冠血流予備能を検討すると、心外膜冠動脈血流との間に違いがみられ、一部の症例では心筋内小動脈の狭窄血流も観察される。このように高周波探触子を用いた経胸壁ドプラ法は、これまで観察が容易でなかった前下行枝ならびに心筋内小動脈の血流シグナルの検出を可能とし、虚血性心疾患や肥大型心筋症における冠循環動態の非観血的な検討において有益な手段となる可能性がある。

Transthoracic color and pulsed Doppler echocardiography using a high frequency transducer allows us to visualize coronary artery flow signals directly not only of the proximal portion but the inrmediate and distal portions of the left anterior descending coronary artery (LAD) with relative ease, and evaluation of the percent stenosis, coronary flow reserve, detection of restenosis after PTCA, and detection of no reflow phenomenon after reperfusion in acute anterior myocardial infarction are now being studied clinically. Furthermore, by applying this method to the examination of hypertrophic heart such as hypertrophic cardiomyopathy and hypertensive heart, detection of the blood flow velocity of transmural small coronary arteries and its flow reserve are also available at the apex or interventricular septum. These studies show that small coronary artery flow velocity pattern and flow reserve are different from those in LAD, and that the stenotic lesion of small coronary arteries are observed in some patients with hypertrophied myocardium. Thus, transthoracic color and pulsed Doppler echocardiography can demonstrate LAD and transmural small coronary artery flow distribution and velocity, and can be expected to become an useful method to evaluate the coronary flow dynamics in patients with ischemic heart disease and hypetrophic heart, noninvasively.

Key Words: Transthoracic Doppler echocardiography,
Left anterior descending coronary artery,
Small coronary artery, No reflow

冠血流の記録は、おもに経食道エコー法あるいは心臓カテ
ーテル検査中にドプラフローワイヤ法を用いて行われていた
が¹⁾²⁾³⁾、高周波探触子を用いた最近のカラードプラエコー法
では経胸壁的に冠動脈血流の描出が容易になった。この新し
い心エコー・ドプラ装置を用いるとカラードプラエコー図上、

左冠動脈近位部だけでなく前下行枝冠動脈中間部や遠位部
の血流シグナルが直接描出され、パルスドプラエコー図では
その流速の記録が可能である。また、同法を用いると心尖部
や心室中隔での心筋内小動脈の血流シグナルも観察される。

A. 前下行枝冠動脈血流

左冠動脈主幹部は大動脈起始部の左冠尖側より起始し、回旋枝を分岐後(#5)、肺動脈の左側を前方へ向かい第1対角枝および中隔枝を分岐する(#6)。その後、第2対角枝に到り(#7)、末梢へと続く(#8)。経胸壁ドプラ法により、いずれの部位の血流シグナルも検出できるが、ここでは#7の血流につき述べる。探触子を左第3あるいは第4肋間に置き、カラードプラエコー法を用いて超音波ビームを右室自由壁と左室自由壁の接合する部位(前室間溝)に向けると、前下行枝#7の血流シグナルが描出される。図1aは正常冠動脈#7のカラードプラエコー

図である。図1bは同部位に狭窄病変をもつ症例の血流シグナルで乱流が記録されている。パルスドプラ法を用いそれぞれの血流速度を記録すると狭窄血管の流速は上昇している。また、パルスドプラ法を用い乱流の手前と乱流部位の血流を記録すると、その流速の違いが記録される(図2)。同様にこの方法で経皮的冠動脈形成術 (PTCA) 前後の症例で観察すると、図3に示すようにPTCA後の血流速度が改善しているのが記録される。同症例は(#7)にステントが挿入されていたが、血流シグナルの描出には支障のなかったことより、経胸壁ドプラ法によってPTCA後の再狭窄の検出が可能となるかもしれない。

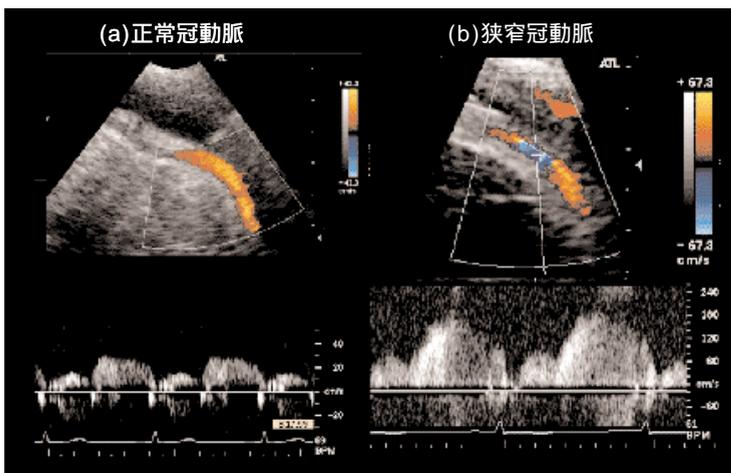


図1：前下行枝冠動脈中間部(#7)の経胸壁カラードプラエコー図
(a)は正常冠動脈を、(b)は狭窄冠動脈を示す。狭窄冠動脈ではカラードプラエコー図とパルスドプラエコー図で流速が上昇している。

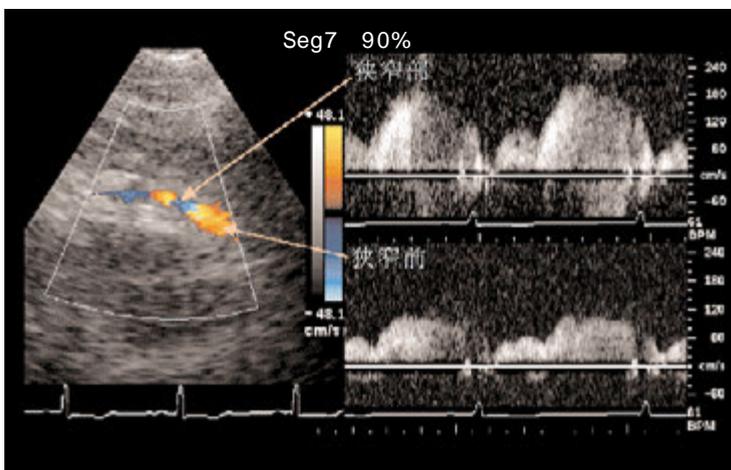


図2：前下行枝冠動脈狭窄部(#7)とその近位部の血流速度
パルスドプラエコー図によるモザイクシグナル部位(狭窄部)とその近位部での血流速度には差異が認められる。

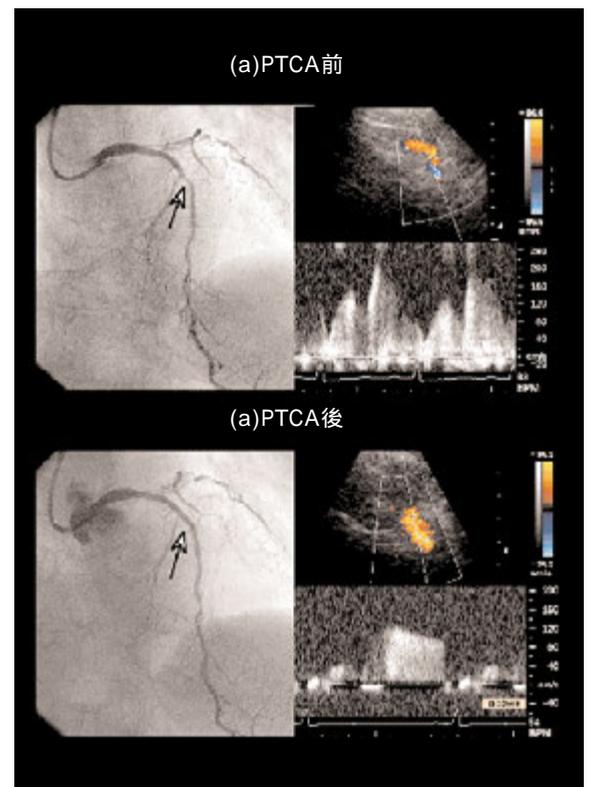


図3：前下行枝冠動脈(#7)に対するPTCA前後の血流速度の変化

左に冠動脈造影所見を示す。PTCA後の流速はパルスドプラエコー図で約1/2に低下している。

冠動脈狭窄の評価の一つに冠血流予備能をみる方法がある。穂積らは経胸壁ドプラ法を用い主に#8の血流を検出することによって、前下行枝冠動脈の狭窄病変に対する冠血流予備能の評価がドプラフローワイヤ法と良好な相関をしめたと報告している⁴⁾⁵⁾。図4に経胸壁ドプラ法により得られたパパペリン負荷前後の正常な冠血流速度の変化をしめす。冠血流予備能は心外膜冠動脈の狭窄だけでなく、心筋微小循環の障害も反映するとされている。冠血流予備能がベッドサイドで得られれば、虚血性心疾患や肥大心、心筋症などにおける心筋のviabilityなどの情報が非観血的に得られる可能性がある。

急性前壁心筋梗塞の急性期には経胸壁カラードプラ法では前下行枝冠動脈血流は認められないが(図5a)、PTCAなどにより閉塞病変が改善すると再灌流による血流シグナルが認め

られ(図5b)その流速パターンが記録される。その際、その流速パターンには収縮期、拡張期ともに順行性の緩やかな血流波形をしめす場合(図6a)と、収縮期逆流と拡張早期流入波形の急峻な減少をしめす場合(図6b)とがある。伊藤らは後者の血流パターンは急性心筋梗塞再灌流後の末梢循環不全のサインであり、冠微小血管抵抗の増大と心筋貯留血液量の減少によるとし、冠動脈造影法や心筋コントラストエコー法によるno-reflow現象に特徴的であることを報告している⁶⁾⁷⁾。同現象は急性心筋梗塞の予後や治療法を規定する重要な所見であるが、これまで心筋コントラストエコー法や冠動脈造影など観血的にのみ得られていた。同現象が経胸壁ドプラ法によって非観血的に検出されれば、臨床上有用と考えられる。

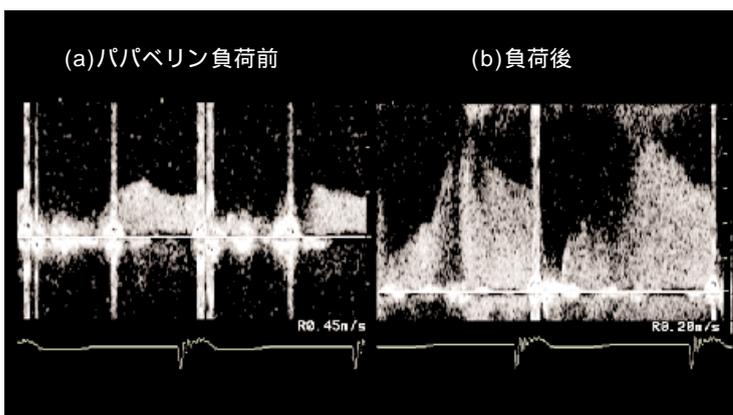


図4：パパペリン負荷による前下行枝冠動脈血流速度(#8)の変化
負荷前(a)に比べ負荷後(b)の血流速度は上昇し、冠血流予備能が正常であることを示す。

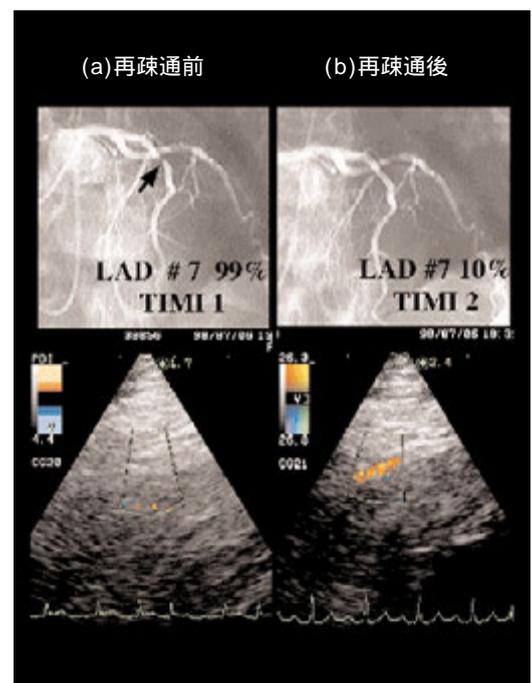


図5：急性心筋梗塞例(#7、99%)の経胸壁カラードプラエコー図

上段に冠動脈造影を示す。(a)急性期のカラードプラエコー図では血流シグナルが描出されていないが、PTCAによる再灌流後には血流シグナルが出現している(b)。

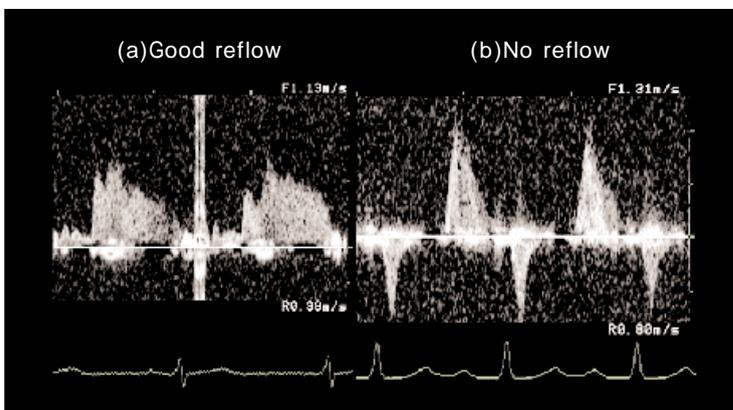


図6：急性心筋梗塞例での再灌流後前下行枝冠動脈(#7)血流:パルスドプラエコー図による2種類の血流パターン

(a)では順行性の収縮期と拡張期の血流シグナルが記録されている(good reflow)。(b)では収縮期の逆流と急峻な減速を示す拡張期血流が記録されている(no reflow)。

B. 冠動脈バイパスグラフト血流の観察

冠動脈バイパスグラフト血流はこれまで、超音波ビームを左鎖骨上窩より投入することによって内胸動脈の起始部や中間部の血流を描出し、その血流パターンより狭窄度の評価が行われていた。前述した高周波探触子を用いると内胸動脈と前下行枝吻合部付近の血流シグナルが描出されることがある。図7は経胸壁カラードプラエコー法によって左内胸動脈バイパスと前下行枝冠動脈(#8)の吻合部位を直接描出したものである。左の冠動脈造影と比較するとその解剖学的位置関係が明瞭である。同症例は冠動脈造影上バイパスの吻合部近くに軽度狭窄が認められたが、同部位での血流速度の上昇が

パルスドプラ法でも記録されている。バイパス後の吻合部付近の血流シグナルの検出率は不明であるが吻合部を直接描出する試みも臨床的に有益であると思われる。

C. 心筋内冠動脈血流

高周波探触子を心尖部や胸骨左縁におくと、心尖部や心室中隔の小動脈血流シグナルが観察される(図8)。これまでの経験では肥大型心筋症における心筋内小動脈の流速は一般に心外膜冠動脈より高値を示し、また収縮期逆流シグナル(systolic reversal)が高頻度に認められ(図9)、心外膜冠動脈と異なっているのが観察されている⁸⁾。

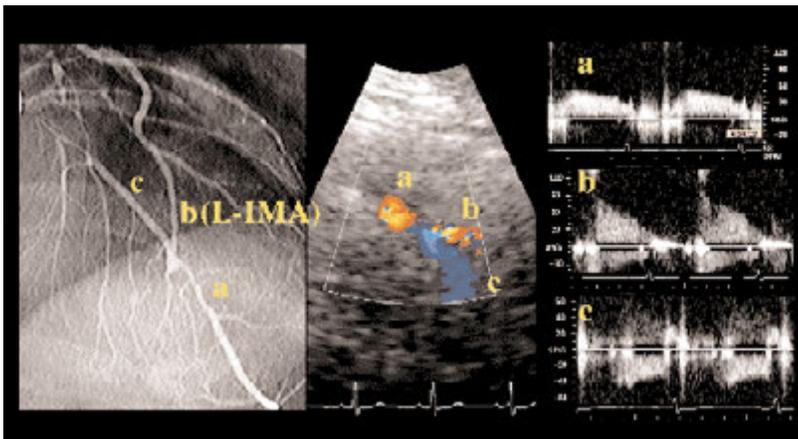


図7：CABG後症例での左内胸動脈と前下降枝動脈吻合部のカラードプラエコー図

左に冠動脈造影をしめす。中央のカラードプラエコー図には接合部のカラーシグナルが描出されている。右のパルスドプラエコー図には血流速度とその方向が記録されている。同症例は(b)の吻合部の手前に狭窄がある。

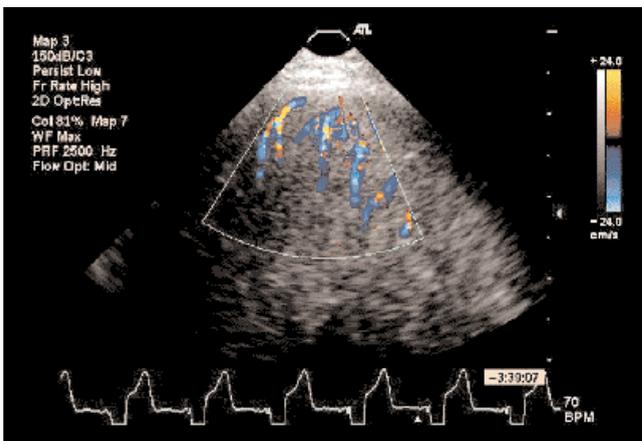


図8：肥大型心筋症例での心筋内心尖部小動脈のカラードプラエコーシグナル図

心外膜側より心内膜側にほぼ直角に走行する拡張期の小動脈流入血流シグナルが描出されている。

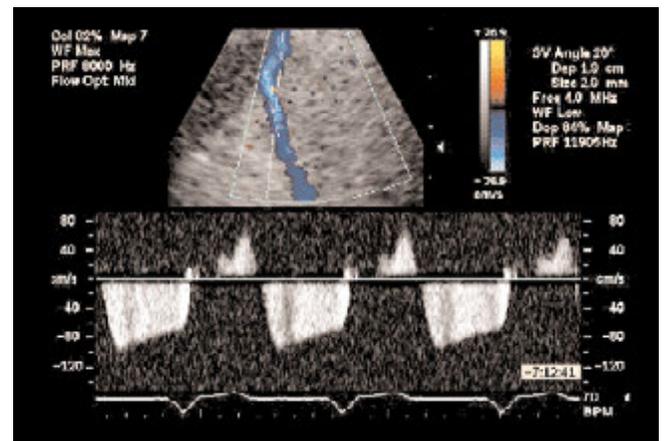


図9：図8と同一症例でのカラーならびにパルスドプラエコー図

肥大型心筋症では図にしめすように速い拡張期流入血流と収縮期逆流血流を認める。

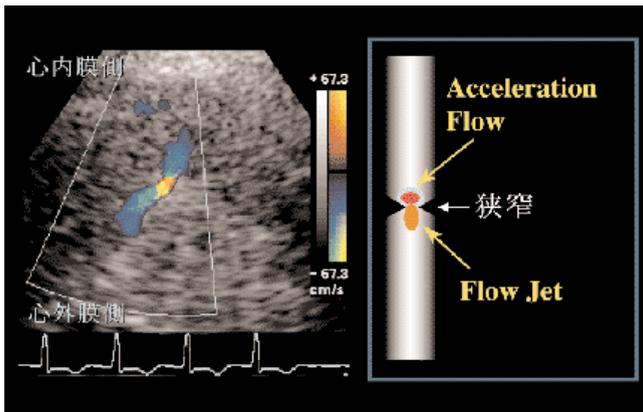


図10：心筋内小動脈血流内の加速血流シグナル

右の模式図に示すようにカラードプラエコー図では狭窄前の加速血流シグナル(acceleration signal)と狭窄部を通過したあとのflowjetがみられる。加速血流シグナル部位の流速をパルスドプラ法で記録すると、高い例ではそのpeakは3m/sec.にも達する。加速血流シグナルを検出するには、低流速によるaliasingを除外するためvelocity rangeを上げる必要がある(Velocityrange 67.3cm/sec.)。

血管や心腔内に狭窄があると狭窄直前の流速が速くなり、カラードプラ法で局所的に流速の速い部位(加速血流シグナル; acceleration flow signal)が形成される(図10)。高周波探触子を用いた経胸壁カラードプラ法を用いて心尖部や心室中隔の小動脈内を観察すると、しばしばこの加速血流シグナルが認められる。パルスドプラ法で加速血流シグナル部位の流速を記録するとその近位部や遠位部よりも有意に高値を示すことから、この加速血流シグナルは小動脈内の狭窄病変の存在を示すと考えられる。加速血流シグナルは肥大型心筋症や高血圧心で高頻度に認められるが、その他拡張型心筋症や虚血性心疾患などでも認められる。心筋虚血は心外膜冠動脈の狭窄だけでなく、心筋内冠動脈の狭窄やスパズムによっても引き起こされることが報告され(microvessel angina、 syndrome X)⁹⁾¹⁰⁾、また、肥大型心筋症や高血圧心患者の剖検心では心筋内小動脈の内膜や中膜の肥厚が数多く認められると報告されている¹¹⁾¹²⁾。従って、本法により得られる心筋内小動脈狭窄の存在は、これらの疾患における心筋内虚血の出現に関与していると思われる。

参考文献

- 1) Fusejima K: Noninvasive measurement of coronary artery blood flow using combined two-dimensional and Doppler echocardiography. J Am Coll Cardiol. 10:1024-1031, 1987
- 2) Yoshida K, Yoshikawa J, Hozumi T, Yamaura Y, Akasaka T, Fukaya T, Kato H: Detection of left main coronary artery stenosis by transesophageal color Doppler and two-dimensional echocardiography. Circulation. 81:1271-1276, 1990
- 3) Iliceto S, Marangelli V, Memmola C, Rixxon P: Transesophageal Doppler echocardiography evaluation of coro-

- nary blood flow velocity in baseline conditions and during dipyridamole-induced coronary vasodilation. Circulation. 83:61-69, 1991
- 4) Hozumi T et al., : Noninvasive assessment of significant left anterior descending coronary artery stenosis by coronary flow reserve using transthoracic color Doppler echocardiography. Circulation. 97:1557-1562, 1998
- 5) Hozumi T, Yoshida K, Akasaka T et al., : Noninvasive assessment of coronar flow velocity and coronar flow velocity reserve in the left anterior descending coronary artery by Doppler echocardiography: comparison with invaseve technique. J Am Coll Cardiol. 32:1251-1259, 1998
- 6) Ito H, Tomooka T, Sakai N et al., : Lack of myocardial perfusion immediately after successful thrombolysis : a predictor of poor recovery of left ventricular function in anterior myocardial infarction. Circulation. 85:1699-1705, 1992
- 7) Iwakura K, Ito T, Takiuchi s et al., : Alteration in the coronary blood flow velocity pattern in patients with no reflow and reperfused acute myocardial infarction. Circulation. 94:1269-1275, 1996
- 8) Minagoe et al., : 高周波探触子を用いた経胸壁ドプラ心エコー法によるヒト心筋内血流の描出 Journal of Cardiology. 30:149-155, 1997
- 9) Connon RO et al., : "Microvascular angina" as a cause of chestpain with angiographically normal coronary arteries. Am J Cardiol. 61:1338-1343, 1988
- 10) Opherk D et al., : Four-year follow up in patients with angina pectoris and normal coronary arteriograms ("Syndrome X"). circulation 80:1610-1616, 1989
- 11) Marron BJ et al., : Intramura (small vessl) coronary artery disease in hypertrophic cardiomyopathy. Am J Cardiol. 8:545-557, 1986
- 12) Tanaka M et al., : Quantitative analysis of narrowing of intramyocardial small arteries in normal hearts, hypertensive hearts, and hearts with hypertrophic cardiomyopathy. Circulation. 75:1130-1139, 1987