超音波パルスドプラ法による等容性拡張期に見られる左室内血流の検討

鹿児島大学医学部第二内科

黒岩 宣親◇ 中村 一彦 真田 純一
大重太真男 橋本 修治

THE ANALYSIS OF THE BLOOD FLOW PATTERN OF THE LEFT VENTRICLE DURING ISOVOLUMIC RELAXATION PERIOD BY THE USE OF PULSED DOPPLER ECHOCARDIOGRAPHY

Nobuchika KUROIWA, MD, Kazuhiko NAKAMURA, MD, Jun-ichi SANADA, MD
Tamao OHSHIGE, MD and Shuji HASHIMOTO, MD

The Second Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, Kagoshima University

概要 超音波パルスドプラ法を用いて、等容性拡張期に見られる左室内血流について、特徴的パターンおよび意義について健常例26名、陳旧性心筋梗塞例43名で検討した。健常例では、左室中央部で心尖部へ向かう層流性の血流信号が得られ、心音図上IIAより約20msec前に始まり、ほぼIIAに一致してピークを有し急速流入血流の直前で消失する。同血流の持続時間は39才以下の若年者群（ $n=14$ ）で 111 ± 22 msec、40才以上の高年者群（ $n=12$ ）で 137 ± 27 msecで、高年者群で有意に延長した。一方、陳旧性心筋梗塞例では、心尖部方向を向く群（以下A群： $n=20$ ）心基部方向もしくは心尖部方向を向いたものが逆転して心基部方向を向く群（以下B群： $n=12$ ）明らかな血流の消失する群（以下C群： $n=11$ ）の3群に分けられた。左室造影で等容性拡張期に左室を心基部側と心尖部側とに2分して検討すると、A群では心尖部側が心基部側に比し、より拡張し血流は心尖部側へ向き、B群では逆に心基部側の拡張が強く心基部を向き、C群では左室変形が少なく明らかな血流が出現しない事が示された。左室駆出率との関係では、健常例（N群）との比較で、 $N > A > B > C$ と有意差を生じた。等容性拡張期に見られる血流は、梗塞部位やその広がりを含めた左室弛緩様式を反映すると共に、弛緩速度評価に対する有用性を持ち、新しい左室弛緩能を表わす非観血的指標としての可能性が示唆された。

緒 言

近年、超音波パルスドプラ法を用いて、非観血的に心血管系の血流の検索が可能となり、種々の分野でその有用性が報告されつつある。臨床的には、特に逆流性心疾患で診断および重症度評価まで可能となってきた^{1)~3)}。左室内血流パターンについても検討が加えられ、正常心では、収縮期に駆出により左室流出路へ向かう血流、拡張期に左室流入路で、急速流入および心房収縮による二峰性の心尖部へ向かう血流、さらに等容性収縮期に

は左室流出路において大動脈方向へ向かう血流の存在が報告されている⁴⁾⁵⁾。又、等容性収縮期に見られる血流に関しては、同血流の流速が左室駆出率と正相関する事が報告され、閉鎖心腔における血流の重要性が示唆された⁵⁾。一方、等容性拡張期には田中ら⁶⁾により、心尖部方向へ向かう血流の存在が報告されているが、その基本的特徴、成因、病態生理学的意義については未だ十分解明されていない。今回著者らは、この等容性拡張期血流について健常例および陳旧性心筋梗塞例を用いて検討したので報告する。

対象および方法

対象は健常例26例，陳旧性心筋梗塞例43例の計69例である。健常例はポランティア16例および胸痛を訴えたが冠動脈造影，左室造影にて異常を認めなかった10例で，年齢24～64才(39.2 ± 14.3 才， $\text{mean} \pm \text{SD}$)男性21名，女性5名である。陳旧性心筋梗塞例は，年齢33～70才(56.7 ± 8.4 才)男性36名，女性7名であり，全例とも冠動脈造影，左室造影を施行した。

超音波パルスドプラ法の使用装置および記録方法については，既報⁵⁾のように行なった。時相分析は5心拍の平均値を用いた。左室造影は，Sonesカテーテル8F又は7Fを用い，76%ウログラフィン35～40mlを毎秒6～7mlで注入し，右前斜位30度，左前斜位60度を秒60コマで撮影した。分析に際しては，右前斜位のものを用いて，拡張末期，収縮末期，僧帽弁開放直前のフレームを重ね合わせてトレースし，体積はKennedyらの方法⁷⁾により求めた。心基部側（以下Base）と心尖部側（以下Apex）の分類については，大動脈弁輪部中点と心尖部を結ぶ線を二等分して心基部側と心尖部側とした。等容性拡張期時相は，収縮末期フレームより僧帽弁開放直前のフレームまでとした。等容性拡張期時相の心尖部側の面積の拡大率と，心基部側の面積の拡大率の比は図1のシェーマに示すよ

図1. 心尖部側/心基部側の拡大率の比

うに $\text{Apex/Base} = D/B/C/A$ で計算した。

結 果

図2に健常例の左室中央部における血流ドプラ信号を示す。収縮期駆出血流を示す左室流出路側へ向かう血流と，急速流入血流により心尖部方向へ向かう血流との間に，矢印に示すように心尖部側へ向かう立ち上りの急峻な層流性の血流を認める。本血流はドプラ装置のtime delayを考慮に入れると時相的には心音図上IIAよりわずかに前に始まり，急速流入血流の直前に消失しており，ほぼ等容性拡張期に一致するので以下便宜的にisovolumic relaxation flow（以下IRFと略す）と名付けた。

IRFは健常者の全例に認められた。本血流は，概ね左室中央部で流速が最大となり，良好な血流信

図2. 健常例左室中央部における血流ドプラ信号

表 1. 健常者例における若年者群と高年者群の比較

	若年者群 (n=14)	高年者群 (n=12)
年 令	24~38 (25.5±1.4)	45~64 (55.1±5.9)
R-R 間隔 (msec)	908±170	955±109
IIA-IRF 開始 (msec)	-18±7	-21±12
IIA-IRF ピーク (msec)	-3±3	14±25
IRF 持続時間 (msec)	111±22	137±27
IRF ピーク流速 (Hz)	810±221	888±239

(平均±SD)

号が得られる傾向にあつたため、以下の検討は同部位にて行なつた。

健常例26例を、39才以下の若年者群 (n=14) と40才以上の高年者群 (n=12) に分け、そのIRFの分析結果を表1に示す。IRFピーク流速は、若年者群810±221Hz、高年者群888±239Hzで有意差なく、IRF持続時間は、若年者群111±22msec、高年者群137±27msecで高年者群で有意に延長していた。心音図上IIAからIRF開始までは、若年者群-18±7msec、高年者群-21±12msec、IIAよりIRF流速のピークまでは、若年者群-3±3msec、高年者群14±25msecであつた。以上よりIRFは、IIAより約20msec前に始まりIIA付近でピークを有する

事が示された。

次に陳旧性心筋梗塞群のドプラ血流信号を検討した。図3に示す如く、健常例と同様に心尖部方向を向く血流を呈する群 (以下A群: n=20)、健常例とは逆向きの心基部を向く血流もしくは、まず心尖部を向きその後逆転して心基部を向く血流を呈する群 (以下B群: n=12)、明らかな血流が消失する群 (以下C群: n=11) の3群に分けられた。以下これらの3群と、左室造影を施行した健常群 (以下N群: n=10) についての比較検討を行なつた。

表2に冠動脈に75%以上の有意の狭窄を示す部位および、左室壁異常運動を呈する部位を心尖部

図3. 陳旧性心筋梗塞例における血流ドプラ信号

表 2. IRF各群と冠動脈病変および左室壁異常運動を有する部位

IRF	Type	冠動脈病変			左室壁病変		
		LAD	LCX	RCA	Apical	Basal	Both
A	(n=20)	10	11	12	7	3	10
B	(n=12)	8	3	3	10	0	2
C	(n=11)	7	2	2	3	0	8

側をApical, 心基部側をBasal, 両側にわたる場合をBothで示した。B群では, 全例心尖部側の壁異常運動を有していた。図4に各群の左室駆出率を示す。N群 $77 \pm 8\%$, A群 $66 \pm 12\%$, B群 $52 \pm 11\%$, C群 $40 \pm 11\%$ でのおおのについて有意差を認めた(N>A>B>C)。図5に左室収縮末期容量(End-systolic volume: ESV)より僧帽弁開放直前の容量(Pre-inflow volume: PIV)への増加率PIV/ESVを示した。N群 1.27 ± 0.14 , A群 1.25 ± 0.16 , B群 1.17 ± 0.10 , C群 1.12 ± 0.06 でN群A群とC群との間では有意にC群の増加率は低く, 容量の増加率が少ない結果となった。図6に左室造影右

図4. 左室駆出率と健常例(N群)と陳旧性心筋梗塞3群との比較

図5. 僧帽弁開放直前左室容量(PIV)/収縮末期容量(ESV)と各群との比較

前斜位における収縮末期より, 僧帽弁開放直前までの心尖部側と心基部側の面積の拡大率の比(Apex/Base)を示す。N群 1.22 ± 0.22 , A群 1.09 ± 0.11 , B群 0.94 ± 0.08 , C群 0.96 ± 0.09 で, N群A群では心基部に比べて心尖部側半分の面積の拡大率が大きく, B群C群では逆に心尖部に比べて心基部側半分の面積の拡大率が大きい結果となった。

考 案

近年超音波パルスドプラ法を用いて非観血的に左室内血流の検索が可能となり, 正常心を含め虚

図6. 心尖部側/心基部側の拡大率と各群との比較

血心でも詳細な報告がなされている⁴⁾⁸⁾。しかしながら等容性拡張期の血流については、その存在は報告されているが、十分な解明がなされていない一方、正常心および病的心で、等容性拡張期時相に左室の変形をきたす事が以前より報告され¹⁰⁾¹¹⁾、又、本時相での弛緩特性の変化が病的心の早期の示標として注目されるようになり、等容性拡張期時相での左室内血流の動態は興味あるところである。

今回の健常例の検討では、IRFは心音図上IIAより約20msec前に始まり、ほぼIIAに一致してピークを有し、急速流入血流の直前に終る事が示された。流速は、左室中央部付近で最大となり平均850 Hz程度であつた。超音波ビーム方向と流入路の血流に対する角度をほぼ平行と仮定すると、流速は約23cm/秒であり、急速流入血流流速の半分程度であつた。左室弛緩の始まりは駆出期後半に存在すると考えられているが、正確な時相は不明であ

る¹²⁾。後述するようにIRFの成因として左室弛緩による変形が考えられるので、IRFがIIAより約20msec前に始まる事は、左室弛緩の開始は少なくともIIAより約20msec前に存在すると考えられる。又、IIAに一致してピークを有する事は、IRFが大動脈弁閉鎖機序にも合目的に働く事が示唆される。左室等容性拡張期時間(以下IRT)は、大動脈弁閉鎖より僧帽弁開放までの時相で、左室弛緩速度をある程度反映するが、大動脈切痕症、左房圧および心拍数により影響される事は従来言われており、年齢と共に延長するとの報告も見られる¹³⁾¹⁴⁾。IRFはIIAより前に始まるため、従来のIRTより高値となるが左室弛緩速度を表わす指標として、IRTと同様の意義をもつものと考えられる。今回の検討では、若年者群 111 ± 22 msec、高年者群 137 ± 27 msecで高年者群で有意に延長したが、これは従来のIRTでの成績¹⁴⁾に矛盾しないと考えられる。

等容性拡張期時相において、左室容量はわずかに増加する事が報告されている¹⁰⁾¹¹⁾。著者らの健常例の検討では、その増加率PIV/ESVは1.27でRutleyら¹⁰⁾の1.24と良く一致する。著者らはさらにその容量の変化を検討する意味で、心基部側半分と心尖部側半分の面積の拡大率の比Apex/Baseを求めた。健常例および陳旧性心筋梗塞のA群ではおのおの1.22、1.09で心尖部側の拡大率が大きく、心尖部側に容量の増加が多く血流は心尖部側へ生ずる可能性が示唆される。これに対し、B群では0.94で心基部側の拡大率が大きく、血流は心基部側へ向くものと考えられる。健常例において等容性拡張期に左室内血流が心尖部を向く成因として、(i) 大動脈弁閉鎖に伴う左室内への逆流、(ii) 左室弛緩に伴う左室変形により生ずる血流等が考えられるが、上記左室造影所見および大動脈弁直下で必ずしも流速が最大とならない事を考え合わせると、(ii)の要因が大きいと考えられる。

陳旧性心筋梗塞例では、IRFは心尖部方向へ向く血流を示すA群、心基部方向へ向く血流もしくは、まず心尖部方向を向きその後逆転して心基部

方向を向く血流を示すB群, 明らかな血流の消失するC群の三つのパターンに分けられた。A群では, B群, C群と比べ左室駆出率が良好なものが多く梗塞範囲も狭い事が推測され, 健常例と同様のパターンを呈するものと, 心基部側に壁異常運動を有し, 等容性拡張期に心尖部側の拡張が大きく 血流が心尖部方向を向くものの両者が存在するものと考えられる。B群では, 左室駆出率がやや低下し全例心尖部に壁異常運動を有しているため, 心尖部に比べ心基部側の拡張が大きく, 血流は心基部方向を向くものと思われる。C群では, 左室駆出率が低下し梗塞範囲が広くコンプライアンスも低下し, 等容性拡張期における容量の変化率が小さくなり左室変形が少なく, 明らかな血流が出現し得ないものと考えられた。

今回の検討では, IRF波形が有意に左室駆出率と関係するとの結果が得られたが, その出現時相が等容性拡張期という閉鎖心腔である事を考慮すると, 梗塞部位やその広がりを含めた左室弛緩様式を反映するとともに, 弛緩速度評価に対する有用性を持つと思われ, 新しい左室弛緩能を表わす非観血的指標としての可能性が示唆された。

結 論

超音波パルス ドプラ法により, 等容性拡張期に左室内血流を認めた。本血流は, 左室弛緩により生ずると考えられ, 局所壁運動を反映し, 新しい左室弛緩能を表わす非観血的指標としての可能性が示唆された。

文 献

- 1) 中村一彦, 他: 超音波パルスドプラ法による三尖弁閉鎖不全症の診断. 日超医論文集 39: 257, 1981
- 2) Miyatake K, et al: Evaluation of tricuspid regurgitation by pulsed Doppler and two-dimensional echocardiography. Circulation 66: 777, 1982.
- 3) 真田 純一, 他: 超音波パルスドプラ法による僧帽弁閉鎖不全症の評価. 超音波医学 10: 5, 1983.
- 4) Matsuo H, et al: Intracardiac flow dynamics with bi-directional ultrasonic pulsed Doppler technique. Jap Circ J 41: 515, 1977.
- 5) 真田純一, 他: 超音波パルスドプラ法による左室内等容性収縮期血流の検討. 呼吸と循環 31: 81, 1983.
- 6) 田中元直, 他: 心内血流の臨床的評価のために不可欠な要件と生体信号の多重記録の有用性. 日超医論文集 37: 25, 1980.
- 7) Kennedy JW, et al: Left ventricular volume and mass from single plane cineangiogram. A comparison of anteroposterior and right anterior oblique methods. Amer Heart J 80: 343, 1970.
- 8) 中村一彦, 他: 超音波パルスドプラ法による虚血性心疾患の左室内血流の検討. 超音波医学 10: 32, 1983.
- 9) 黒岩宣親, 他: 超音波パルスドプラ法による拡張早期一急速流入血流の前に認められる左室内血流について. 日超医論文集 41: 359, 1982.
- 10) Ruttley MS, et al: Shape and volume changes during "isovolumic relaxation" in normal and asynergic ventricles. Circulation 50: 306, 1974.
- 11) Gibson DG, et al: Analysis of left ventricular wall movement during isovolumic relaxation and its relation to coronary artery disease. Brit Heart J 38: 1010, 1976.
- 12) 飯塚昌彦: 心室の弛緩特性. 心臓力学, 阿郎 裕監修, 朝倉書店, 東京, 1982, p142.
- 13) Harrison TR, et al: The relation of age to the duration of contraction, edjection and relaxation of the normal human heart. Amer Heart J 67: 189, 1964.
- 14) 宮武邦夫, 他: 虚血性心疾患の心機能: 超音波パルスドプラ法による心時相分析. 臨床心音図 3: 411, 1973.