

心室収縮・弛緩に伴う心房への血液流入の時間遅れ：心房壁伸展性との関連

Timing of Inflow to the Atrium after Ventricular Contraction and Relaxation: Effect of Atrial Wall Stiffness

別府慎太郎
田中 教雄
浅岡 伸光
中谷 敏
宮武 邦夫

Shintaro BEPPU
Norio TANAKA
Nobumitsu ASAOKA
Satoshi NAKATANI
Kunio MIYATAKE

Abstract

A stiff atrium is sensitive to even a small change in its volume, causing a rapid change in the caval vein flow. We hypothesized that the onset of caval vein flow may follow immediately after the onset of a ventricular event in a patient with a stiff atrium. The timing of inflow into the right ventricle and into the atrium were examined by Doppler echocardiography in 20 healthy subjects, 12 patients with constrictive pericarditis, and 10 patients with cardiac tamponade. The onset of diastolic flow in the superior vena cava followed 17 ± 14 msec after the onset of early diastolic filling flow into the right ventricle in constrictive pericarditis patients, which was significantly shorter than 107 ± 45 msec in the healthy subjects. The onset of systolic flow occurred 178 ± 46 msec after the peak of the R wave of the electrocardiogram in cardiac tamponade patients, which was significantly longer than 129 ± 17 msec in healthy subjects. This time was slightly shorter in constrictive pericarditis (103 ± 21 msec). We conclude that a short time lag from the onset of a ventricular event to the onset of caval flow indicates that the right atrium is stiff.

Key Words

atrium, cardiac tamponade, constrictive pericarditis, Doppler echocardiography, stiffness, superior vena cava

はじめに

一般に心機能とは心室機能のことであり、心房にはあまり注意が払われていない。心房は心室の従属的関係にあり、心房機能は心室充満補助、すなわち心房としての収縮能が主体と考えられる傾向にある¹⁻³⁾。心房の拡張能に関する知見は少ないものの、心房を血液のリザーバーとしてみた場合、その機能低下が心機能低下を引き起こすことが指摘され、心房伸展性低下の意義が強調されている⁴⁻⁷⁾。

心房は自身の収縮拡張以外は受動的に伸展・縮小させられる。心室収縮末期にその容積は最大となり、内

圧も高く、心房壁は最大に伸展している状態にある。心室拡張により心房内血液は心室へ流入し、それに伴って心房内圧は減ずる。そのさいの心房内容積・圧関係は心房壁の硬さに依存する。心房内圧低下が速やかであれば静脈からの血液補充も速やかに生じるので、逆に静脈血流の時相から心房内圧低下、すなわち心房壁の伸展性を分析できる可能性がある (Fig. 1)。また心室収縮期の房室弁輪下降により生じる静脈還流の開始時相が心房壁の硬さに影響されることが予想される。このような予想に基づき、心膜癒着により心房伸展性が低下した収縮性心膜炎⁸⁾症例と、逆に心嚢液貯留により心嚢内圧が上昇し、そのためわずかな心房内

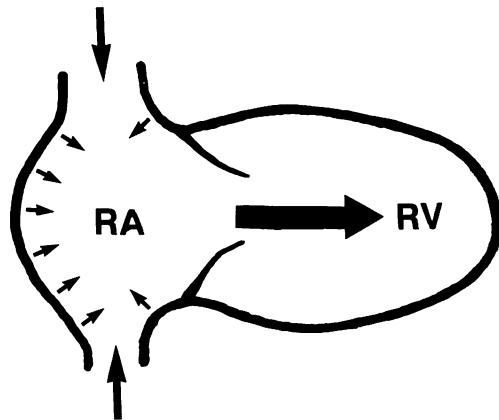


Fig. 1 Schematic drawing of the concept of the time lag from the onset of the ventricular inflow to the onset of caval vein flow, reflected by the stiffness of the atrial wall

RA=right atrium; RV=right ventricle

圧低下にても心房虚脱を示す。すなわち心房壁に張りがなく、陥凹運動がみられる心タンポナーデ症例をここでの予想の両極端の症例と考え、上記の時相分析を行った。

対象と方法

1. 対象

対象は正常例 20 例 (25-67 歳, 平均 37 ± 11 歳), 収縮性心膜炎 12 例 (33-72 歳, 平均 51 ± 10 歳), 心タンポナーデ 10 例 (43-80 歳, 平均 58 ± 12 歳) であった。収縮性心膜炎 6 例以外は全例洞調律である。心拍数が 100/min を超えるものはあらかじめ除外した。

正常例は、理学所見、心電図、胸部 X 線写真、心エコー図に異常を認めないものである。収縮性心膜炎症例は全例心臓カテーテル検査を受け、右房圧は 4-23 mmHg (平均 13 ± 6 mmHg) であった。ドップラー検査は心臓カテーテル検査前後の病態安定時に行った。心タンポナーデの診断は心エコー図法により拡張早期の右室虚脱および収縮早期の右房虚脱所見によった。心タンポナーデ症例では心エコー図法上心嚢液貯留は全周性であり、心膜癒着は認めていない。

2. 心エコー図検査

被検者を左半側臥位とし、安静呼吸停止下に傍心尖部からの四腔像にて三尖弁口流入血流のパルス・ドップラーを、また右鎖骨上窩からのサンプルボリュームをおおむね 6 cm の深さに置いて、上大静脈波形のパ

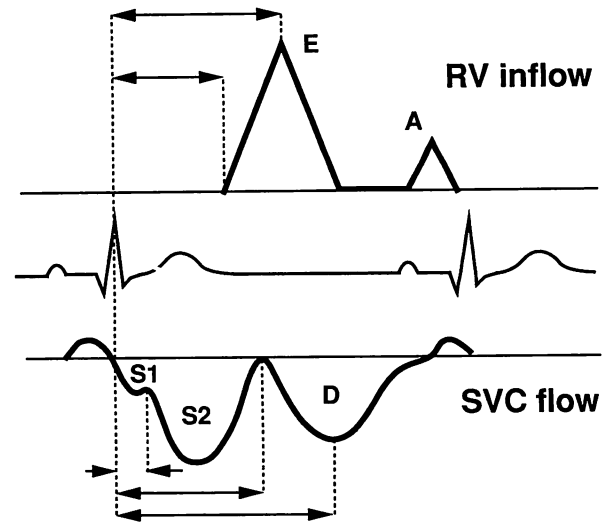


Fig. 2 Measurement of time from the Doppler echocardiograms of the RV inflow and SVC flow

RV=right ventricle; SVC=superior vena cava

ルス・ドップラーを、ストリップチャートに 50-100 cm/sec の速度で心電図、心音図とともに記録した。三尖弁口血流と上大静脈血流の記録は同時記録ではないので、両者の記録の RR 間隔が 5% 以上変動があるものは対象から除外した。ただし収縮性心膜炎では、後述するように心房細動で RR 間隔が変動しても時相分析にはほとんど影響がないので、分析に含めることとした。上大静脈波形の S 波の分析にあたっては、心房拡張期波 (S₁ 波) と心室収縮期波 (S₂ 波) のおのおののピークが明瞭に分離されるものを対象とした。使用装置は東芝製 SSH-40A, 60A, 160A, SSA-270 である。使用周波数は 2.5 MHz, 使用フィルターは血流波形の開始時相が判定しやすいように可能なかぎり low pass とした。

三尖弁口血流波形からは心電図 R 波から拡張早期波 (E 波) の開始およびピークまでの時間を計測、上大静脈波形からは心電図 R 波から S₂ 波の開始、拡張期波 (D 波) の開始、およびそのピークまでの時間を計測した (Fig. 2)。波形の立ち上がりはその流速スロープを基線へ延長し、交点をもって開始時期とした。いずれも 5 心拍以上を測定し、その平均値を計測値とした。

心電図 R 波より上大静脈血流の S₂ 波の開始時期までの時間は心拍数に依存する可能性があり、 $\sqrt{R-R}$ で補正した計測値も求めた。各群での計測値は、平均値および標準偏差値で示し、群間比較は t 検定にて $p < 0.05$ をもって有意とした。

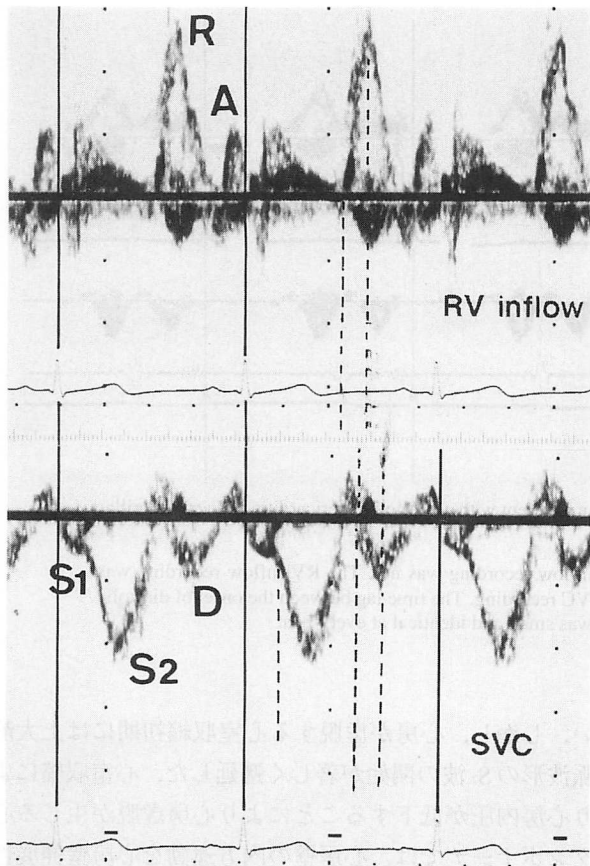


Fig. 3 Doppler echocardiograms of the RV inflow and SVC flow in a healthy subject

The onset of S₂ flow in SVC is markedly delayed from the peak of the R wave of the ECG. The onset and peak of the diastolic flow in SVC are followed by those of the early diastolic filling in RV inflow.

Abbreviations as in Fig. 2.

結 果

1. 心房・心室への流入開始時期のずれ

正常例においては、心室流入開始と心房流入開始とは明らかに時間的ずれがあった (**Fig. 3**)。この時間的ずれは正常例では 40–202 (107±45) msec、収縮性心膜炎では 0–42 (17±14) msec で、両者に有意差を認めた (**Fig. 4**)。収縮性心膜炎では心房細動例でも、心室流入の開始時期と心房への血液流入の開始時期との時相のずれは各心拍でほとんど同じであった (**Fig. 5**)。これは収縮性心膜炎では心室拡張早期に血液流入が阻止されるので、拡張期の長短にかかわらず拡張末期容積・圧はおおむね同一であるためである。心タンポナーデ症例では、上大静脈波形の D 波が非常に小さくかつ速度も低下していたために D 波開始の認識ができた症例数は 3 例と少なかったが、時間的ずれは 51–83 (59±17)

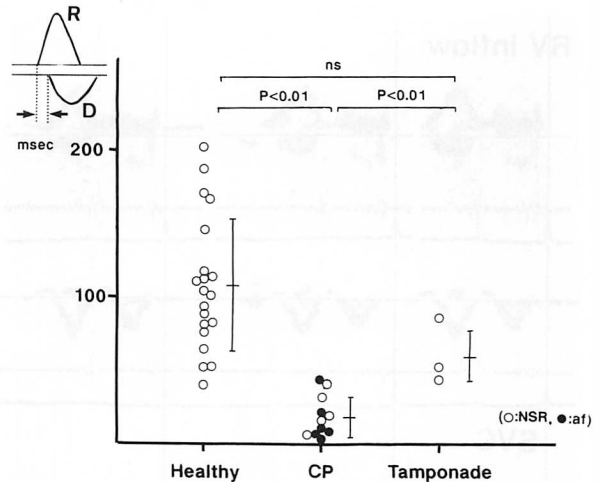


Fig. 4 Time lag between the onset of early diastolic RV inflow and that of the diastolic wave of SVC in each subject

CP=constrictive pericarditis; NSR=normal sinus rhythm; af=atrial fibrillation

msec で正常例と有意差がなく、収縮性心膜炎とは有意差を示した (**Fig. 4**)。

2. 心房・心室への流入血流ピーク速度時相のずれ

心室流入血流がピーク速度に達する時相と心房流入血流がピーク速度に達する時相との時間的ずれは、正常例では 40–180 (110±40) msec であったが、収縮性心膜炎では 9–79 (49±21) msec と有意に短縮し、心タンポナーデでは 78–130 (108±22) msec で正常例と有意差がなかった (**Fig. 6**)。

3. 上大静脈波形の心室収縮期波の開始時相

正常例においても上大静脈血流の S₂ 波の開始時期は心電図 R 波より明らかに遅延し (**Fig. 3**)、心タンポナーデ症例ではその遅れはより明瞭であった (**Fig. 7**)。正常例では 103–163 (129±17) msec (補正值 128±16) であったが、収縮性心膜炎では 70–131 (103±21) msec (補正值 105±20) と有意に短縮し、心タンポナーデでは逆に 140–284 (178±46) msec (補正值 211±52) と著しく延長していた (**Fig. 8**)。

考 案

当初の予想どおり、静脈波形の時相分析から心房壁伸展性に異常があると考えられる症例と正常例とを分別できた。すなわち、心室拡張期(心房収縮期を除き)には心房は静脈と心室とを結ぶ導管であるが、心房壁

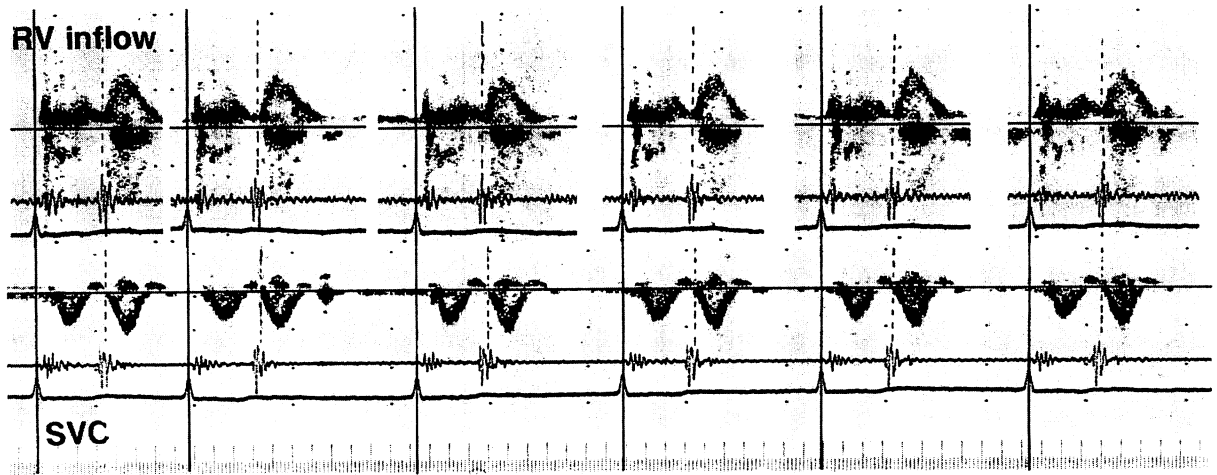


Fig. 5 Doppler echocardiograms of the RV inflow and SVC flow in a patient with constrictive pericarditis and atrial fibrillation

The SVC flow recording was consecutive while the RV inflow recording was not. The RV inflow recording was rearranged so the peak R wave coincided with that of the SVC recording. The time lag between the onset of diastolic wave of SVC flow and that of the RV early diastolic flow was small and identical at every beat. Abbreviations as in Fig. 2.

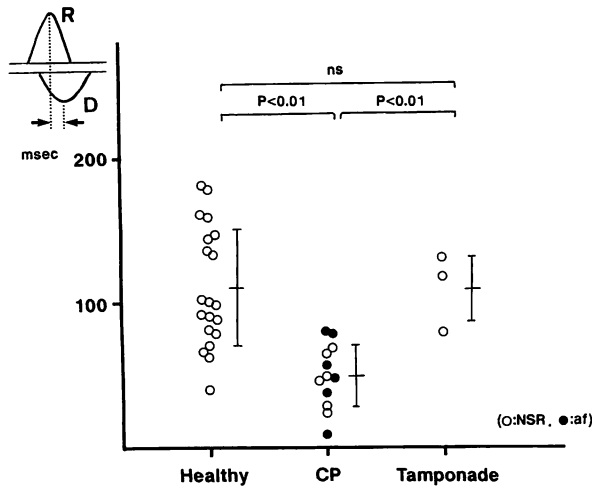


Fig. 6 Time lag between the peak of early diastolic RV inflow and that of the diastolic wave of SVC in each subject

Abbreviations as in Fig. 4.

が硬性の導管と近似しうる収縮性心膜炎症例では心室への血液流入開始はほとんど遅れることなく大静脈へ伝播された。正常例での時間的遅れは、その時期の心房壁自体の縮小による緩衝作用を示していると考えられる。心タンポナーデでは、正常例と顕著な差を認めなかったが、真に正常例と差がないのか否かは不明である。心タンポナーデでは上大静脈のD波は流速が低く⁹⁾、その開始点が明瞭な症例が少ないために、単に統計学的に有意差がみられなかっただけかもしれない

い。しかし、心房が虚脱する心室収縮初期には上大静脈波形のS₂波の開始が著しく遅延した。心室収縮により心房内圧が低下することにより心房虚脱が生じる心タンポナーデでは、心房壁の内方運動を心房壁伸展性の相対的増大となぞらえる。心室収縮期のこの運動により心房への血液還流が遅延するのは当然と思われる。収縮性心膜炎症例でS₂開始時相が正常者より早期なのは、それだけ心室収縮の影響が速やかに静脈系に伝播されるということであろう。

収縮性心膜炎の病態解析に心室流入や上大静脈の血流ドップラー波形を用いた検討は多いが、その多くが収縮期・拡張期の波高分析であり、かつ心室拡張障害と対比したものである¹⁰⁻¹⁴⁾。血液還流にさいして心房・心室関連の認識は重要¹¹⁾であるが、心室コンプライアンス、心房コンプライアンス、拡張初期心房内圧、僧帽弁口は独立した因子である¹⁵⁾。Ochiら¹⁶⁾は上大静脈血流速度から右房拡張性の評価を試みているが、時相分析は行っていない。今回の検討のごとく、時相分析により心房伸展性に関する情報が得られたことは注目されよう。

収縮性心膜炎における拡張異常は拡張中期以降であり、指標計測の時相とは異なるとはいえ、今回の指標が心室の収縮弛緩に伴うものであるがゆえに、心室収縮能、弛緩能が影響しているはずである。したがって、これらが基準化されてはじめて正確に比較できる

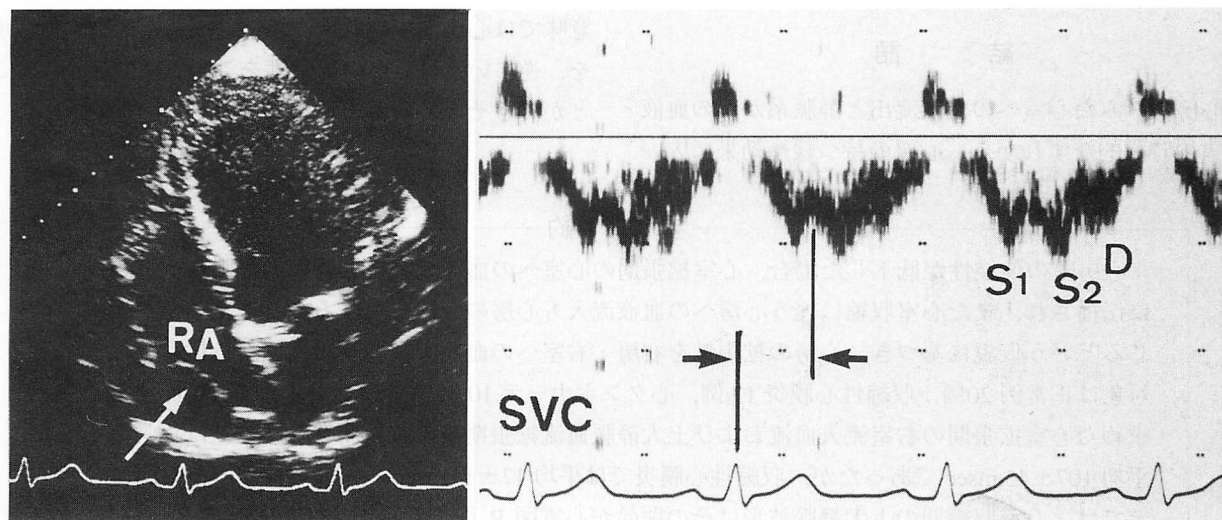


Fig. 7 Delayed onset of systolic wave (S2) in SVC flow in a patient with cardiac tamponade (right)
The RA wall moves inward at early systole, indicating RA collapse (left).

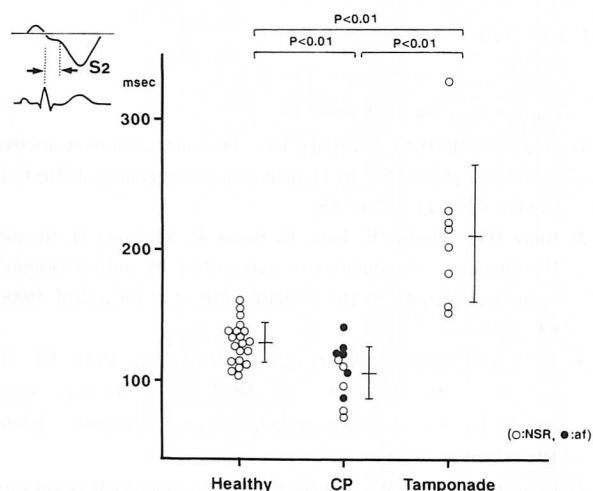


Fig. 8 Time of the onset of the S2 wave in SVC from the R wave of the ECG in each subject
Abbreviations as in Fig. 4.

指標ともいえる。また正常例では心房・心室への流入開始時期のずれが比較的広い範囲に分布しており、その理由は今回の検討からは不明である。心室機能、加齢などの影響を含め検討の余地がある。

今回の検討には問題点も多い。一つには心房への血液還流を上大静脈波形で代用したことである。上大静脈波形のサンプルボリュームはおおむね一定としたものの、齊藤ら¹⁷⁾は、上大静脈波形はそのサンプルボリュームにより波形が異なり、とくに最高流速やその時相は部位による影響が大きいことを指摘している。幸い、今回の検討項目である拡張期波の開始時相は部

位による影響はほとんどない¹⁷⁾。また上大静脈、下大静脈の相違に関しては、前田ら¹⁸⁾は流速には著明な差があるものの時相のずれは軽微であるとしている。しかしながら上大静脈波形のサンプルボリュームは一定であっても、サンプルボリュームと右房との間には数 cm 程度の距離があり、この長さは対象ごとに不定である。それゆえ、今回の検討は右房直上の数 cm の上大静脈壁の性質をも含めた評価である。

第2の問題点は、心房の伸展性の評価は心房の圧・容積関係から行う必要があるが^{4,19)}、今回の検討ではそのいずれも計測していない点である。心房の圧・容積関係からの伸展性の評価は、心室収縮に伴う心房容積の増大度とそのときの静脈系からの血液流入による心房内圧上昇度の解析から行われている。すなわち、心室収縮末期に至るまでの変化から評価する。今回の検討では逆に心房容積が最大の時相から静脈系からの補充を受けることなく心室へ血液を送り出すまでの時間からの評価であり、むしろ最大伸展からの縮小度をみていることになる。今回の結果と従来の圧・容積関係からの指標とがどのように対応するかは未解決である。心室・心房を問わず一般に伸展性の低下により内圧も上昇する。それゆえ今回の指標が単に心房内圧の高低をとらえたものではないかという危惧がある。しかし対象例には内科的治療により心房内圧が正常域の収縮性心膜炎症例が含まれ、さらに静脈圧の高い心タンポナーデでも収縮性心膜炎と分離されたことから、本指標が心房圧のみを反映したものではなかろう。

結 語

心房からみた心室への血液流出と静脈系からの血液流入の時相的なずれから、心房の持つ緩衝効果、広い

意味では心房内圧の低下に伴って心房が縮小する程度を、逆にいえば心房の拡張性をこの方法で評価することができそうであると結論した。

要 約

心房壁の伸展性が低下した場合、心室拡張期の心室への血液流入の影響は大静脈系へ速やかに伝播され、また心室収縮に伴う心房への血液流入も心房の緩衝を受けることなく速やかに生じるといふ仮説に基づき、心房の拡張性を右房・右室への血液流入の時相関係から検討した。対象は正常例 20 例、収縮性心膜炎 12 例、心タンポナーデ 10 例であった。ドップラー記録より求めた心室拡張期の右室流入血流および上大静脈血流拡張期波の流入開始時期の差は正常例で平均 107 ± 45 msec であったが、収縮性心膜炎では平均 17 ± 14 msec と短縮した。心タンポナーデでは、心室収縮期の上大静脈波形はその開始が心電図 R 波より平均 178 ± 46 msec と著明に延長し (正常例では 129 ± 17 msec)、相対的な心房壁の伸展性増大を示した。収縮性心膜炎ではこの時間は平均 103 ± 21 msec と短縮した。仮説が証明され、心房への血液流入の時相分析により心房伸展性を定性的に評価できた。

J Cardiol 1994; 24: 135-140

文 献

- Burchell HB: A clinical appraisal of atrial transport function. *Lancet* 1964; **i**: 775-779
- Kuo LC, Quinones MA, Rokey R, Sartori M, Abinader EG, Zoghbi WA: Quantification of atrial contribution to left ventricular filling by pulsed Doppler echocardiography and the effect of age in normal and diseased hearts. *Am J Cardiol* 1987; **59**: 1174-1178
- Manning WJ, Leeman DE, Gotch PJ, Come PC: Pulsed Doppler evaluation of atrial mechanical function after electrical cardioversion of atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 1989; **13**: 617-623
- Grant C, Bunnell IL, Greene DG: The reservoir function of the left atrium during ventricular systole. *Am J Med* 1964; **37**: 36-43
- Suga H: Importance of atrial compliance in cardiac performance. *Circ Res* 1974; **35**: 39-43
- Ricksten SE, Yao T, Ljung B, Thoren P: Distensibility of left atrium in normotensive and spontaneously hypertensive rats. *Acta Physiol Scand* 1980; **110**: 413-418
- Mehta S, Charbonneau F, Fitchett DH, Marpole DGF, Patton R, Sniderman AD: The clinical consequences of a stiff left atrium. *Am Heart J* 1991; **122**: 1184-1191
- 弘山直滋, 松崎益徳, 塔間陽一, 佐々木 徹, 阿武義人, 高橋陽二郎, 内田孝子, 民谷正彰, 村田敏明, 米沢文雄, 小川宏, 松田泰雄, 久萬田俊明, 楠川禮造: 収縮性心外膜炎の両心房動態. *J Cardiol* 1982; **12**: 415-423
- 別府慎太郎, 池上敬一, 泉 司郎, 中島滋夫, 中谷 敏, 宮武邦夫, 仁村泰治: 心タンポナーデにおける右心系虚脱の意義と血液還流動態の解析. *J Cardiol* 1990; **20**: 945-956
- Agatston AS, Rao A, Price RJ, Kinney EL: Diagnosis of constrictive pericarditis by pulsed Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 1984; **54**: 929-930
- Appleton CP, Hatle LK, Popp RL: Demonstration of restrictive ventricular physiology by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1988; **11**: 757-768
- Bibra HV, Schober K, Jenni R, Busch R, Sebening H, Blomer H: Diagnosis of constrictive pericarditis by pulsed Doppler echocardiography of the hepatic vein. *Am J Cardiol* 1989; **63**: 483-488
- 泉 司郎, 別府慎太郎, 宮武邦夫, 山岸正和, 秋山 剛, 平岡久豊, 山本一也, 鈴木 伸, 榊原 博, 仁村泰治: 収縮性心膜炎における心臓血液流入異常. *J Cardiol* 1989; **19**: 529-539
- Byrd BF, Linden RW: Superior vena cava Doppler flow velocity patterns in pericardial disease. *Am J Cardiol* 1990; **65**: 1464-1470
- Thomas JD, Weyman AE: Fluid dynamics model of mitral valve flow: Description with *in vitro* validation. *J Am Coll Cardiol* 1989; **13**: 221-233
- Ochi H, Izumi S, Murakami R, Shimada T, Morioka S, Moriyama K: Superior vena cava flow and tricuspid annular motion after cardioversion of atrial fibrillation, and role of right atrial relaxation on systolic venous return. *Am J Cardiol* 1991; **68**: 1335-1339
- 斉藤勇三, 鶴田育男, 向山茂雄, 前田達明, 田村康二: 上大静脈血流波形の部位による変化. *超音波医学* 1990; **18**: 40-44
- 前田敏明, 李 博文, 関 耕三郎, 内藤秀敏, 萬 忠雄: 健康者における上大静脈, 下大静脈および肝静脈血流パターンの比較. *日超医論文集* 1988; **53**: 709-710
- Nagano T, Arakawa M, Tanaka T, Yamaguchi M, Takaya T, Noda T, Miwa H, Kagawa K, Hirakawa S: Diastolic compliance of the left atrium in man: A determinant of preload of the left ventricle. *Heart Vessels* 1989; **5**: 25-32