

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

Venous return and col- lapse of the right heart in cardiac tamponade

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

Shintaro BEPPU
Keiichi IKEGAMI
Shiro IZUMI
Shigeo NAKAJIMA
Satoshi NAKATANI
Kunio MIYATAKE
Yasuharu NIMURA

Summary

To elucidate the characteristics of venous inflow into the heart in cardiac tamponade, transmitral (TMF), transtricuspid (TTF) and superior vena cava (SVC) flows were examined using pulsed Doppler echocardiography in nine mongrel open-chest dogs. Cardiac tamponade was produced by the slow infusion of warmed normal saline into the pericardial sac. With increment of pericardial infusion, right atrial collapse (RAC) developed followed by right ventricular collapse (RVC). The systemic blood pressure became depressed and the left ventricular end-diastolic diameter decreased, even in the RAC state, indicating that RVC is not of the primary significance for cardiac tamponade. Characteristically, peak velocities of TMF and TTF in early diastole decreased concomitantly with RAC and RVC. Neither early diastolic filling time nor its acceleration time was altered during tamponade. These changes in blood flow were accompanied by decrements of transmural filling pressure and abnormal motion of the right ventricle. In SVC flow, the diastolic wave characteristically disappeared. This change seemed to be a reflection of the decrease in peak velocity of early diastolic filling flow into the right ventricle. That is, impairment of cardiac relaxation during cardiac tamponade is represented as decreased filling flow velocity in early diastole.

Key words

Doppler Cardiac tamponade Echocardiography Wall motion abnormality

はじめに

従来、心タンポナーデとは心嚢液が心室を圧迫し、心室拡張を抑制するために、心拍出量の低下

を来した病態である¹⁾と理解され、その際の血行動態は、主として心内圧、心拍出量から解析されてきた²⁻⁷⁾。一方、心室に対する拡張抑制の状況を直接描出するものとして、心エコー図における

国立循環器病センター研究所 循環動態機能部
吹田市藤白台 5-7-1 (〒565)

National Cardiovascular Center, Research Institute,
Department of Cardiovascular Dynamics, Fujishiro-
dai 5-7-1, Suita 565

Received for publication September 2, 1989; accepted October 7, 1989 (Ref. No. E-89-6)

右室壁の虚脱所見が注目され, その診断的有用性が確かめられてきた⁸⁻¹⁶⁾. それより以前, 心血管造影法にて右房壁の輪郭が心タンポナーデで特異的に陥凹することが報告され¹⁷⁾, 心エコー図にて右房壁の虚脱が認められている^{13,14,18,19)}. しかし, 心房壁の虚脱所見だけでは心室の拡張障害を示すことにはならないことから, その状態は心タンポナーデではないとするものもあり, 心房, 心室壁の虚脱所見の病態的意義は十分に確立されたとはいえない. また開心術後には時に凝血塊の貯留による心タンポナーデが合併するが²⁰⁻²³⁾, そのような例では貯留物が液体ではないため壁虚脱所見は出現せず²³⁾, 同じタンポナーデといえども, 拡張障害の様相が異なっていることが予想される. ここでは単純な液体貯留による心タンポナーデでの心房および心室への血液還流状況を, ドップラー法を用い, 血行動態, 心エコー図による心臓壁虚脱所見などと対応させて検討した. なお臨床例における心タンポナーデでの基礎疾患は種々であり, 心嚢液の性状, 心嚢内での分布, 心嚢の癒着の程度も症例により異なっている. これらの血液還流状況に対する影響は無視できないため, ここでは動物を用いて実験的に検討した.

対象と方法

雑種成犬9頭 (体重 16~22 kg) を用いペントバルビタール (10~15 mg/kg) にて静脈麻酔後, 正中開胸した. 呼吸はバード人工呼吸器にて管理した. 心嚢液の無い場合の心嚢内圧を計測するため, 内径 0.9 mm のカットダウン・チューブ先端にラテックス薄膜(コンドーム)のバルーン (約 5 mm 径) を装着したものを心膜腔内に挿入し, その中に生理食塩水をごく少量滴した^{24,25)}. さらに心嚢液注入用に内径 0.9 mm のカットダウン・チューブを挿入した. いずれも挿入部を 3-0 プロリン糸にてタバコ縫合し, 注入した心嚢内液の漏出を防いだ. なお心嚢液貯留時には液注入用のチューブにても内圧を計測し, 両者が同一の値をとることを確認した.

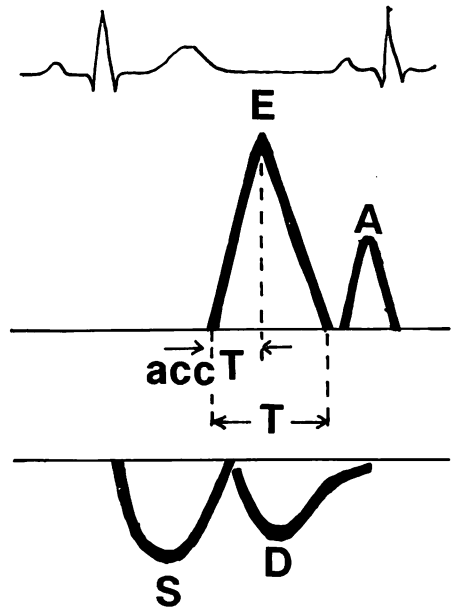


Fig. 1. Measurements from Doppler echocardiograms.

In transmittal and transtricuspid flow (upper diagram), peak velocities at early diastole (E) and atrial systole (A), duration of early diastolic filling (T), and duration of its acceleration time (accT) were measured. In superior vena cava flow (lower diagram), peak velocities at systole (S) and diastole (D) were measured.

心内圧計測のため, 頸静脈より右房内へ内径 2 mm のカテーテルを, 右室内へは股静脈より, 左室内へ股動脈から逆行性に, それぞれミラー製カテ先マンノメーター付きのカテーテルを挿入した.

血液還流状況をパルス・ドップラー法により検討した. 使用装置は東芝製 SSH-60A で, 使用周波数は 5 MHz である. パルス・ドップラー法のサンプルボリュームは断層像および M モード像を参考にして位置決めし, 流速波形をストリップチャートに 50 mm/sec の紙送り速度で記録した. 右室, 左室への血液還流動態に関しては, 探触子を心臓表面に置き, 三尖弁口, 僧帽弁口における流入血流信号を記録し, その拡張早期流入波のピーク速度 (E), 持続時間 (T), ピーク速度に達す

る時間 (accT), および心房収縮期流入速度のピーク速度 (A) を計測した. 心房への血液還流動態に関しては, 探触子を胸骨上窩に置き, 上大静脈

血流波形を記録し, その心室収縮期波ピーク速度 (S), 拡張期ピーク速度 (D) を計測した (Fig. 1). さらに心エコー図法にて左室拡張末期径を, 大動

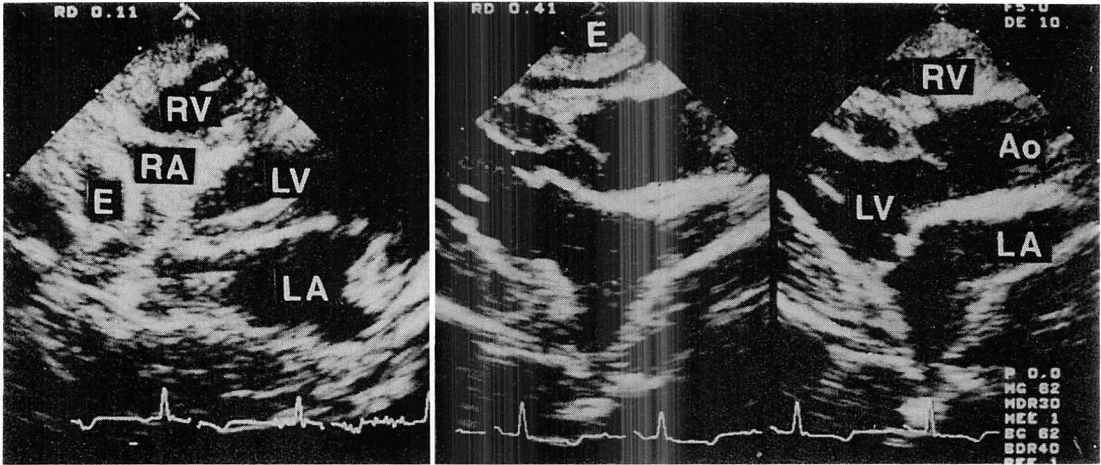


Fig. 2. Echocardiograms illustrating right atrial collapse in four-chamber view (left) and right ventricular collapse in long-axis view (middle).

Right atrial collapse is observed in systole. Right ventricular collapse is observed in early diastole (middle), but not in systole (right).

RA=right atrium; RV=right ventricle; LA=left atrium; LV=left ventricle; E=pericardial effusion; Ao=aorta.

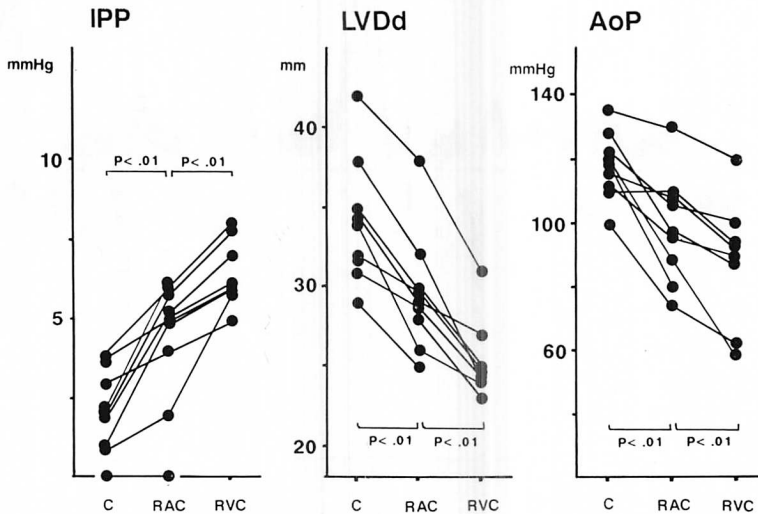


Fig. 3. Hemodynamic changes in cardiac tamponade.

IPP=intrapericardial pressure; LVDD=left ventricular end-diastolic diameter; AoP=aortic peak pressure; C=base line; RAC=right atrial collapse; RVC=right ventricular collapse.

脈弁エコーから前駆出時間と駆出時間の比 (PEP/ET) を計測した。

心タンポナーデ作成のため, 心嚢内へ概ね 37°C に湯煎した生理食塩水を緩徐注入した。

各指標の計測時点はコントロール時, 断層心エコー図上の右房壁虚脱時, 右室壁虚脱時の3段階である。右房壁虚脱とは右房自由壁の収縮初期の一時的かつ急速な内方への陥凹運動を, 右室壁虚脱とは右室自由壁の拡張早期の一時的かつ急速な内方への陥凹運動をもって判定した。これらの変化は連続したものであるが, 本研究では便宜的にそれらの変化が明瞭に認められた時点での計測である。いずれも血行動態が安定したことを確かめた上, さらに呼吸変動を避けるため人工呼吸器の作動を一時停止して記録を行った。各項目は3心拍の平均を計測値とし, 各段階での計測値の統計検定には, paired t-test を用い, $p < 0.05$ をもつ

て有意とした。

結 果

1. 心嚢液注入による血行動態変化

いずれの例においても, 液注入に伴い, 心嚢内圧は 2.1 ± 1.3 , 4.9 ± 1.0 , 6.6 ± 1.0 mmHg と上昇し, 順次右房壁虚脱, 右室壁虚脱が認められた (Fig. 2)。コントロール, 右房壁虚脱, 右室壁虚脱と段階が進むにつれ, 右房圧は 3.0 ± 1.1 , 5.1 ± 1.6 , 6.3 ± 1.3 mmHg と有意に上昇し, 逆に右室収縮期圧は 22 ± 4 , 17 ± 3 , 15 ± 3 mmHg へ, 左室収縮期圧は 118 ± 10 , 99 ± 16 , 88 ± 19 mmHg へと有意に低下した (Fig. 3)。心嚢内圧に対する右房圧は 0.9 ± 1.0 , 0.2 ± 0.9 , -0.3 ± 0.9 mmHg と僅かではあるが変化し, コントロール時に対して壁運動異常時はいずれも統計的に有意に減少したが, 右房壁虚脱時と右室壁虚脱時とでは有意な差がな

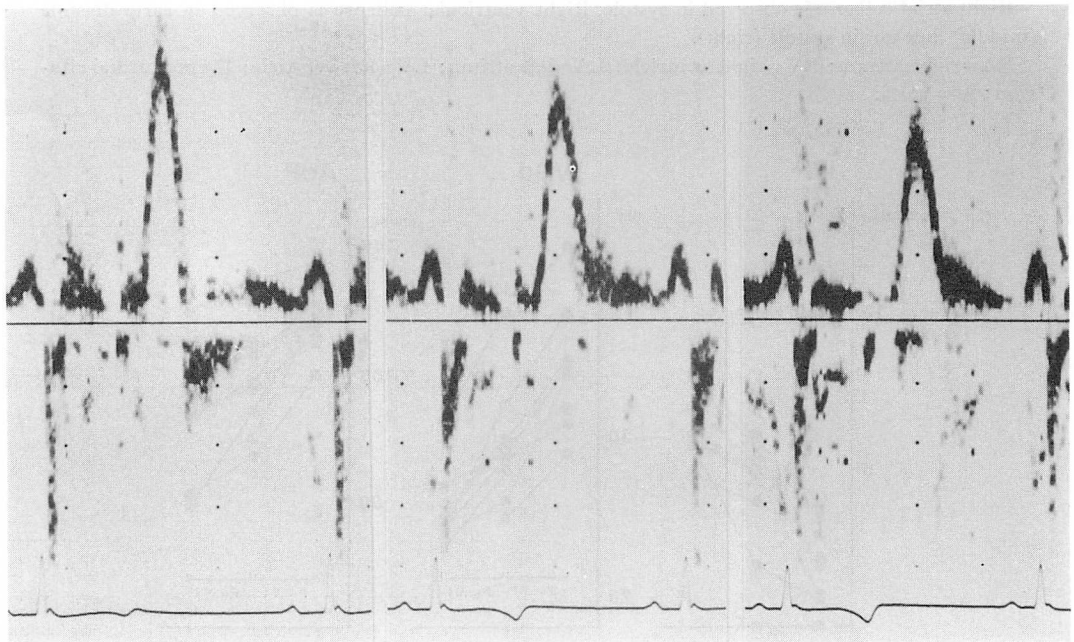


Fig. 4. Transmitral flow velocity patterns at base line (left), RA collapse (middle), and RV collapse (right).

Note that peak velocity of early diastolic filling flow decreases with progression of cardiac tamponade.

かった。左室拡張末期内径は 34 ± 8 , 30 ± 8 , 26 ± 8 mm と順次縮小した (Fig. 3)。心拍数には有意な変化はなかった (89 ± 17 , 101 ± 18 , $100 \pm$

17 beats/min)。PEP/ET は 32 ± 8 , 37 ± 6 , 36 ± 11 % と各段階において著変はなかった。

2. 血流動態

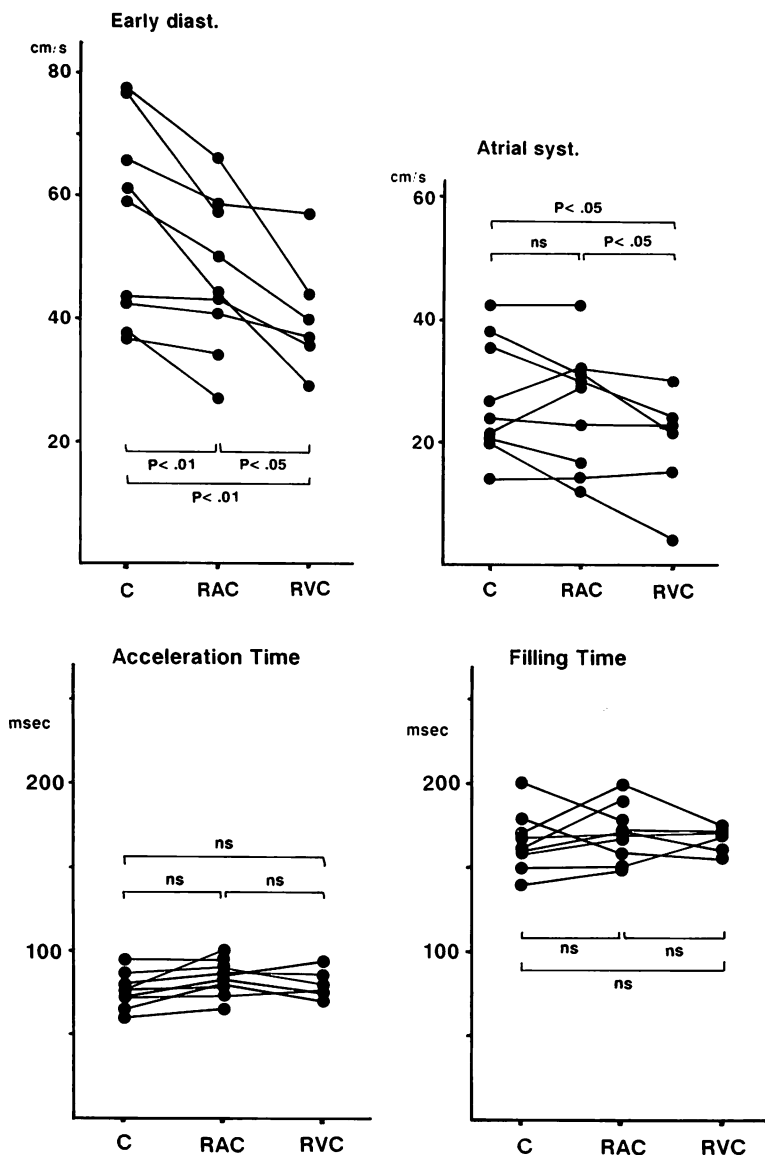


Fig. 5. Measurements of transmitral flow velocity profiles.

The peak velocity in early diastole decreases without change in acceleration and filling time in cardiac tamponade. The peak velocity in atrial systole decreases at RV collapse but not at RA collapse.

For abbreviations : see Fig. 3.

1. 僧帽弁口流入血流波形

コントロール, 右房壁虚脱, 右室壁虚脱と心タンポナーデの進展に伴い, 僧帽弁口での血液流入における急速流入期ピーク速度 (R) は, 56 ± 15 , 47 ± 12 , 41 ± 9 cm/sec と有意に低下した (Figs. 4, 5). その持続時間 (T) は, 166 ± 16 , 171 ± 16 , 167 ± 5 msec と有意な変化は示さなかった. 加速度時間 (accT) も 74 ± 10 , 84 ± 10 , 81 ± 8 msec と変化なかったが, R と accT から計算される流入加速度は著明に低下した. 心房収縮期ピーク速度 (A) は, 27 ± 9 , 26 ± 9 , 20 ± 8 cm/sec と減少した.

2. 三尖弁口流入血流波形

心タンポナーデの進展に伴い, 三尖弁口での急速流入期ピーク速度 (R) は, 34 ± 8 , 30 ± 8 , 26 ± 8 cm/sec と有意に低下した (Figs. 6, 7). その持続時間 (T) は 266 ± 32 , 248 ± 11 , 248 ± 13 msec と有意な変化は示さなかった. 加速度時間 (accT)

にも 117 ± 15 , 118 ± 14 , 114 ± 19 msec と著しい変化はなかったが, 流入加速度は著明に低下した. 心房収縮期ピーク速度 (A) は 26 ± 10 , 23 ± 8 , 13 ± 6 cm/sec と減少した.

3. 僧帽弁口と三尖弁口流入血流の関連

心タンポナーデのいずれの段階においても, 急速流入時のピーク速度 (R) は常に左室が右室よりも大きく, また急速流入持続時間 (T) も左室の方が短かった. 両心室間の心房収縮期流入ピーク速度 (A) には有意差は認めなかった.

4. 上大静脈血流

コントロール時には上大静脈波形の S 波は常に D 波より深かった. 右房壁虚脱時には S 波の減少が見られたが, それ以上に D 波の著減が見られ, さらに液貯留量を増し右室壁虚脱が生じるようになると, S 波も縮小するのがみられた (Figs. 8, 9).

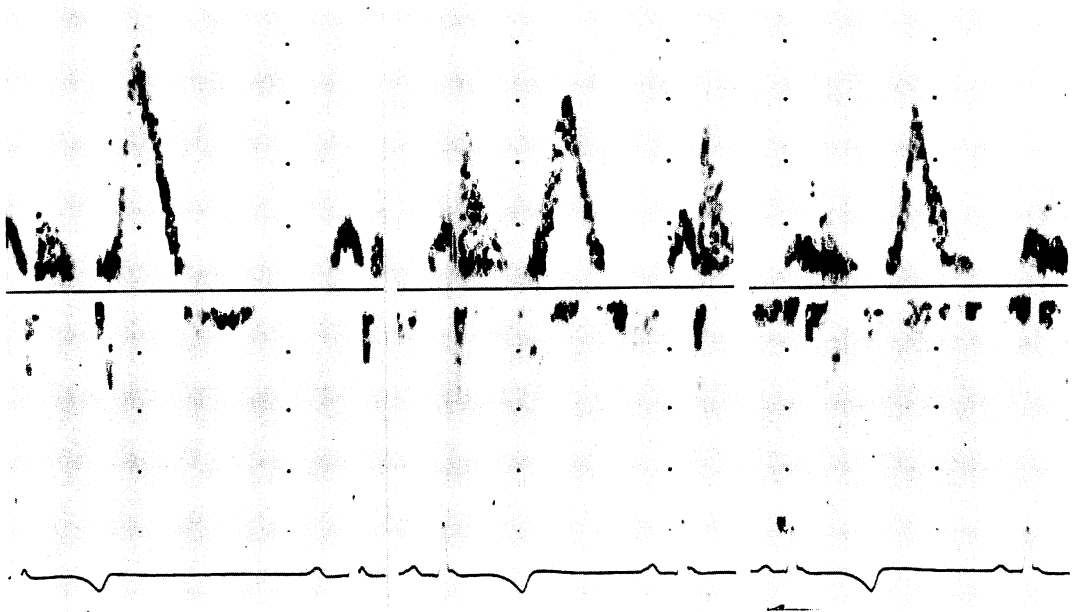


Fig. 6. Transtricuspid flow velocity patterns at base line (left), RA collapse (middle) and RV collapse (right).

Note that peak velocity of early diastolic filling flow decreases with progression of cardiac tamponade as in the case of transmitral flow.

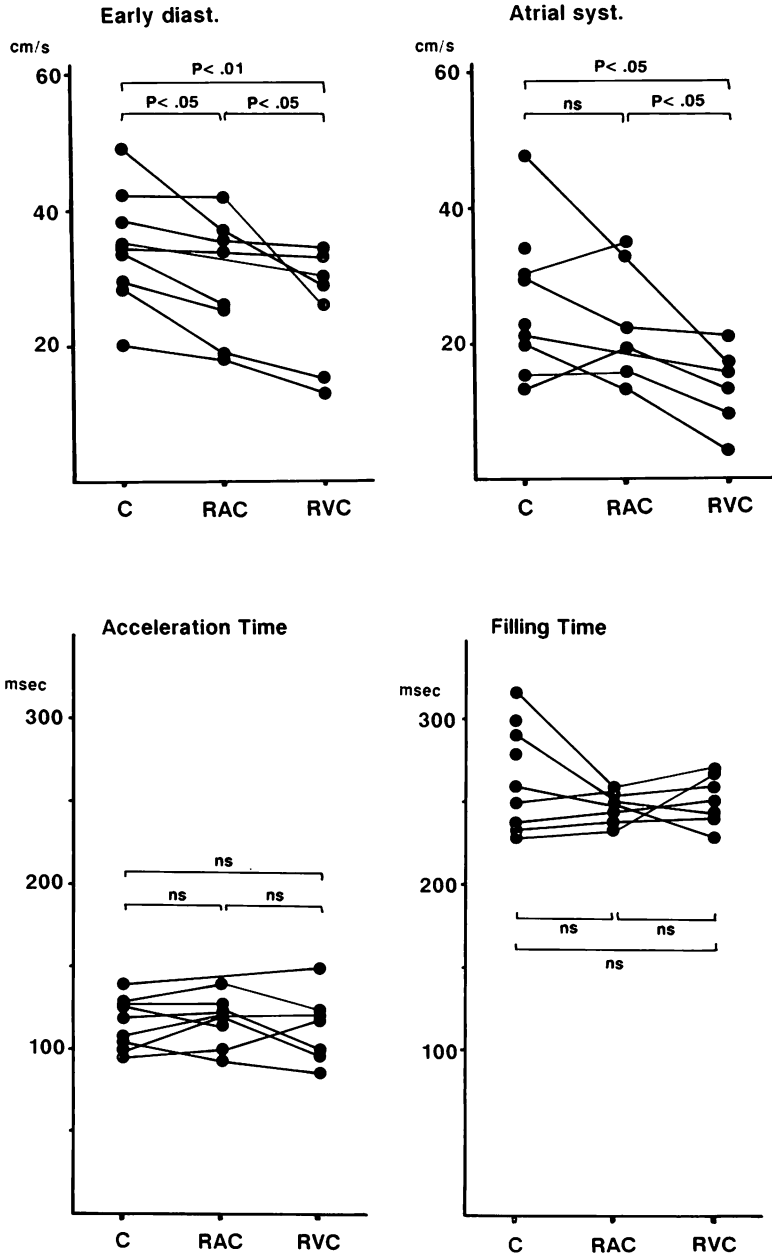


Fig. 7. Measurements of transticuspid flow velocity profiles.
 Changes with progression of cardiac tamponade are the same as those in transmitral flow.
 For abbreviations : see Fig. 3.

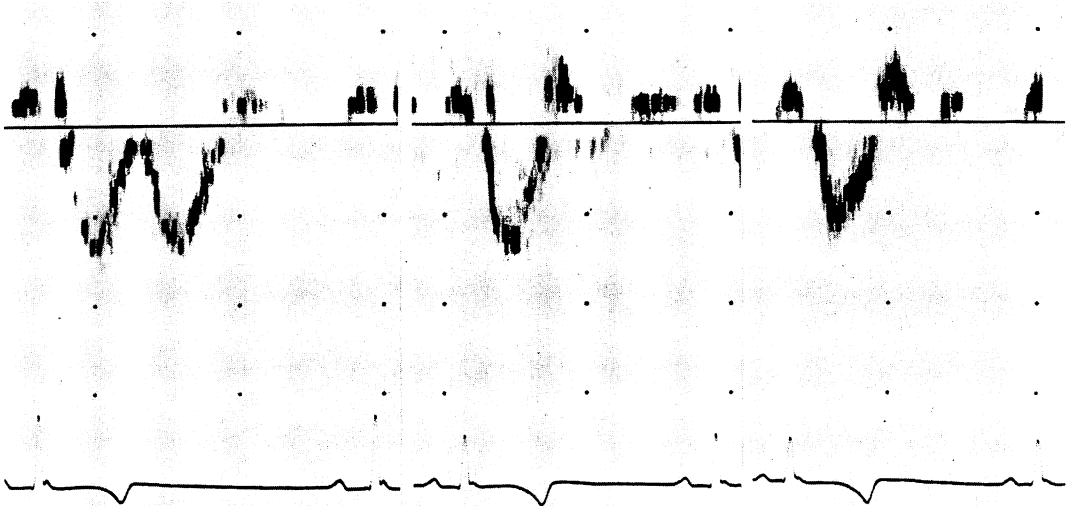


Fig. 8. Blood flow in the superior vena cava at base line (left), RA collapse (middle) and RV collapse (right).

Note that the diastolic flow diminished in cardiac tamponade. The peak velocity in systole decreased with progression of cardiac tamponade.

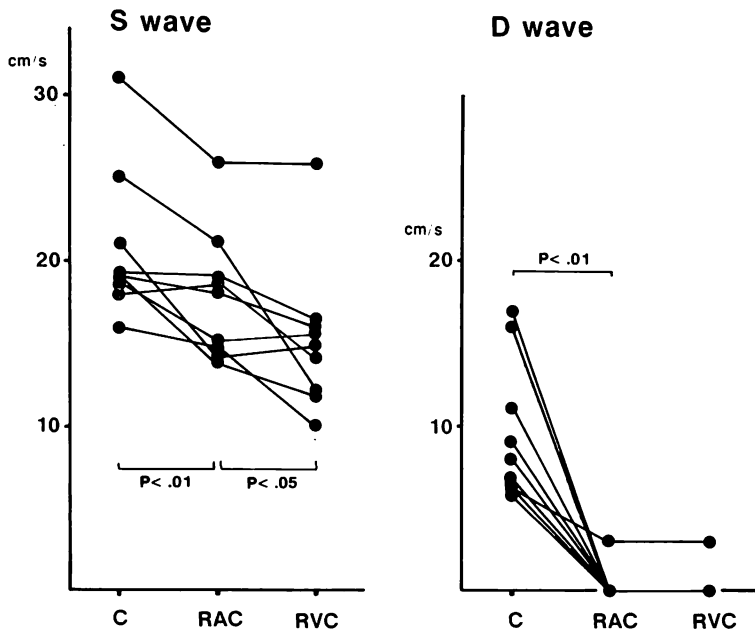


Fig. 9. Changes in peak velocity of blood flow in the superior vena cava.
S wave=systolic wave ; D wave=diastolic wave.

考 按

1. 心房、心室壁の虚脱所見

今回の検討は開胸した動物実験であるが、臨床例と同様、生食水注入による心嚢内圧の上昇とともに、順次心エコー図による右房壁、右室壁の虚脱所見が見られ、それらの診断的意義が再確認された。一般的に右室壁虚脱が心嚢液による心臓圧迫ないし心室拡張障害を視覚的に表現したものとされ、それ故、右室壁虚脱を伴わない右房壁虚脱は前タンポナーデ状態と考えられている¹⁴⁾。しかし右房壁虚脱のみの状態でも大動脈圧の低下、左室内腔の縮小が見られることは注目すべきで、右室壁虚脱に至る前に、既に一連の心臓拡張障害としての血行動態変化が始まっていると考えるべきである。すなわち右室壁の虚脱が心室拡張障害にとって第一義的であるのではなく、別の要因が働いて、いわゆる心タンポナーデの病態を形成していることになる。心室壁の虚脱がなくて血行動態に異常が生じることは、手術的に局所的な心房の圧迫のみで血行動態異常が生じ得る^{26~28)}のと同義であろう。

2. 心室への血液還流動態

今回の検討で明らかにされた心タンポナーデにおける心室への血液還流の特徴は、拡張早期ピーク速度の低下であった。この時期の流入持続時間は僅かに減少するのみであった。一般に拡張初期の心室への流入血流速度は前負荷である心房圧に依存し増大する²⁹⁾。心タンポナーデでは心室への充満圧である心房圧が高いにもかかわらず、血流速度が低下するのは奇異なことである。しかし、心房圧の実測値は高くても、心嚢内圧を考慮した心房圧、すなわち有効充満圧 (transmural pressure) は低く、それが心タンポナーデの本態であろうと予想されている^{30,31)}。今回の検討においても、有効充満圧は低く、拡張初期ピーク速度の低下を十分説明し得る。さらに最近の我々の動物での検討では、正常心膜例において、前負荷を変化させて得られる左房圧と拡張初期ピーク速度との直

線関係の傾きは、心膜の切開前後で異なるが、左房圧の代わりに有効充満圧で対比すると、心膜切開前後で同一の傾きを持つことが分っている³²⁾。すなわち心室への血流状況には、心房圧ではなく、心嚢内圧との差である有効充満圧が直接関係すると思われる。このような理解に基づけば、心タンポナーデとは、心室が心臓周囲の貯留液により緊迫され拡張できない状態であると言うよりは、有効充満圧の低下による心室への還流量が減少した状態、すなわち前負荷の減少と同様の病態であると言える。急性心タンポナーデでは、実測の心房圧が高いにもかかわらず、急速利尿や瀉血が禁忌で、逆に輸液により病態を改善し得ることは^{33,34)}、以上の考え方を支持している。高齢者などで脱水状態を基礎に有する症例に見られる低圧性心タンポナーデ^{35,36)}の病態も、有効充満圧の低下による前負荷の減少として捉えると理解できる。

ただし、今回の検討で、右房壁虚脱と右室壁虚脱との間で有効充満圧の差を見いだせなかったことは注目される。心内圧の計測がカテ先マンメーターでないこと、平均圧での対比であることなどのため、精度上明確な差異が見出せないのかも知れないが、右房圧と心嚢内圧はほとんど同値であるという事実^{24,25,37)}からは、實際上、充満圧としての変化は非常に微小なものであろう。すなわち、右室壁虚脱が生じる程度での心タンポナーデでは、心室への血液流入に対して、壁運動異常の影響が大きいと思われる。右室壁虚脱が生じていない時点でもすでに血行動態異常が生じていることから、壁運動異常が病態の本質ではないにしろ、右室壁虚脱はそれ自体右室腔の形態を変え、右室容積の増加を妨げるように働くことと予想される。しかも虚脱の時期は拡張早期であり、それ故、その時期の血液流入速度に対し抑制的に働いていると考えて良さそうである。

なお今回の検討では PEP/ET で見た心機能は低下を示さず、心タンポナーデでの急速流入ピーク速度の低下が心室収縮機能低下に基づくもので

ないことは明らかである。

3. 心房への血液還流動態

心タンポナーデにおける大静脈血流では, 拡張期波の著減が特徴的であった。拡張期の静脈血流は心房の無機能状態, すなわちコンディット状態の血流であり, 心室への流入を反映していることから, 心室への流入速度の低下がそのまま大静脈系への流速低下につながったものと考えられる。心タンポナーデでの右房内圧波形の特徴である Y 谷の消失は⁴⁾, 上大静脈血流波形の D 波の消失と対応したものであろう。一方, 形態的特徴である右房壁虚脱が収縮期に見られることから, その時期に大静脈血流に与える影響は大であると予想したが, 速度からみる限り, 有意な変化を示すものの, その低下度は大きくはなかった。

4. 収縮性心膜炎との相違

心タンポナーデと収縮性心膜炎における血液還流異常の異同は興味ある点である。収縮性心膜炎では, 既に報告した如く, 拡張早期流入血流の持続時間が短縮し, 特に右心系の短縮のため, 両心室での差が小さくなり, かつその時期のピーク流入速度の低下のないことが臨床例における特徴である³⁸⁾。すなわち収縮性心膜炎では心室への急速流入時間の短縮が主体であるのに対し, 心タンポナーデでは急速流入期血流速度の低下であることが病態の本質的差異である。両者の差異は心房への血液還流にも見られ, 心タンポナーデでの拡張期波の減少に対し, 収縮性心膜炎では収縮期波の減少がみられる³⁸⁾。

結 語

雑種成犬における実験的検討では, 心嚢液貯留による心嚢内圧上昇に伴い, 右房壁虚脱, ついで右室壁虚脱が出現した。この一連の変化は臨床例と同様であった。その際の血行動態は, 右室壁虚脱に至らない右房壁虚脱でも既に悪化を示した。心室への血液還流に関しては, 両心室ともに拡張早期の流入時間は不変であるが, そのピーク速度の低下が特徴で, これには有効充満圧の低下と壁

運動異常が関与していると思われた。心房への血液還流動態では, 拡張期流入波のピーク速度の低下が特徴であった。

要 約

心タンポナーデにおける血液還流動態を明らかにするために, 雑種成犬 9 頭にて, 心エコー図法, ドップラー法を用い, 僧帽弁口流入血流, 三尖弁口流入血流, 上大静脈血流を検討した。心タンポナーデは心嚢内に微温生食水を緩徐に注入して作成した。心嚢液増加に伴い順次, 右房壁虚脱, 右室壁虚脱が出現したが, 右房壁虚脱においても既に明らかな動脈圧低下, 左室内径の縮小を認めた。すなわち右室壁の虚脱が心タンポナーデの第一義的な所見ではないと考えられた。心室への血液還流に関しては, 左右心室とも拡張初期の流入速度の低下が特徴的で, その程度は壁虚脱所見の進展に対応した。拡張早期流入持続時間や加速時間は変化しなかった。これらの変化は, 心嚢内圧に対する圧(有効充満圧)の低下と壁運動異常の両者を反映したものと思われた。上大静脈血流波形では拡張期流入ピーク速度の著減が特徴的で, これは右室腔への拡張早期流入速度の低下を反映したものと思われた。

以上の如く, 心タンポナーデにおける心臓拡張障害は, 拡張早期の流入速度の低下として顕される。

文 献

- 1) Craig RJ, Whalen RE, Behar VS, McIntosh HD: Pressure and volume changes of the left ventricle in acute pericardial tamponade. *Am J Cardiol* 22: 65-74, 1968
- 2) Isaacs JP, Berglund E, Sarnoff SJ: The pathologic physiology of acute cardiac tamponade studied by means of ventricular function curves. *Am Heart J* 48: 66-76, 1954
- 3) Sharp JT, Bunnell IL, Holland JF, Griffith GT, Greene DG: Hemodynamics during induced cardiac tamponade in man. *Am J Med* 29: 640-646, 1960
- 4) Shabetai R, Fowler NO, Guntheroth WG: The

- hemodynamics of cardiac tamponade and constrictive pericarditis. *Am J Cardiol* **26**: 480-489, 1970
- 5) Reddy PS, Curtiss EI, O'Toole JD, Shaver JA: Cardiac tamponade: Hemodynamic observations in man. *Circulation* **58**: 265-272, 1978
 - 6) Janicki JS, Weber KT: The pericardium and ventricular interaction, distensibility, and function. *Am J Physiol* **238**: 494-503, 1980
 - 7) Manyari DE, Kostuk WJ, Purves P: Effect of pericardiocentesis on right and left ventricular function and volumes in pericardial effusion. *Am J Cardiol* **52**: 159-162, 1983
 - 8) Shiina A, Yaginuma T, Kondo K, Kawai N, Hosoda S: Echocardiographic evaluation of impending cardiac tamponade. *J Cardiogr* **9**: 555-563, 1979 (in Japanese)
 - 9) Schiller NB, Botvinick EH: Right ventricular compression as a sign of cardiac tamponade: An analysis of echocardiographic ventricular dimensions and their clinical implications. *Circulation* **56**: 774-779, 1977
 - 10) Engel PJ, Hon H, Fowler NO, Plummer S: Echocardiographic study of right ventricular wall motion in cardiac tamponade. *Am J Cardiol* **50**: 1018-1021, 1982
 - 11) Armstrong WF, Schilt BF, Helper DJ, Dillon JC, Feigenbaum H: Diastolic collapse of the right ventricle with cardiac tamponade: An echocardiographic study. *Circulation* **65**: 1491-1496, 1982
 - 12) Leimgruber PP, Klopfenstein HS, Wann LS, Brooks HL: The hemodynamic derangement associated with right ventricular diastolic collapse in cardiac tamponade: An experimental echocardiographic study. *Circulation* **68**: 612-620, 1983
 - 13) Singh S, Wann LS, Schuchard GH, Klopfenstein HS, Leimgruber PP, Keelan MH, Brooks HL: Right ventricular and right atrial collapse in patients with cardiac tamponade: A combined echocardiographic and hemodynamic study. *Circulation* **70**: 966-971, 1984
 - 14) Shono H, Yoshikawa J, Yoshida K, Kato H, Okumachi F, Shiratori K, Koizumi K, Takao S, Asaka T, Akasaka T: Value of right ventricular and atrial collapse in identifying cardiac tamponade. *J Cardiogr* **16**: 627-635, 1986 (in Japanese)
 - 15) Singh S, Wann LS, Klopfenstein HS, Hartz A, Brooks HL: Usefulness of right ventricular diastolic collapse in diagnosing cardiac tamponade and comparison to pulsus paradoxus. *Am J Cardiol* **57**: 652-656, 1986
 - 16) Conrad SA, Byrnes TJ: Diastolic collapse of the left and right ventricles in cardiac tamponade. *Am Heart J* **115**: 475-478, 1988
 - 17) Spitz HB, Holmes JC: Right atrial contour in cardiac tamponade. *Radiology* **103**: 69-75, 1972
 - 18) Gillam LD, Guyer DE, Gibson TC, King ME, Marshall JE, Weyman AE: Hydrodynamic compression of the right atrium: A new echocardiographic sign of cardiac tamponade. *Circulation* **68**: 294-301, 1983
 - 19) Kronzon I, Cohen ML, Winer HE: Diastolic atrial compression: A sensitive echocardiographic sign of cardiac tamponade. *J Am Coll Cardiol* **2**: 770-775, 1983
 - 20) Fraser DG, Ulyot DJ: Mediastinal tamponade after open-heart surgery. *J Thorac Cardiovas Surg* **66**: 629-631, 1973
 - 21) Hutchins GM, Moore GW: Isolated right atrial tamponade caused by hematoma complicating coronary artery bypass graft surgery. *Arch Pathol Lab Med* **104**: 612-614, 1980
 - 22) Kronzon I, Cohen ML, Winer HE: Cardiac tamponade by loculated pericardial hematoma: Limitations of M-mode echocardiography. *J Am Coll Cardiol* **1**: 913-915, 1983
 - 23) Tanaka N, Beppu S, Kumon K, Ikegami K, Miyatake K, Nagata S, Park YD, Ohmori F, Izumi S, Yamagishi M, Masuda Y, Sakakibara H, Nimura Y: Coagula tamponade: Specific pathophysiology after open heart surgery as a cause of low cardiac output syndrome (LOS) and the role of transesophageal echocardiography. *Jpn J Med Ultrason* **14** (Suppl-I): 913-914, 1987 (in Japanese)
 - 24) Smiseth OA, Frais MA, Kingma I, White AVM, Knudtson ML, Cohen JM, Manyari DE, Smith ER, Tyberg JV: Assessment of pericardial constraint: The relation between right ventricular filling pressure and pericardial pressure measured after pericardiocentesis. *J Am Coll Cardiol* **7**: 307-314, 1986
 - 25) Freeman GL, LeWinter MM: Determinants of intrapericardial pressure in dogs. *J Appl Physiol* **60**: 758-764, 1986
 - 26) Kidner PH, Kakkar VV, Cullum PA, Armstrong P: Left atrial tamponade: Report of a case after right heart catheterization. *Br Heart J* **35**: 464-465, 1973
 - 27) Fowler NO, Gabel M: The hemodynamic effects of cardiac tamponade: Mainly the result of atrial, not ventricular, compression. *Circulation* **71**: 154-157, 1985
 - 28) Fowler NO, Gabel M: Regional tamponade: A hemodynamic study. *J Am Coll Cardiol* **10**: 164-

- 169, 1987
- 29) Choong CY, Abascal VM, Thomas JD, Guerrero LJ, McGlew S, Weyman AE: Combined influence of ventricular loading and relaxation on Doppler echocardiography. *Circulation* **78**: 672-683, 1988
- 30) Fowler NO, Shabetai R, Braunstein JR: Transmural ventricular pressures in experimental cardiac tamponade. *Circ Res* **7**: 733-739, 1959
- 31) Boltwood CM Jr: Ventricular performance related to transmural filling pressure in clinical cardiac tamponade. *Circulation* **75**: 941-955, 1987
- 32) Nakatani S, Beppu S, Miyatake K, Nimura Y: Effect of pericardium on left ventricular early filling assessed by pulsed Doppler echocardiography. *J Am Soc Echo* **4**: 29-34, 1991
- 33) DeCristofaro D, Liu CK: The haemodynamics of cardiac tamponade and blood volume overload in dogs. *Cardiovasc Res* **3**: 292-298, 1969
- 34) Kerber RE, Gascho JA, Litchfield R, Wolfson P, Ott D, Pandian NG: Hemodynamic effects of volume expansion and nitroprusside compared with pericardiocentesis in patients with acute cardiac tamponade. *N Engl J Med* **307**: 929-931, 1982
- 35) Antman EM, Cargill V, Grossman W: Low-pressure cardiac tamponade. *Ann Intern Med* **91**: 403-406, 1979
- 36) Labib SB, Udelson JE, Pandian NG: Echocardiography in low pressure cardiac tamponade. *Am J Cardiol* **53**: 1156-1157, 1989
- 37) Tyberg JV, Taichman GC, Smith ER, Douglas NWS, Smiseth OA, Keon WJ: The relationship between pericardial pressure and right atrial pressure: An intraoperative study. *Circulation* **73**: 428-432, 1986
- 38) Izumi S, Beppu S, Miyatake K, Yamagishi M, Akiyama T, Hiraoka H, Yamamoto K, Suzuki S, Sakakibara H, Nimura Y: Significance of disturbances of cardiac filling in constrictive pericarditis. *J Cardiol* **19**: 529-539, 1989 (in Japanese)